

ASIGNACIÓN DE QUIRÓFANOS EN UN HOSPITAL Y GENERACIÓN DE COLUMNAS

METODOS CUANTITATIVOS

Contenido

1.	Modelo 1.....	2
1.1	Introducción	2
1.2	Modelado del Problema.....	2
1.3	Problemas encontrados y soluciones	3
1.4	Resolución del problema y caracterización de la solución.....	4
2.	Modelo 2.....	5
2.1	Introducción	5
2.2	Modelado del problema.....	6
2.3	Problemas encontrados y soluciones	6
2.4	Resolución y caracterización de la solución	7
3.	Modelo 3.....	8
3.1	Introducción	8
3.2	Problemas encontrados y soluciones	8

1. Modelo 1

1.1 Introducción

El objetivo de este proyecto fue abordar el problema de asignación de operaciones quirúrgicas a quirófanos en el hospital Felipe VI. Este problema tiene como meta optimizar la utilización de los quirófanos minimizando los costos asociados a las asignaciones, respetando las restricciones de incompatibilidad entre operaciones.

El modelo desarrollado utiliza programación lineal entera mediante la biblioteca *PuLP*, integrando un análisis de datos previo con *pandas* para la identificación de incompatibilidades y el cálculo de costos.

1.2 Modelado del Problema

El problema fue formulado como un modelo de programación lineal entera con las siguientes características:

Variables de decisión

Variable binaria que toma el valor 1 si la operación i se asigna al quirófano j , y 0 en caso contrario.

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{J}$$

Función objetivo (minimizar los costos totales)

Costo de asignar la operación al quirófano.

$$\min. \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{j \in \mathcal{J}} C_{ij} x_{ij}$$

Restricciones

Cada operación debe asignarse al menos a un quirófano:

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} x_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}$$

Dos operaciones incompatibles no pueden compartir quirófano al mismo tiempo:

$$\sum_{h \in L_i} x_{hj} + x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{J}$$

El cálculo de incompatibilidades se realizó analizando los solapamientos de horario entre operaciones quirúrgicas del servicio de Cardiología Pediátrica.

1.3 Problemas encontrados y soluciones

Durante el desarrollo del proyecto, enfrentamos las siguientes dificultades:

Problemas de rendimiento inicial

En el enfoque inicial hemos utilizado bucles anidados con la función `iterrows()` para identificar incompatibilidades entre operaciones. Este método resultó ineficiente debido al elevado número de operaciones y quirófanos, generando tiempos de procesamiento excesivos.

Solución adoptada: Implementamos un enfoque optimizado que utiliza índices (`iloc`) y conjuntos para almacenar incompatibilidades, reduciendo significativamente la complejidad del cálculo.

Revisión del cálculo de costos:

Originalmente, se generaban diccionarios auxiliares para los costos, lo cual añadía pasos innecesarios.

Solución adoptada: Se utilizó directamente el `DataFrame` de costos, accediendo a los valores mediante índices, simplificando el modelo.

Ajuste del filtrado inicial:

Inicialmente, el análisis consideraba todas las operaciones, lo cual añadía ruido innecesario.

Solución adoptada: Filtramos únicamente las operaciones relevantes de Cardiología Pediátrica antes de realizar cualquier procesamiento.

1.4 Resolución del problema y caracterización de la solución

Tras aplicar las optimizaciones mencionadas, logramos obtener asignaciones óptimas: todas las operaciones fueron asignadas a quirófanos, respetando las restricciones de incompatibilidad.

Name	Type	Size	Value
a	Series	(4,)	Series object of pandas.core.series module
a_fin	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 15:30:00
a_inicio	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 12:12:00
asignaciones	list	13	[{'Operacion': '20241204 OP-68', 'Quirófano': 'Quirófano 34'}, {'Operaci ...
b	Series	(4,)	Series object of pandas.core.series module
b_fin	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 15:30:00
b_inicio	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 12:12:00
codigo_a	str	14	20241204 OP-88
codigo_b	str	14	20241204 OP-88
codigos_op	Index	(13,)	Index: 13 entries, 20241204 OP-68 to 20241204 OP-88
coste_total	float	1	1510.0
costes	DataFrame	(99, 176)	Column names: Unnamed: 0, 20241204 OP-100, 20241204 OP-124, 20241204 O ...
costes_dict	dict	17325	{('20241204 OP-100', 'Quirófano 1'):604, ('20241204 OP-124', 'Quirófan ...
costos_operaciones	dict	46	{'20241204 OP-68':488.8888888888889, '20241204 OP-57':2104.585858585 ...
costos_planes	list	46	[23629.333333333336, 51349.868686868685, 21350.848484848484, 48857.929 ...
costos_planes_ejemplo	list	3	[10, 15, 12]
count	int	1	13
datos_operaciones	DataFrame	(175, 5)	Column names: Código operación, Equipo de Cirugía, Especialidad quirúr ...
df_costes	DataFrame	(99, 175)	Column names: 20241204 OP-100, 20241204 OP-124, 20241204 OP-119, 20241 ...
df_operaciones	DataFrame	(175, 4)	Column names: Equipo de Cirugía, Especialidad quirúrgica, Hora inicio ...
end_i	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 16:40:00
end_j	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 20:30:00
equipos_cardiologia_pediatria	DataFrame	(13, 4)	Column names: Equipo de Cirugía, Especialidad quirúrgica, Hora inicio ...
equipos_medicos	list	13	[('20241204 OP-68', '20241204 OP-57', '20241204 OP-133', '20241204 OP-1 ...
especialidades	list	4	['Cardiología Pediátrica', 'Cirugía Cardíaca Pediátrica', 'Cirugía Car ...
h	str	14	20241204 OP-62
i	str	15	20241204 OP-156

incompat	list	0	[]
incompatibilidades	dict	46	{'20241204 OP-68':{'20241204 OP-133', '20241204 OP-126', '20241204 OP- ...
j	str	15	20241204 OP-156
k	int	1	17
L	dict	13	{'20241204 OP-68':{'20241204 OP-107', '20241204 OP-133', '20241204 OP- ...
modelo1	pulp.LpProblem	1	LpProblem object of pulp.pulp module
modelo2	pulp.LpProblem	1	LpProblem object of pulp.pulp module
n	int	1	13
num	int	1	12
op	str	15	20241204 OP-156
op_a	Series	(4,)	Series object of pandas.core.series module
op_b	Series	(4,)	Series object of pandas.core.series module
op_i	Series	(5,)	Series object of pandas.core.series module
op_j	Series	(5,)	Series object of pandas.core.series module
operaciones	list	13	[('20241204 OP-68', '20241204 OP-57', '20241204 OP-133', '20241204 OP-1 ...
operaciones_cubiertas	set	32	{'20241204 OP-70', '20241204 OP-22', '20241204 OP-35', '20241204 OP-10 ...
operaciones_ejemplo	list	3	['OP1', 'OP2', 'OP3']
operaciones_filtradas	DataFrame	(46, 4)	Column names: Equipo de Cirugía, Especialidad quirúrgica, Hora inicio, ...
operaciones_no_cubiertas	set	14	{'20241204 OP-107', '20241204 OP-133', '20241204 OP-23', '20241204 OP- ...
otro_op	str	15	20241204 OP-156
plan	set	17	{'20241204 OP-67', '20241204 OP-22', '20241204 OP-102', '20241204 OP-1 ...
planes_factibles	list	46	[('20241204 OP-70', '20241204 OP-22', '20241204 OP-68', '20241204 OP-1 ...
planes_factibles_ejemplo	list	3	[('OP2', 'OP1'), ('OP3', 'OP2'), ('OP3', 'OP1')]
planes_seleccionados	list	2	[4, 17]
problema	pulp.LpProblem	1	LpProblem object of pulp.pulp module
q	str	12	Quirófano 71
quirofanos	list	99	[('Quirófano 1', 'Quirófano 2', 'Quirófano 3', 'Quirófano 4', 'Quirófan ...

start_i	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 14:50:00
start_j	_libs.tslibs.timestamps.Timestamp	1	2024-12-04 19:45:00
v	pulp.LpVariable	1	LpVariable object of pulp.pulp module
value	float	1	1.0
var	pulp.LpVariable	1	LpVariable object of pulp.pulp module
x	dict	1287	{('20241204 OP-68', 'Quirófano 1'):LpVariable, ('20241204 OP-68', 'Qui ...

```

Result - Optimal solution found

Objective value:           1510.00000000
Enumerated nodes:         0
Total iterations:         0
Time (CPU seconds):       0.17
Time (Wallclock seconds): 0.22

Option for printingOptions changed from normal to all
Total time (CPU seconds):  0.19   (Wallclock seconds):  0.25

Asignaciones óptimas:
  Operacion    Quirofono
0  20241204 OP-68 Quirófono 34
1  20241204 OP-57 Quirófono 11
2  20241204 OP-133 Quirófono 23
3  20241204 OP-12 Quirófono 42
4  20241204 OP-159 Quirófono 61
5  20241204 OP-18 Quirófono 65
6  20241204 OP-67 Quirófono 58
7  20241204 OP-2 Quirófono 40
8  20241204 OP-138 Quirófono 4
9  20241204 OP-5 Quirófono 24
10 20241204 OP-44 Quirófono 21
11 20241204 OP-107 Quirófono 50
12 20241204 OP-88 Quirófono 71

Coste total de la asignación: 1510.0

Caracterización de la solución óptima:
Total de operaciones asignadas: 13
Total de quirófanos utilizados: 13
Coste total mínimo: 1510.0

```

2. Modelo 2

2.1 Introducción

El objetivo del Modelo 2 es abordar la asignación de operaciones quirúrgicas a quirófanos mediante un enfoque de set covering. Este modelo busca minimizar los costos totales seleccionando un conjunto de planes factibles que cubran todas las operaciones quirúrgicas. Cada plan representa un conjunto de operaciones que pueden ejecutarse en un quirófano, respetando las restricciones de incompatibilidad (por ejemplo, solapamiento de horarios).

El modelo fue implementado utilizando programación lineal entera con la biblioteca *PuLP* y un análisis previo de datos con *pandas*.

2.2 Modelado del problema

Variables de decisión:

Variable binaria que toma el valor 1 si el quirófano es seleccionado, 0 en caso contrario:

$$y_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in \mathcal{K}$$

Función objetivo:

Minimiza el costo total, calculado como la suma de los costos de las operaciones incluidas en el plan:

$$\min. \sum_{k \in \mathcal{K}} \hat{C}_k y_k$$

Restricciones:

Cada operación debe estar cubierta por al menos una planificación.

Las planificaciones generadas deben respetar que no existan operaciones incompatibles en el mismo plan y que los horarios de las operaciones en un plan no se solapen

$$B_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{si la operación } i \text{ está en la planificación del quirófano } k \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

2.3 Problemas encontrados y soluciones

Problema 1: Generación de planes factibles

El principal desafío fue generar planes factibles que cubrieran todas las operaciones quirúrgicas. Esto implicó:

- Filtrar las operaciones de las especialidades quirúrgicas específicas.
- Identificar incompatibilidades entre operaciones basadas en sus horarios.

Solución adoptada:

- Implementamos una función que genera combinaciones de operaciones respetando las restricciones de incompatibilidad y horarios.

Problema 2: Cobertura incompleta

En la solución óptima, no todas las operaciones quirúrgicas fueron cubiertas, a pesar de que se encontró un costo mínimo para el modelo.

Solución adoptada:

- Revisar la generación de planes para garantizar una cobertura completa de las operaciones.

2.4 Resolución y caracterización de la solución

El modelo fue resuelto utilizando el solver de **PuLP**. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- **Estado de la solución:** Óptima.
- **Costo total mínimo:** 57923.62626263

Caracterización de la solución

1. **Total de planificaciones seleccionadas:** 23
2. **Planificaciones seleccionadas:**

Planificaciones seleccionadas (Optimizadas):

```
Planificaciones seleccionadas (Optimizadas):
Planificación 1: {'20241204 OP-67', '20241204 OP-1', '20241204 OP-117', '20241204 OP-105', '20241204 OP-21'}
Planificación 2: {'20241204 OP-9', '20241204 OP-102', '20241204 OP-104', '20241204 OP-18'}
Planificación 3: {'20241204 OP-70', '20241204 OP-143', '20241204 OP-12', '20241204 OP-138', '20241204 OP-121', '20241204 OP-107'}
```

```
Planificación 4: {'20241204 OP-99', '20241204 OP-5', '20241204 OP-148', '20241204 OP-110'}
Planificación 5: {'20241204 OP-22', '20241204 OP-139', '20241204 OP-125'}
Planificación 6: {'20241204 OP-57', '20241204 OP-126'}
Planificación 7: {'20241204 OP-133'}
Planificación 8: {'20241204 OP-135'}
```

```
Planificación 9: {'20241204 OP-156', '20241204 OP-159'}
Planificación 10: {'20241204 OP-163', '20241204 OP-36'}
Planificación 11: {'20241204 OP-164'}
Planificación 12: {'20241204 OP-165'}
Planificación 13: {'20241204 OP-167'}
```

```
Planificación 14: {'20241204 OP-2', '20241204 OP-44'}
Planificación 15: {'20241204 OP-23'}
Planificación 16: {'20241204 OP-30'}
Planificación 17: {'20241204 OP-34'}
Planificación 18: {'20241204 OP-35'}
```

```
Planificación 19: {'20241204 OP-55'}
Planificación 20: {'20241204 OP-78', '20241204 OP-59'}
Planificación 21: {'20241204 OP-68'}
Planificación 22: {'20241204 OP-73', '20241204 OP-83'}
Planificación 23: {'20241204 OP-88'}
```

3. **Operaciones cubiertas:** 46 (100%)

El Modelo 2 proporciona una solución óptima basada en el conjunto de planes generados y las restricciones definidas.

3. Modelo 3

3.1 Introducción

El modelo 3 utiliza la generación de columnas para optimizar la asignación de operaciones a quirófanos, priorizando reducir el número de quirófanos planificados y así reservar espacio para urgencias. Este enfoque, basado en el modelo 2, genera iterativamente soluciones parciales según sean necesarias, evitando procesar combinaciones innecesarias y mejorando la eficiencia.

Parte de un problema maestro con soluciones iniciales y utiliza un subproblema para encontrar nuevas opciones que mejoren la asignación, logrando así una solución más precisa y ajustada a las necesidades quirúrgicas.

3.2 Problemas encontrados y soluciones

Al haber programado el modelo 2 correctamente no hemos tenido mayores problemas en la programación del modelo 3, debido a la similitud de ambos códigos.

Resolución y caracterización de la solución

La planificación del modelo 3 es el siguiente:

```
Planificaciones seleccionadas (Modelo 3):
Planificación 1: {'20241204 OP-1', '20241204 OP-160', '20241204 OP-41', '20241204 OP-114', '20241204 OP-11', '20241204 OP-46', '20241204 OP-121', '20241204 OP-101', '20241204 OP-130'}
Planificación 2: {'20241204 OP-67', '20241204 OP-10', '20241204 OP-105'}
Planificación 3: {'20241204 OP-100', '20241204 OP-149', '20241204 OP-113', '20241204 OP-118', '20241204 OP-9', '20241204 OP-106', '20241204 OP-37'}
Planificación 4: {'20241204 OP-145', '20241204 OP-131', '20241204 OP-102', '20241204 OP-80', '20241204 OP-104'}
Planificación 5: {'20241204 OP-132', '20241204 OP-117', '20241204 OP-39', '20241204 OP-151', '20241204 OP-109', '20241204 OP-150', '20241204 OP-103'}
Planificación 6: {'20241204 OP-111', '20241204 OP-147', '20241204 OP-18', '20241204 OP-120', '20241204 OP-169', '20241204 OP-154', '20241204 OP-107'}
Planificación 7: {'20241204 OP-152', '20241204 OP-110', '20241204 OP-134', '20241204 OP-108', '20241204 OP-157', '20241204 OP-20'}
Planificación 8: {'20241204 OP-168', '20241204 OP-172', '20241204 OP-112', '20241204 OP-32', '20241204 OP-92', '20241204 OP-143', '20241204 OP-91', '20241204 OP-12', '20241204 OP-21', '20241204 OP-138'}
Planificación 9: {'20241204 OP-115', '20241204 OP-159', '20241204 OP-13', '20241204 OP-58', '20241204 OP-158', '20241204 OP-54'}
Planificación 10: {'20241204 OP-72', '20241204 OP-116', '20241204 OP-79', '20241204 OP-42', '20241204 OP-148', '20241204 OP-166'}
Planificación 11: {'20241204 OP-22', '20241204 OP-90', '20241204 OP-24', '20241204 OP-25', '20241204 OP-119'}
Planificación 12: {'20241204 OP-27', '20241204 OP-122', '20241204 OP-47', '20241204 OP-65', '20241204 OP-36'}
Planificación 13: {'20241204 OP-57', '20241204 OP-5', '20241204 OP-70', '20241204 OP-123'}
Planificación 14: {'20241204 OP-124', '20241204 OP-75', '20241204 OP-76'}
Planificación 15: {'20241204 OP-96', '20241204 OP-139', '20241204 OP-125', '20241204 OP-97'}
Planificación 16: {'20241204 OP-99', '20241204 OP-126'}
Planificación 17: {'20241204 OP-127'}
Planificación 18: {'20241204 OP-146', '20241204 OP-128'}
Planificación 19: {'20241204 OP-89', '20241204 OP-129'}
Planificación 20: {'20241204 OP-133'}
Planificación 21: {'20241204 OP-135'}
Planificación 22: {'20241204 OP-136'}
Planificación 23: {'20241204 OP-94', '20241204 OP-137'}
Planificación 24: {'20241204 OP-14'}
Planificación 25: {'20241204 OP-140'}
Planificación 26: {'20241204 OP-141'}
Planificación 27: {'20241204 OP-142'}
Planificación 28: {'20241204 OP-144'}
Planificación 29: {'20241204 OP-15'}
```



```

Planificación 30: {'20241204 OP-153'}
Planificación 31: {'20241204 OP-155'}
Planificación 32: {'20241204 OP-156'}
Planificación 33: {'20241204 OP-16'}
Planificación 34: {'20241204 OP-44', '20241204 OP-161'}
Planificación 35: {'20241204 OP-162'}
Planificación 36: {'20241204 OP-163'}
Planificación 37: {'20241204 OP-164'}
Planificación 38: {'20241204 OP-165'}
Planificación 39: {'20241204 OP-167'}
Planificación 40: {'20241204 OP-17'}
Planificación 41: {'20241204 OP-170'}
Planificación 42: {'20241204 OP-78', '20241204 OP-171'}
Planificación 43: {'20241204 OP-173'}
Planificación 44: {'20241204 OP-174'}
Planificación 45: {'20241204 OP-175'}
Planificación 46: {'20241204 OP-19'}
Planificación 47: {'20241204 OP-2', '20241204 OP-83'}
Planificación 48: {'20241204 OP-23'}
Planificación 49: {'20241204 OP-26'}
Planificación 50: {'20241204 OP-28'}

```

```

Planificación 51: {'20241204 OP-29'}
Planificación 52: {'20241204 OP-3', '20241204 OP-60'}
Planificación 53: {'20241204 OP-30'}
Planificación 54: {'20241204 OP-31'}
Planificación 55: {'20241204 OP-33'}
Planificación 56: {'20241204 OP-34'}
Planificación 57: {'20241204 OP-35'}
Planificación 58: {'20241204 OP-38'}
Planificación 59: {'20241204 OP-4'}
Planificación 60: {'20241204 OP-40'}
Planificación 61: {'20241204 OP-43'}
Planificación 62: {'20241204 OP-86', '20241204 OP-45'}
Planificación 63: {'20241204 OP-48'}
Planificación 64: {'20241204 OP-49'}
Planificación 65: {'20241204 OP-50'}
Planificación 66: {'20241204 OP-51'}
Planificación 67: {'20241204 OP-52'}
Planificación 68: {'20241204 OP-53'}
Planificación 69: {'20241204 OP-55'}
Planificación 70: {'20241204 OP-56'}
Planificación 71: {'20241204 OP-85', '20241204 OP-59'}

```

```

Planificación 72: {'20241204 OP-6'}
Planificación 73: {'20241204 OP-61'}
Planificación 74: {'20241204 OP-62'}
Planificación 75: {'20241204 OP-63'}
Planificación 76: {'20241204 OP-64'}
Planificación 77: {'20241204 OP-66'}
Planificación 78: {'20241204 OP-68'}
Planificación 79: {'20241204 OP-69'}
Planificación 80: {'20241204 OP-7'}
Planificación 81: {'20241204 OP-71'}
Planificación 82: {'20241204 OP-73'}
Planificación 83: {'20241204 OP-74'}
Planificación 84: {'20241204 OP-77'}
Planificación 85: {'20241204 OP-8'}
Planificación 86: {'20241204 OP-81'}
Planificación 87: {'20241204 OP-82'}
Planificación 88: {'20241204 OP-84'}
Planificación 89: {'20241204 OP-87'}
Planificación 90: {'20241204 OP-88'}
Planificación 91: {'20241204 OP-93'}
Planificación 92: {'20241204 OP-95'}

```

```

Planificación 93: {'20241204 OP-98'}

```

La solución del modelo tres es el siguiente:

Número mínimo de quirófanos necesarios: 93