

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería de Organización Industrial

Diseño de la distribución de quirófanos entre unidades quirúrgicas mediante modelos de programación lineal entera

Autor: Rocío Ayuso Soto

Tutor: Víctor Fernández-Viagas Escudero

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo de Fin de Carrera
Ingeniería de Organización Industrial

**Diseño de la distribución de quirófanos entre
unidades quirúrgicas mediante modelos de
programación lineal entera**

Autor:

Rocío Ayuso Soto

Tutor:

Víctor Fernández-Viagas Escudero

Profesor titular

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Proyecto Fin de Carrera: Diseño de la distribución de quirófanos entre unidades quirúrgicas mediante modelos de programación lineal entera

Autor: Rocío Ayuso Soto

Tutor: Víctor Fernández-Viagas Escudero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis amigos

Agradecimientos

Agradecer a mis amigos su compañía, apoyo, motivación y paciencia en estos 4 años de carrera. A mi familia por confiar en mí de inicio a fin, incluso cuando ni yo misma lo hacía. A mi tutor, por su paciencia y dedicación a lo largo de este proyecto.

Rocío Ayuso Soto

Sevilla, 2023

Resumen

Muchas instituciones sanitarias han estado investigando herramientas para reducir costes y garantizar un uso eficaz de las instalaciones hospitalarias. Los quirófanos se encuentran entre las instalaciones hospitalarias más caras y representan un cuello de botella en la mayoría de los hospitales. Este Trabajo de Fin de Grado presenta un estudio sobre la optimización del diseño de la distribución de quirófanos en un hospital. Para ello, se toma la política actual seguida en por un hospital a nivel autonómico, particularmente en la Especialidad de Cirugía Plástica y Grandes Quemados, se analiza y adapta a un modelo de planificación que se diferencia en el horizonte temporal tomado. El objetivo de esta investigación es encontrar una planificación a medio plazo que permita analizar la eficiencia de las posibles distribuciones de varios quirófanos en distintas unidades quirúrgicas. Esta eficiencia se medirá con la suma de los pesos clínicos de las operaciones realizadas en una semana. Para ello, se evalúa el comportamiento de las distribuciones traduciendo los modelos de optimización a un código de programación usando el lenguaje Python, y se evalúan para un conjunto de instancias generadas aleatoriamente que simulan diversos escenarios. Concretamente, se optimizará la distribución de quirófanos para dos casos que representan hospitales de distintos tamaños. Establecer una planificación apropiada, a partir de una distribución eficiente, ayudará a la toma de decisiones que mejora la gestión de los recursos sanitarios y la calidad de la asistencia sanitaria ofrecida.

ÍNDICE

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvi
1 Introducción	1
1.1 <i>Método de resolución optimización: MILP</i>	1
1.2 <i>Gestión de la producción</i>	2
1.3 <i>Producción en el sector sanitario</i>	3
1.4 <i>Ámbito de aplicación del proyecto</i>	3
2 Descripción del problema	5
2.1 <i>Limitaciones de recursos</i>	5
2.2 <i>Objetivo</i>	6
3 Metodología	7
3.1 <i>MILP Diario</i>	7
3.1.1 <i>Explicación del modelo</i>	8
3.1.2 <i>Ejemplo</i>	9
3.2 <i>MILP Semanal</i>	12
3.2.1 <i>Explicación del modelo</i>	14
3.2.2 <i>Ejemplo</i>	14
3.3 <i>Reducción capacidades</i>	17
3.3.1 <i>Metodología de equilibrado de capacidad</i>	17
3.4 <i>Entorno de trabajo</i>	18
4 Simulación	21
4.1 <i>Casuísticas</i>	21
4.1.1 <i>Caso 1</i>	21
4.1.2 <i>Caso 2</i>	21
4.2 <i>Evaluación</i>	21
5 Resultados	23
5.1 <i>Generación instancias</i>	23
5.1.1 <i>Conjuntos:</i>	23
5.1.2 <i>Parámetros</i>	24
5.2 <i>Resultados reducción capacidades</i>	26
5.3 <i>Resultados simulación caso 1</i>	33
5.4 <i>Resultados simulación caso 2</i>	36
5.5 <i>Conclusión resultados experimentales</i>	50
6 Conclusión	53
6.1 <i>Líneas de futuro</i>	53
Referencias	55

Anexo	57
<i>Anexo 1. Código principal caso 1</i>	57
<i>Anexo 2. Código principal caso 2</i>	60
<i>Anexo 3. Código funciones auxiliares</i>	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Índices y conjuntos del modelo MILP diario	8
Tabla 2: Parámetros del modelo MILP diario	8
Tabla 3: Variables del modelo MILP diario	8
Tabla 4: Valores de $rd[i]$ del ejemplo	9
Tabla 5: Valores de $d[i]$ del ejemplo	9
Tabla 6: Valores de $\gamma[i]$ del ejemplo	10
Tabla 7: Valores de $t[i]$ del ejemplo	10
Tabla 8: Valores de $w[i]$ del ejemplo	10
Tabla 9: Valores de $u[s]$ del ejemplo	10
Tabla 10: Valores de $X[i,j,h]$ del ejemplo	11
Tabla 11: Variable $Z[s,j,h]$ del ejemplo	11
Tabla 12: Parámetros MILP Semanal	13
Tabla 13: Variables MILP Semanal	13
Tabla 14: Valores de $rw[i]$	15
Tabla 15: Valores de $week[i]$	15
Tabla 16: Valores de $Xs[i,j,h]$ del ejemplo	15
Tabla 17: Valores de $Zs[s,j,h]$ del ejemplo	16
Tabla 18: Datos de entrada variable para generar instancia	24
Tabla 19: Datos de entrada para comparar modelos MILP	26
Tabla 20: Promedio relación ocupación “óptimos”	26
Tabla 21: Resultados algoritmo	27
Tabla 22: Relaciones de ocupación	28
Tabla 23: Promedio relación ocupación reducida la capacidad	29
Tabla 24: Resultado algoritmo tras reducir capacidades	29
Tabla 25: Relación ocupación tras reducir capacidades	30
Tabla 26: Valores FO diario y FO semanal tras reducir capacidades	31
Tabla 27: Relación FOs tras reducir capacidades	32
Tabla 28: Promedio relación FOs modelos equivalentes	32
Tabla 29: Tabla resumen número óptimos Caso 1	33
Tabla 30: Resultados simulación caso 1	35
Tabla 31: Tabla resumen óptimos caso 2	36
Tabla 32: Resultados simulación caso 2	49
Tabla 33: Tabla resumen óptimos y tiempo ejecución del algoritmo	50
Tabla 34: Tabla resumen SUs óptimos casos 1 y 2	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Niveles de la toma de decisiones (elaboración propia)	2
Ilustración 2: Diagrama de Gantt MILP Diario según $r[j,h]$	12
Ilustración 3: Diagrama de Gantt MILP Diario según $a[s,h]$	12
Ilustración 4: Diagrama de Gantt MILP Semanal según $rweek[j][h]$	16
Ilustración 5: Diagrama de Gantt MILP Semanal según $aweek[s][h]$	17
Ilustración 6: Gráfico SUs óptimas caso 1	51
Ilustración 7: Gráfico SUs óptimas caso 2	51

1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería es la práctica de aplicar conocimiento científico para resolver problemas del mundo real.

- Thomas Edison -

En muchas cuestiones el sentido común aconseja tomar decisiones en una determinada dirección. Pero tal sentido común puede ser altamente engañoso. La rama de las matemáticas conocida como Investigación Operativa constituye un excelente método para establecer sobre las bases racionales y cualitativas la elección entre diferentes decisiones (Martín, Sebastián Ferrer). Trata de proporcionar rigor científico a la toma de decisiones mediante el estudio de sistemas complejos con la finalidad de optimizar su funcionamiento teniendo en cuenta las restricciones que impone el propio sistema (Pouso, 2013).

Las técnicas de la Investigación Operativa tuvieron su origen en el ámbito militar y fueron empleadas ampliamente durante la Segunda Guerra Mundial con gran éxito en ámbitos como protección de convoyes, defensa aérea o detección submarina. La analogía entre la organización militar y las grandes empresas de negocios e industriales hizo que en seguida se pasara a aplicar estas técnicas a actividades industriales, administrativas o cualquier organismo complejo con necesidad de proporcionar a sus dirigentes una base cuantitativa para tomar decisiones.

1.1 Método de resolución optimización: MILP

La optimización es un concepto inherente a toda la investigación operativa. Consiste en la selección de una alternativa mejor, en algún sentido, que las demás alternativas posibles. Los problemas de optimización se componen de tres ingredientes (Andres Ramos, Pedro Sánchez, José María Ferrer, Julián Barquín, Pedro Linares, 2010): 1) Comenzando con la expresión matemática con la que se busca maximizar o minimizar y que se denomina función objetivo; 2) siguiendo con las variables que representan las decisiones a tomar, es decir, la solución de nuestro problema; y 3) acabando con las restricciones que son el conjunto que limita a la función objetivo y que las variables deben satisfacer.

Resolver un problema de este tipo, consiste en encontrar los valores de las variables que hacen optima la función objetivo, y que satisfacen el conjunto de restricciones que limita a la misma. Se llevan a cabo en tres pasos (Nieto Medina, 2021):

1. Identificar el problema y modelarlo matemáticamente de forma que se simplifique y aproxime a la realidad.
2. Encontrar un método de resolución que ofrece soluciones al modelo.
3. Trasladar estas soluciones al mundo real.

Para brindar validez a los resultados alcanzados, es imprescindible verificar y justificar la correcta formulación del modelo elegido, así como la técnica de resolución empleada. Los métodos de optimización se pueden clasificar en clásicos y metaheurísticos. De forma muy general y aproximada, se puede decir que los métodos clásicos buscan y garantizan un óptimo local mientras que los métodos metaheurísticos tienen mecanismos específicos para alcanzar un óptimo global, aunque no garantizan su alcance. (Andres Ramos, Pedro Sánchez, José María Ferrer, Julián Barquín, Pedro Linares, 2010). Los clásicos, se pueden clasificar en problemas de programación lineal o no lineal (según la naturaleza de sus restricciones), y entera, entera mixta, cuadrática...etc. (según si sus variables son reales/continuas o enteras/discretas) (Irene Domníguez Galán, 2022).

El presente documento contribuirá al desarrollo de un modelo para establecer el diseño de quirófanos de un hospital. Este modelo será de programación lineal entera mixta (MILP) que se caracteriza porque sus variables son enteras o binarias. Este método consiste fundamentalmente en la formulación del modelo en términos de

programación lineal entera (ILP), y en su aplicación a un software de programación entera (IP) del modelo generado.

El diseño y programación de quirófanos forma parte de la gestión de un hospital. Al igual que cualquier otra empresa, se necesita planificar, coordinar, supervisar, controlar y tomar decisiones con respecto a los recursos disponibles. Dicho de otro modo, la gestión de quirófanos, así como las camas del pre y post operatorio forman parte de lo que se denomina gestión de la producción dentro del ámbito sanitario.

A continuación, se describe desde un punto de vista más teórico, la gestión de la producción y como ésta consiste en la toma de decisiones para llevar a cabo un proceso productivo. Se explican los problemas de toma de decisiones que se pueden abordar con la Investigación Operativa usando los métodos de optimización descritos. Y finalmente, se aplican estos conceptos al contexto de un hospital para llegar así a entender el ámbito de aplicación del proyecto que se especifica a posteriori.

1.2 Gestión de la producción

Se denomina gestión de la producción al conjunto de decisiones relacionadas con la planificación y control de procesos productivos. Estas decisiones sirven para abordar el proceso de producción de forma adecuada, y se toman con la ayuda de la Investigación Operativa, que precisamente es también conocida como la ciencia de la administración (Quiroa, 2020). El objetivo de la gestión de la producción es conseguir el máximo rendimiento de un proceso productivo, es decir, la máxima calidad, al mínimo importe y plazo de entrega.

La toma de decisiones en la gestión de la producción se puede clasificar según su naturaleza y horizonte temporal en tres niveles (Nieto Medina, 2021) que deben coordinarse entre sí.

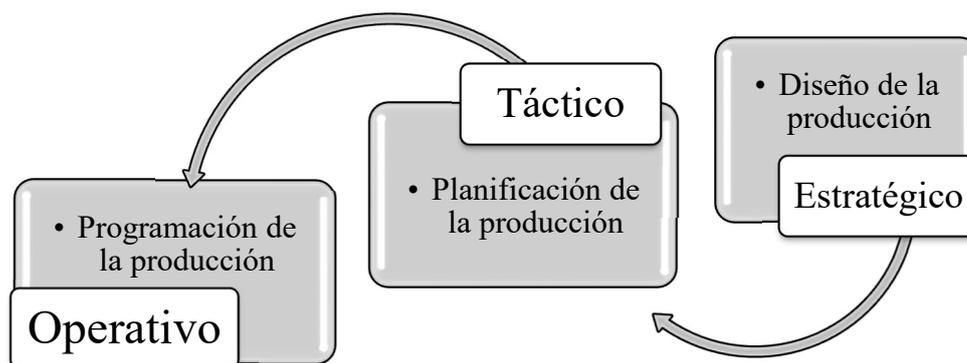


Ilustración 1: Niveles de la toma de decisiones (elaboración propia)

En primer lugar, el nivel estratégico es el más alto de la jerarquía en la toma de decisiones y se enfoca en la planificación a largo plazo (horizontes anuales) y en la dirección general de la empresa. En este nivel los líderes y altos directivos están encargados de definir la visión, la misión y los objetivos generales de la organización, así como de desarrollar estrategias para lograrlos (Datdata, Junio).

Posteriormente, se encuentra el nivel táctico donde se diseña la estructura para la implementación de decisiones estratégicas (Flores, 2020), enfocándose en la planificación a medio plazo y la coordinación de recursos. Sirve para conectar la estrategia con las decisiones operacionales, y su impacto tanto económico como de gestión se posiciona en un nivel intermedio entre el nivel estratégico y el operativo.

Finalmente, el nivel más bajo de la jerarquía se ocupa de las decisiones diarias (a corto plazo) que tienen un impacto inferior que las anteriores económicamente, pero tendrán un mayor peso en la gestión de la empresa. En ellas se definen los procedimientos de las actividades resultantes de la planificación táctica y es donde se programa la producción.

1.3 Producción en el sector sanitario

Resulta común asociar el término “producción” a un proceso de fabricación, en el que, con la llegada de materias primas (input), se llevan a cabo un conjunto de operaciones, que finalizan con la adquisición de un producto (output). Si nos remontamos a la definición, veremos que “producción” se define como la creación de productos (bienes tangibles) o de servicios (intangibles) (Irene Domínguez Galán, 2022). A tal efecto, si nos adentramos al ámbito sanitario, podríamos ver la actividad de un quirófano como un proceso productivo, en el que se realiza a partir de un paciente enfermo (input), una intervención (proceso) para obtener a dicho paciente curado (output). La principal diferencia respecto a un proceso de fabricación reside en que, un hospital ofrece un servicio, no un producto, y, por tanto, no puede ser almacenado. Además, los requisitos de un producto en una fábrica suelen estar definidos y con un plazo de entrega específico, mientras que, en el ambiente sanitario, estos requisitos suelen ser subjetivos (Regadera, 2022). Sin embargo, se pueden encontrar muchas similitudes entre sector sanitario y el sector industrial. A grandes rasgos, ambos ámbitos se centran en el uso eficiente de los procesos, reducción de costes y en mejorar la calidad de los servicios o productos (Vissers, 2005).

Hoy en día, el incremento en la demanda de consultas de especialidad en los sistemas sanitarios públicos hace que en ocasiones se llegue a cuestionar la propia eficacia de estos sistemas. Una demanda, que no disponga de una solución que permita corregir los incrementos de éstas, lleva consigo el aumento de las llamadas listas de espera (JG. Cano Montoro, 2002). La saturación o congestión que ocasionan las líneas de espera puede representar pérdidas económicas significativas en los procesos de producción, pero en los procesos de asistencia médica puede desembocar en la pérdida de vidas humanas. Si esto se combina con el envejecimiento de la población que, según indica la OMS, es mucho más rápido que en el pasado, y con los presupuestos restrictivos, se puede intuir lo complicado que resulta a las organizaciones sanitarias ofrecer sus servicios al menor coste posible.

Esto se ve reflejado en las unidades de cirugía al ser uno de los servicios más importantes en la actividad de los hospitales. Por un lado, mejora la calidad de vida del paciente, mientras que por otro se estima que genera alrededor del 70% de los ingresos, y representa en torno al 40% de los costes de un hospital. El quirófano - *Operating Room* (OR)- es una sala acondicionada para realizar intervenciones quirúrgicas, que puede consumir entre el 10-15% del presupuesto de un hospital, siendo la instalación más cara, y constituyendo un cuello de botella para la mayoría de los hospitales (Aida Jebali, 2006).

A pesar de su importancia y complejidad, las decisiones relacionadas con la planificación y el diseño de los quirófanos suelen tomarse en función de la experiencia de los gestores, sin tener en cuenta los problemas de optimización subyacentes (Jens O.Brunner, 2009). Estas decisiones se pueden desglosar en tres niveles de decisión, tal y como se ha explicado anteriormente. El nivel estratégico (largo plazo), en el que se decide el número y tipo de cirugías a planificar en el horizonte de planificación. El táctico (medio plazo) en el que se asignan los recursos de quirófano a un horizonte de planificación de varias semanas. Y el operativo, que establece el quirófano asignado, la fecha de intervención de cada cirugía en la lista de espera y el tiempo de realización de estas (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015).

En este contexto, la toma de decisiones adecuada en la asistencia quirófano influye en la calidad y los costes de la asistencia sanitaria. (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015). De ahí la importancia de la finalidad de este proyecto que consiste en encontrar metodologías cuantitativas centradas en mejorar los servicios médicos. Concretamente el objetivo de usar estas metodologías es analizar como el diseño de la distribución de los quirófanos en un hospital y su planificación influye en la eficiencia de éste.

1.4 Ámbito de aplicación del proyecto

Este Trabajo de fin de grado se sitúa en el nivel de decisión táctico con un estudio que busca una estimación a medio plazo de la distribución de quirófanos en las distintas unidades quirúrgicas – *Surgical Units* (SU)- de un hospital. Se basará en la política actual seguida por un hospital a nivel autonómico. Esta política presenta un sistema de ayuda a la toma de decisiones -*Decisión Support System* (DSS)- para la programación quirúrgica, elaborando un programa detallado a corto plazo, que presenta fechas de intervención óptimas y que considera el calendario detallado de los cirujanos, así como los problemas habituales de disponibilidad de los quirófanos. Este sistema emplea un modelo de programación lineal entera mixta (MILP) como motor de optimización, con

el fin de maximizar el peso clínico promedio de los pacientes operados en un día del horizonte temporal.

El documento está organizado de la siguiente forma. En primer lugar, se describe formalmente el problema en cuestión con sus principales limitaciones. A continuación, se lleva a cabo modelado del problema inicial, así como la adaptación de este a un horizonte semanal, para implementar nuestro problema de forma aproximada a la realidad. Seguidamente, se presentan los resultados experimentales obtenidos al resolver el modelo diseñado, así como la simulación, el entorno de trabajo y las casuísticas usadas para llegar a ellos. Para terminar, se realiza una comparación y análisis de los resultados, sacando conclusiones sobre ellos.

Con este trabajo se busca que los resultados y las conclusiones obtenidas ayuden a tomar decisiones y mejorar en la planificación y el diseño de la distribución de quirófanos del hospital con el fin de aumentar la calidad de la atención médica y optimizar la eficiencia.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el hospital de referencia hay 16 unidades quirúrgicas (SU) diferentes, cada una con sus recursos asignados en cuanto a quirófanos, personal y material. El problema de apoyo a la toma de decisiones que se va a achacar está diseñado para ayudar a los directores de las SU a resolver la programación quirúrgica dentro de cada unidad durante un horizonte temporal (Manuel Dios, Jose M. Molina-Pariente, Victor Fernandez-Viagas, Jose L. Andrade-Pineda, Jose M. Framinan, 2015).

2.1 Limitaciones de recursos

- *Pacientes:* Concretamente, en la especialidad de Cirugía Plástica y Quemaduras Mayores del hospital en cuestión, se realizan un total de 3000 intervenciones al año, si contamos con todo tipo de pacientes (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015). Este estudio se centra únicamente en pacientes electivos, es decir, aquellos que requieren una intervención médica, pero sin carácter de urgencia, que se pueden programar en función de la disponibilidad de recursos (Diccionario Médico, CUN, s.f.). Esto se debe a que, en el hospital, los pacientes urgentes son intervenidos en quirófanos específicos.
- *Quirófanos:* La especialidad consta de una serie quirófanos multifuncionales disponibles cada día durante 8 horas, esto se debe tener en cuenta a la hora de asignar un OR a cada paciente. Sin embargo, como suele ocurrir en entornos reales, (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015) se debe considerar que un porcentaje del total de las operaciones a programar pueden ser realizadas únicamente en un OR especializado por ser el mejor equipado para ese tipo de cirugía.
- *Cirujanos:* Además, previamente a la intervención, cada paciente será asignado un cirujano en función de la especialidad de este (es decir, los tipos de cirugía que puede realizar), sus competencias y su carga de trabajo. Se tendrá en cuenta que cada cirujano tiene un tiempo máximo para realizar intervenciones quirúrgicas al día. Pudiendo ser 0 (en caso de no estar disponible) o 8 h (durante una jornada laboral completa). El cirujano puede no estar disponible durante un día, pues tendrá un máximo número de días a la semana en los que pueda trabajar. El número de quirófanos a los que se puede asignar un cirujano al día (U), se limita para reducir el tiempo de inactividad del cirujano (tiempos ociosos) y el solapamiento de cirugías consecutivas del mismo cirujano (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015).
- *Otras limitaciones:*

El responsable de la toma de decisiones estima la duración prevista de cada operación basándose en los datos históricos y las características del paciente. Así mismo, establece la prioridad de la intervención, y con relación a esta, se determina un plazo, dentro del cual debe efectuarse la operación. Este está definido por sus fechas de lanzamiento y vencimiento. La fecha de lanzamiento es la fecha más temprana en la que el paciente podría ser intervenido (una vez finalizadas todas las pruebas médicas). Mientras que la fecha de vencimiento trata de la fecha más tardía para ejecutar la operación. Esta depende del tiempo máximo antes del tratamiento (en días) constituido por el grupo de urgencia del paciente, que establecen los Servicios Nacionales de Salud a partir de varios criterios clínicos y sociales. Los tiempos máximos contemplados en la especialidad son 45, 180 y 365 días.

La fecha de vencimiento siempre será anterior a la de lanzamiento, y como máximo coincidirá con el último día del horizonte de planificación. En el caso, de no poder programarla dentro del horizonte estudiado, la intervención se realizará dentro de otro periodo, para el cual no se está programando.
- Por último, los recursos peri y post operativos, humanos y materiales que faltan se considerará que están disponibles siempre que se necesitan, por lo que no representan cuellos de botella para el problema considerado.

2.2 Objetivo

La función objetivo (FO) deriva de los indicadores de rendimiento empleados por el Sistema Regional de Salud de Andalucía (España) (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015). Está relacionada con maximizar el número de intervenciones quirúrgicas planificadas, teniendo en cuenta su peso clínico, que dependerá de la prioridad de la cirugía, de modo que, a mayor urgencia de la intervención, mayor peso. Se maximiza a su vez la utilización de los recursos siempre que estén disponibles.

La finalidad última de resolver este problema de apoyo a la toma de decisiones depende del tamaño del horizonte temporal escogido para planificar. El problema descrito hasta el momento busca una programación a corto plazo. El objetivo, en este caso, es obtener un plan quirúrgico detallado para un periodo de planificación corto (normalmente las dos semanas siguientes) sobre una base de horizonte móvil.

Más concretamente, al final de cada semana, el director de la SU define el patrón de disponibilidad de recursos a lo largo de las dos semanas siguientes incorporando eventos específicos (cierre de determinado quirófano, no disponibilidad puntual de un cirujano, etc.) y genera un plan quirúrgico detallado para las dos semanas siguientes (Manuel Dios, Jose M. Molina-Pariente, Victor Fernandez-Viagas, Jose L. Andrade-Pineda, Jose M. Framinan, 2015).

No obstante, el estudio realizado en este Trabajo de Fin de grado se centrará en resolver este problema para una estimación a medio plazo, con el objetivo de generar un plan quirúrgico tentativo para un periodo de hasta seis meses asumiendo un patrón semanal (es decir, la misma disponibilidad de quirófanos y cirujanos en todas las semanas). El propósito es doble: comprobar si el patrón de recursos quirúrgicos disponibles (quirófanos, cirujanos y turnos de trabajo) es suficiente para realizar las intervenciones en lista de espera de forma adecuada, y notificar a los pacientes una semana estimada para sus intervenciones (Manuel Dios, Jose M. Molina-Pariente, Victor Fernandez-Viagas, Jose L. Andrade-Pineda, Jose M. Framinan, 2015). Además, se pretende analizar como el diseño de la distribución de ORs en las SUs influye en la eficiencia y la calidad de asistencia sanitaria de un hospital.

3 METODOLOGÍA

A continuación, presentaremos el modelo MILP para resolver el problema descrito. En primer lugar, se presenta el modelo propuesto en el artículo de Molina-Pariente, Hans, Framinan, & Gómez-Cía, (2015), que aborda una programación a corto plazo basándose en la política actual de un hospital (Sección 3.1). Lo denominaremos MILP Diario, al seguir un patrón de días. En segundo lugar, se propondrá una alternativa al anterior (ver Sección 3.2), buscando una estimación más longeva, al que se denominará MILP Semanal. Los modelos tratarán de maximizar una función objetivo sujeta a 11 restricciones, que representan los límites descritos en el capítulo anterior. Para seguir, se explicará cómo y por qué surge la necesidad de hacer que la alternativa propuesta sea equivalente al modelo base (Sección 3.3) detallando para conseguirlo una metodología consistente en el equilibrado de capacidades siguiendo 6 pasos de forma iterativa. Para acabar, detallaremos el entorno de trabajo (Sección 3.4) usado para llevar a cabo la experimentación de los modelos propuestos a lo largo de este estudio.

3.1 MILP Diario

$$\text{Maximizar } \sum_{h \in H} \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i \cdot X_{ijh} \right) \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h \in H} X_{ijh} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h=1}^{rd_i-1} X_{ijh} = 0 \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{\substack{h \in H \\ h > d_i}} X_{ijh} = 0 \quad \forall i \in I \mid d_i \leq |H| \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} t_i \cdot X_{ijh} \leq r_{jh} \quad \forall j \in J, \forall h \in H \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{\substack{i \in I \\ \gamma_i = s}} t_i \cdot X_{ijh} \leq a_{sh} \quad \forall s \in S, \forall h \in H \quad (6)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ \gamma_i = s}} t_i \cdot X_{ijh} \leq r_{jh} \cdot Z_{sjh} \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall h \in H \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ \gamma_i = s}} t_i \cdot X_{ijh} \geq Z_{sjh} \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall h \in H \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{sjh} \leq u_s \quad \forall s \in S, \forall h \in H \quad (9)$$

$$X_{ijh} = 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall h \in H \mid \delta_{ijh} = 0 \quad (10)$$

$$X_{ijh} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall h \in H \quad (11)$$

$$Z_{sjh} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall h \in H \quad (12)$$

Índices y conjuntos

$h \in H$	Conjunto de días estudiados de horizonte temporal
$j \in J$	Conjunto de quirófanos (ORs)
$i \in I$	Conjunto de pacientes (cirugías) en lista de espera
$s \in S$	Conjunto de cirujanos

Tabla 1: Índices y conjuntos del modelo MILP diario

Parámetros

r_{jh}	Capacidad regular de OR j en el día h (minutos)
a_{sh}	Capacidad regular del cirujano s en el día h (minutos)
γ_i	Cirujano s a cargo del paciente i
rd_i	<i>Release day</i> : Primer día posible para operar al paciente i
d_i	<i>Due day</i> : Último día posible para operar al paciente i
δ_{ijh}	1 si el paciente i puede ser operado en OR j en el día h ; 0 c.c.
t_i	Duración esperada de la cirugía del paciente i
w_i	<i>Weight</i> : Peso clínico de la operación del paciente i
u_s	Número máximo de ORs en el que un cirujano s puede operar en un mismo día

Tabla 2: Parámetros del modelo MILP diario

Variables

X_{ijh}	1 si el paciente i es operado en la OR j en el periodo h ; 0 c.c.
Z_{sjh}	1 si el cirujano s trabaja en la OR j en el periodo h ; 0 c.c.

Tabla 3: Variables del modelo MILP diario

3.1.1 Explicación del modelo

El objetivo del modelo consiste en maximizar el servicio de una SU, concretamente la de Cirugía Plástica y Grandes quemados del hospital de referencia, priorizando las cirugías (pacientes) con mayor peso clínico.

El conjunto de restricciones, en primer lugar, establece 3 relacionadas con el horizonte temporal que se deben tener en cuenta para cada paciente:

- (Restricción 2) Indica que un paciente como máximo puede operado una vez (un día), a lo largo del horizonte de planificación y en un único OR.
- (Restricción 3 y 4) Definen la fecha (día) más temprana (rd_i) y la más tardía (d_i) en la que puede programarse una operación dentro del horizonte temporal. De forma, que prohíben la planificación de

una operación antes de la fecha más temprana (3), y garantizan que se planee antes de la fecha límite (4).

Los límites de capacidad en un periodo, tanto de la disponibilidad (en minutos) de un OR (r_{ijh}) para ser usado como la de un cirujano (a_{sh}) para operar, son impuestos por separado en los conjuntos de restricciones que siguen (5 y 6) respectivamente. Si a un cirujano (s), se le asigna trabajar en un quirófano (j) y en un día (h) determinado: el total de sus operaciones allí realizadas no puede superar la capacidad de dicho OR (restricción 7), pero esta suma total de duraciones no podrá ser nula (restricción 8). Las restricciones (9) limitan el número de quirófanos en el que un cirujano puede operar en un día, y las restricciones (10) garantizan que cada intervención se realice en un quirófano adecuado según si esta requiere un OR especializado ($\delta_{ijh} = 0$) o no. Para acabar, en los conjuntos (11) y (12) se definen las dos variables del modelo como binarias.

3.1.2 Ejemplo

Una vez configurado el modelo, surge la necesidad de comprobar que la formulación matemática es correcta. Para ello aplicaremos el modelo MILP Diario a un ejemplo sencillo y se comprobará que los resultados obtenidos son coherentes con lo establecido.

Datos de entrada:

El ejemplo consistirá en tener 6 pacientes en la lista de espera ($I=6$), 2 quirófanos disponibles ($J=2$) y 2 cirujanos trabajando ($S=2$). El horizonte temporal serán 10 días laborables ($H=10$). Teniendo ya definido el tamaño del problema con cada uno de los conjuntos, veremos que parámetros caracterizan a estos.

Los ORs estarán disponibles 150 minutos al día, mientras que los cirujanos podrán operar un total de 200 minutos. De forma aleatoria, se le designará a cada intervención un cirujano y a cada cirujano un número máximo de ORs que podrán usar al día. De la misma forma se definirá el OR y el día posible para realizar una operación. Para ello, se establece de forma arbitraria la primera fecha posible y la fecha más tardía entre el primer día del plano temporal y el último. Además, se tendrá en cuenta que la fecha más tardía debe ser como mínimo igual a la más temprana. Por último, tanto la duración de las operaciones como el peso clínico de las mismas serán decididos aleatoriamente entre 2 rangos. La duración podrá ser de entre 30 y 90 minutos, mientras que el peso clínico se variará entre 1 y 5, siendo este último el más alto.

Al igual que todo el estudio, la resolución de este problema la llevaremos a cabo en un entorno de trabajo que se detallará en el capítulo 3, sección 4 (“Entorno de trabajo”). El modelo matemático se traducirá, como veremos, al lenguaje de programación Python, pudiendo así generar los números aleatorios necesarios para completar la definición de varios de los parámetros del problema.

Los datos obtenidos para cada uno de los parámetros correspondientes son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 r_{jh} &= 150 && \forall j \in J, \forall h \in H \\
 a_{sh} &= 200 && \forall s \in S, \forall h \in H \\
 \delta_{ijh} &= \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} && \forall i = 4 \cup j = 1 \cup h \in H \\
 &&& \text{en c. c}
 \end{aligned}$$

rd_i

$rd_0 = 2$	$rd_1 = 1$	$rd_2 = 2$	$rd_3 = 2$	$rd_4 = 2$	$rd_5 = 0$
------------	------------	------------	------------	------------	------------

Tabla 4: Valores de $rd[i]$ del ejemplo

d_i

$d_0 = 2$	$d_1 = 1$	$d_2 = 2$	$d_3 = 2$	$d_4 = 2$	$d_5 = 1$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Tabla 5: Valores de $d[i]$ del ejemplo

γ_i

$\gamma_0 = 1$	$\gamma_1 = 1$	$\gamma_2 = 0$	$\gamma_3 = 1$	$\gamma_4 = 1$	$\gamma_5 = 0$
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Tabla 6: Valores de $\gamma[i]$ del ejemplo t_i

$t_0 = 62.57$	$t_1 = 78.47$	$t_2 = 34.5$	$t_3 = 37.94$	$t_4 = 64.63$	$t_5 = 76.33$
---------------	---------------	--------------	---------------	---------------	---------------

Tabla 7: Valores de $t[i]$ del ejemplo w_i

$w_0 = 3$	$w_1 = 5$	$w_2 = 3$	$w_3 = 1$	$w_4 = 2$	$w_5 = 3$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Tabla 8: Valores de $w[i]$ del ejemplo u_s

$u_0 = 1$	$u_1 = 1$
-----------	-----------

Tabla 9: Valores de $u[s]$ del ejemplo

Comparando las fechas más tempranas y tardías de cada operación, vemos que las operaciones $i = 0, i = 2, i = 3, i = 4$ han de ser llevadas a cabo en el día $h = 2$. La operación $i = 1$ en el día $h = 1$ mientras que la operación $i = 5$ en $h = 0$ o $h = 1$.

Combinando las conclusiones anteriores con los valores obtenidos para el parámetro δ_{ijh} , vemos que todas las intervenciones van a poder llevarse a cabo ya que, mientras que los datos de sus fechas la obligan a ser programada en los días indicados, todas tienen algún valor de δ_{ijh} igual a 1 para ese día.

Resultados obtenidos:

Una vez definidos todos los parámetros, continuamos con la resolución de este. Los resultados obtenidos del Modelo diario para la función objetivo (FO diario), el tiempo total invertido en operar y las variables son los siguientes:

- FO diario = 16
- Tiempo total de intervenciones = 316.505 minutos
- Variable X_{ijh} :

X_{000} = 0	X_{001} = 0	X_{002} = 1	X_{003} = 0	X_{004} = 0	X_{005} = 0	X_{006} = 0	X_{007} = 0	X_{008} = 0	X_{009} = 0
X_{010} = 0	X_{011} = 0	X_{012} = 0	X_{013} = 0	X_{014} = 0	X_{015} = 0	X_{016} = 0	X_{017} = 0	X_{018} = 0	X_{019} = 0
X_{100} = 0	X_{101} = 1	X_{102} = 0	X_{103} = 0	X_{104} = 0	X_{105} = 0	X_{106} = 0	X_{107} = 0	X_{108} = 0	X_{109} = 0
X_{110} = 0	X_{111} = 0	X_{112} = 0	X_{113} = 0	X_{114} = 0	X_{115} = 0	X_{116} = 0	X_{117} = 0	X_{118} = 0	X_{119} = 0
X_{200} = 0	X_{201} = 0	X_{202} = 0	X_{203} = 0	X_{204} = 0	X_{205} = 0	X_{206} = 0	X_{207} = 0	X_{208} = 0	X_{209} = 0
X_{210} = 0	X_{211} = 0	X_{212} = 1	X_{213} = 0	X_{214} = 0	X_{215} = 0	X_{216} = 0	X_{217} = 0	X_{218} = 0	X_{219} = 0

X_{300} = 0	X_{301} = 0	X_{302} = 0	X_{303} = 0	X_{304} = 0	X_{305} = 0	X_{306} = 0	X_{307} = 0	X_{308} = 0	X_{309} = 0
X_{310} = 0	X_{311} = 0	X_{312} = 0	X_{313} = 0	X_{314} = 0	X_{315} = 0	X_{316} = 0	X_{317} = 0	X_{318} = 0	X_{319} = 0
X_{400} = 0	X_{401} = 0	X_{402} = 1	X_{403} = 0	X_{404} = 0	X_{405} = 0	X_{406} = 0	X_{407} = 0	X_{408} = 0	X_{409} = 0
X_{410} = 0	X_{411} = 0	X_{412} = 0	X_{413} = 0	X_{414} = 0	X_{415} = 0	X_{416} = 0	X_{417} = 0	X_{418} = 0	X_{419} = 0
X_{500} = 1	X_{501} = 0	X_{502} = 0	X_{503} = 0	X_{504} = 0	X_{505} = 0	X_{506} = 0	X_{507} = 0	X_{508} = 0	X_{509} = 0
X_{510} = 0	X_{511} = 0	X_{512} = 0	X_{513} = 0	X_{514} = 0	X_{515} = 0	X_{516} = 0	X_{517} = 0	X_{518} = 0	X_{519} = 0

Tabla 10: Valores de $X[i,j,h]$ del ejemplo

- Variable $Z_{s,j,h}$:

Z_{000} = 1	Z_{001} = 0	Z_{002} = 0	Z_{003} = 0	Z_{004} = 0	Z_{005} = 0	Z_{006} = 0	Z_{007} = 0	Z_{008} = 0	Z_{009} = 0
Z_{010} = 0	Z_{011} = 0	Z_{012} = 1	Z_{013} = 0	Z_{014} = 0	Z_{015} = 0	Z_{016} = 0	Z_{017} = 0	Z_{018} = 0	Z_{019} = 0
Z_{100} = 0	Z_{101} = 1	Z_{102} = 1	Z_{103} = 0	Z_{104} = 0	Z_{105} = 0	Z_{106} = 0	Z_{107} = 0	Z_{108} = 0	Z_{109} = 0
Z_{110} = 0	Z_{111} = 0	Z_{112} = 0	Z_{113} = 0	Z_{114} = 0	Z_{115} = 0	Z_{116} = 0	Z_{117} = 0	Z_{118} = 0	Z_{119} = 0

Tabla 11: Variable $Z[s,j,h]$ del ejemplo

Análisis de resultados:

El paso final será comprobar la coherencia de los resultados obtenidos, verificando que se cumplen todas las restricciones impuestas: Vemos que todas las operaciones han sido planificadas como máximo 1 vez en el horizonte temporal, cumpliendo así (2). Volviendo a las conclusiones sacadas a partir de los parámetros d_i y rd_i , comprobamos que se han cumplido para todas las operaciones, satisfaciendo así las restricciones (3) y (4). Además, todas las intervenciones asociadas a cada cirujano están planificadas en quirófanos donde ellos operan y respetando la capacidad temporal de estos, satisfaciendo las restricciones (7) y (8). Lo mismo ocurre con la (9), los cirujanos no han superado el número máximo de quirófanos a usar cada día. Y en todos los casos donde $\delta_{ijh}=0$, $X_{ijh}=0$, como dicta (10).

Para comprobar el cumplimiento de las restricciones (5) y (6) representaremos las operaciones planificadas en diagramas de Gantt. En primer lugar, haremos la representación usando como tiempo límite r_{jh} , para verificar que se respeta la capacidad de cada OR:

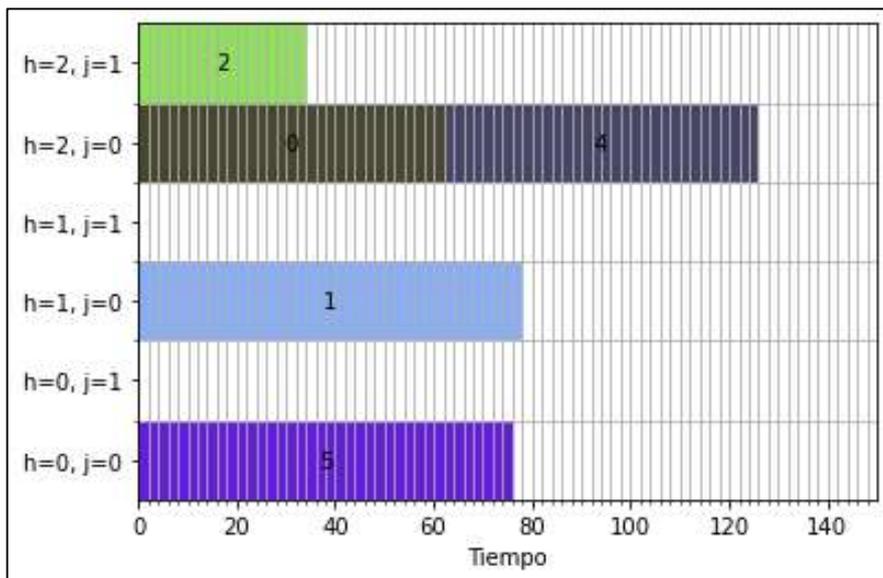


Ilustración 2: Diagrama de Gantt MILP Diario según $r[j,h]$

Vemos que en ningún caso se alcanza el valor máximo de uso de quirófanos, por lo que se satisface el conjunto de restricciones (5). En segundo lugar, si usamos como tiempo límite a_{sh} podremos estudiar con otro diagrama de Gantt el cumplimiento de las restricciones (6).

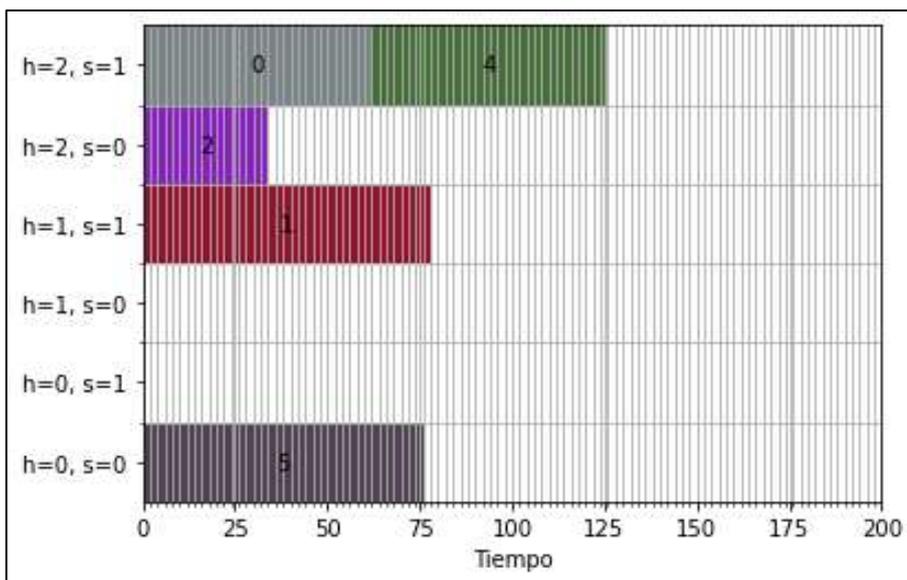


Ilustración 3: Diagrama de Gantt MILP Diario según $a[s,h]$

Observamos que se respeta la capacidad de los cirujanos para todos los casos, satisfaciendo así el conjunto (6). Para finalizar, se puede afirmar que todas las variables toman valores binarios como dictan (11) y (12), cumpliendo así estas con todas las restricciones de la función objetivo.

3.2 MILP Semanal

El modelo expuesto puede resultar demasiado exigente para diseñar una distribución de quirófanos a lo largo de un mes, por ejemplo. Realizar una planificación de esa magnitud con periodos diarios, tiene limitaciones. Para relajarlo, estudiaremos una alternativa al Modelo Diario, que consistirá en adaptarlo a un horizonte semanal.

Modificaciones respecto al modelo anterior:

- Se considerará que cinco días laborales equivalen a una semana en el horizonte temporal.

- *Índices y conjuntos*: Introduciremos un nuevo conjunto de semanas estudiadas en el horizonte temporal ($hs \in Hs$).
- *Parámetros*: Para evitar confusión, renombraremos aquellos parámetros que varíen debido a este cambio de horizonte.

$rweek_{jh}$	Capacidad regular de OR j en la semana h (minutos)
$awee_{sh}$	Capacidad regular del cirujano s en la semana h (minutos)
rw_i	<i>Release week</i> : Primera semana para operar al paciente i
$week_i$	<i>Due week</i> : Última semana para operar al paciente i
uw_s	Número máximo de ORs en el que un cirujano s puede operar durante la misma semana

Tabla 12: Parámetros MILP Semanal

- *Variables*: Lo mismo haremos con las variables.

Xs_{ijh}	1 si el paciente i es operado en la OR j en la semana h ; 0 c.c.
Zs_{sjh}	1 si el cirujano j trabaja en la OR j en la semana h ; 0 c.c.

Tabla 13: Variables MILP Semanal

Modelo matemático: Tratará de maximizar una función objetivo sujeta a 11 restricciones, que representan los mismos límites que el modelo diario. Partiendo de dicho modelo, e introduciendo las modificaciones descritas, el MILP Semanal resulta,

$$\text{Maximizar } \sum_{h \in Hs} \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i \cdot Xs_{ijh} \right) \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h \in Hs} Xs_{ijh} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h=1}^{rw_i-1} Xs_{ijh} = 0 \quad \forall i \in I \quad (15)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{\substack{h \in Hs \\ h > week_i}} Xs_{ijh} = 0 \quad \forall i \in I \mid di \leq |Hs| \quad (16)$$

$$\sum_{i \in I} t_i \cdot Xs_{ijh} \leq rweek_{jh} \quad \forall j \in J, \forall h \in Hs \quad (17)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{\substack{i \in I \\ \gamma_i=s}} Xs_{ijh} \leq awee_{sh} \quad \forall s \in S, \forall h \in Hs \quad (18)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ \gamma_i=s}} t_i \cdot Xs_{ijh} \leq rweek_{jh} \cdot Zs_{sjh} \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall h \in Hs \quad (19)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ \gamma_i = s}} t_i \cdot X_{Sijh} \geq Z_{Ssjh} \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall h \in Hs \quad (20)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{Ssjh} \leq uw_s \quad \forall s \in S, \forall h \in Hs \quad (21)$$

$$X_{Sijh} = 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall h \in Hs \mid \delta_{ijh} = 0 \quad (22)$$

$$X_{Sijh} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall h \in Hs \quad (23)$$

$$Z_{Ssjh} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall h \in Hs \quad (24)$$

3.2.1 Explicación del modelo

El objetivo del modelo es el mismo que el MILP Diario: maximizar el servicio de una SU priorizando las cirugías (pacientes) con mayor peso clínico. Las variables que optimizan este modelo varían, al planificar horizontes de semanas y no de días. Se han renombrado las variables y muchos parámetros porque representarán valores distintos al modelo anterior restringiendo así a la función objetivo de otra forma. En primer lugar, al igual que en el MILP Diario, los tres primeros conjuntos de restricciones (14), (15) y (16) están relacionadas con el horizonte temporal, esta vez tomado en semanas.

- (Restricción 14) Indica que un paciente como máximo puede operado una vez a la semana y en un único OR.
- (Restricción 15 y 16) Definen la semana más temprana (rw_i) y la más tardía ($week_i$) en la que puede programarse una operación. Se entenderá que los primeros 5 días, pertenecen a la semana 0, los 5 siguientes a la semana 1 y así sucesivamente.

Los límites de capacidad en un periodo, tanto de la disponibilidad (en minutos) de un OR en una semana ($rweek_{ijh}$) para ser usado como la de un cirujano ($awee_{sh}$) para operar, son impuestos por separado en los conjuntos de restricciones que siguen (17 y 18) respectivamente. Si a un cirujano (s), se le asigna trabajar en un quirófano (j) y en una semana determinada: el total de sus operaciones allí realizadas no puede superar la capacidad de dicho OR (restricción 19), pero esta suma total de duraciones no podrá ser nula (restricción 20). Las restricciones (21) limitan el número de quirófanos en el que un cirujano puede operar en una semana, y las restricciones (22) garantizan que cada intervención se realice en un quirófano adecuado según si esta requiere un OR especializado ($\delta_{ijh} = 0$) o no. Para acabar, los dos últimos conjuntos definen las dos variables del modelo como binarias.

3.2.2 Ejemplo

Como vimos para el modelo anterior, el siguiente paso es la comprobación de la formulación matemática. Aplicaremos el modelo semanal al mismo ejemplo que el usado anteriormente para poder comparar resultados. Tan solo necesitaremos adaptar los parámetros necesarios a nuestro nuevo modelo.

Datos de entrada:

El tamaño del problema es idéntico al ya establecido para este ejemplo ($I=6, J=2$ y $S=2$) salvo el horizonte temporal que como eran 10 días laborables y se ha definido que una semana equivale a 5 días, se impondrá $Hs=I$ porque este conjunto empezará a contar en cero, es decir, la semana 0 corresponde a los primeros 5 días, y la semana 1 a los 5 siguientes.

Además, será necesario adaptar, por un lado, las capacidades tanto de los cirujanos como de los propios quirófanos. El valor de dichos parámetros se multiplicará por 5 de tal forma que la disponibilidad de los quirófanos pasará a ser de 1000 minutos a la semana, y la de los cirujanos 750 minutos. Por otro lado, las fechas más tempranas y tardías para poder realizar la operación se establecerán en la semana 0 para aquellas comprendidas en los primeros 5 días y en la semana 1 para los 5 siguientes.

Por tanto, si recogemos los parámetros con los que aplicaremos el modelo, quedan de la siguiente forma:

$$rweek_{jh} = 1000 \quad \forall j \in J, \forall h \in H$$

$$awee_{sh} = 750 \quad \forall s \in S, \forall h \in H$$

rw_i

$rw_0 = 0$	$rw_1 = 0$	$rw_2 = 0$	$rw_3 = 0$	$rw_4 = 0$	$rw_5 = 0$
------------	------------	------------	------------	------------	------------

Tabla 14: Valores de $rw[i]$

$week_i$

$week_0 = 0$	$week_1 = 0$	$week_2 = 0$	$week_3 = 0$	$week_4 = 0$	$week_5 = 0$
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Tabla 15: Valores de $week[i]$

El resto de los parámetros tomarán el mismo valor obtenido anteriormente:

$$\gamma_i = [1,1,0,1,1,0]; t_i = [62.57,78.47,34.5,37.94,64.63,76.33]; w_i = [3,5,3,1,2,3], u_s = [1,1] \text{ y}$$

$$\delta_{ijh} = 0, (\forall i = 4 \cup j = 1 \cup hs \in Hs), \text{ò } \delta_{ijh} = 1 \text{ en caso contrario.}$$

Siguiendo el procedimiento anterior, trabajaremos en el entorno de trabajo detallado en el capítulo 4. El modelo matemático se traducirá, como veremos, al lenguaje de programación Python y recogeremos los resultados de para realizar un análisis de estos. Pero antes podemos sacar algunas conclusiones de los parámetros definidos.

Al tratarse de un problema tan sencillo, vemos que todas las operaciones han de realizarse en la semana 0 pues eso nos indican las fechas más tempranas y tardías de cada operación. Teniendo esto en cuenta, y recordando los valores del parámetro δ_{ijh} , (que tomaba valor 0, $\forall i = 4 \cup j = 1 \cup h \in H$, y 1 en caso contrario) concluimos que todas las operaciones van a poder llevarse a cabo en la fecha prevista (semana 0) ya que todas tienen algún valor de δ_{ij} igual a 1 para dicha semana.

Resultados obtenidos:

A continuación, detallaremos los resultados del modelo semanal obtenidos para la función objetivo (FO semanal), el tiempo total invertido en realizar las operaciones y las variables:

- FO semanal= 17;
- Tiempo total de intervenciones = 354.447 minutos
- Variable $X_{S_{ijh}}$:

$X_{S_{000}} = 1$	$X_{S_{001}} = 0$	$X_{S_{010}} = 0$	$X_{S_{011}} = 0$
$X_{S_{100}} = 0$	$X_{S_{101}} = 0$	$X_{S_{110}} = 1$	$X_{S_{111}} = 0$
$X_{S_{200}} = 1$	$X_{S_{201}} = 0$	$X_{S_{210}} = 0$	$X_{S_{211}} = 0$
$X_{S_{300}} = 1$	$X_{S_{301}} = 0$	$X_{S_{310}} = 0$	$X_{S_{311}} = 0$
$X_{S_{400}} = 1$	$X_{S_{401}} = 0$	$X_{S_{410}} = 0$	$X_{S_{411}} = 0$
$X_{S_{500}} = 1$	$X_{S_{501}} = 0$	$X_{S_{510}} = 0$	$X_{S_{511}} = 0$

Tabla 16: Valores de $X_{S[i,j,h]}$ del ejemplo

- Variables $Z_{s_{jh}}$:

$Z_{s_{000}} = 1$	$Z_{s_{001}} = 0$	$Z_{s_{010}} = 0$	$Z_{s_{011}} = 0$
$Z_{s_{100}} = 1$	$Z_{s_{101}} = 0$	$Z_{s_{110}} = 1$	$Z_{s_{111}} = 0$

Tabla 17: Valores de $Z_{s[j,h]}$ del ejemplo

Análisis de resultados:

Si analizamos los valores obtenidos, vemos que todas las operaciones han sido planificadas como máximo 1 vez en el horizonte temporal, cumpliendo así (2) y comprobamos que se han planificado todas las cirugías en la semana 0, satisfaciendo así las restricciones (3) y (4). Además, todas las intervenciones asociadas a cada cirujano están planificadas en quirófanos donde ellos operan y respetando la capacidad temporal de estos, satisfaciendo las restricciones (7) y (8). Lo mismo ocurre con la (9), los cirujanos no han superado el número máximo de quirófanos a usar cada día. Y en todos los casos donde $\delta_{ijh} = 0$, $X_{s_{ijh}} = 0$, como dicta (10).

Para comprobar el cumplimiento de las restricciones (5) y (6) representaremos las operaciones en diagramas de Gantt al igual que hicimos con el MILP diario.

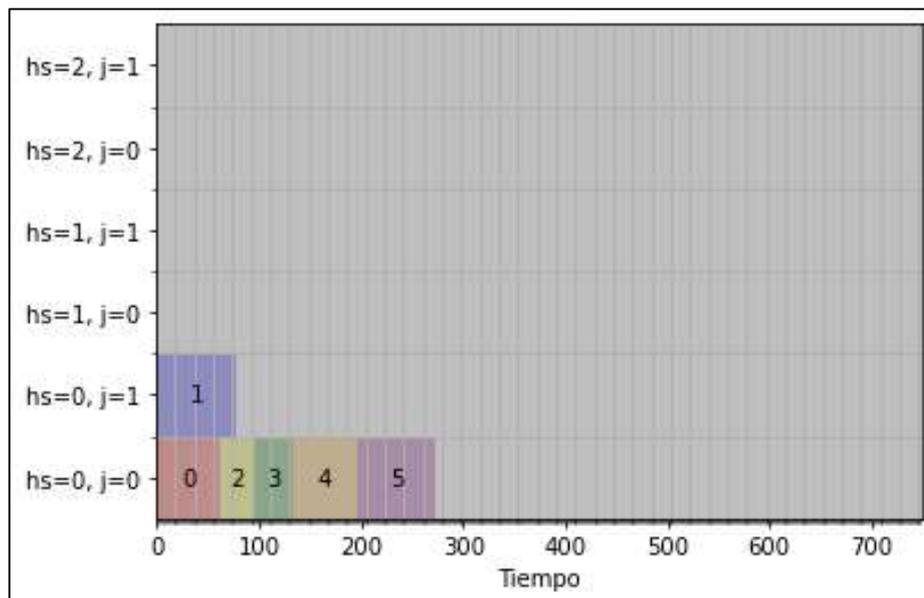


Ilustración 4: Diagrama de Gantt MILP Semanal según $rweek[j][h]$

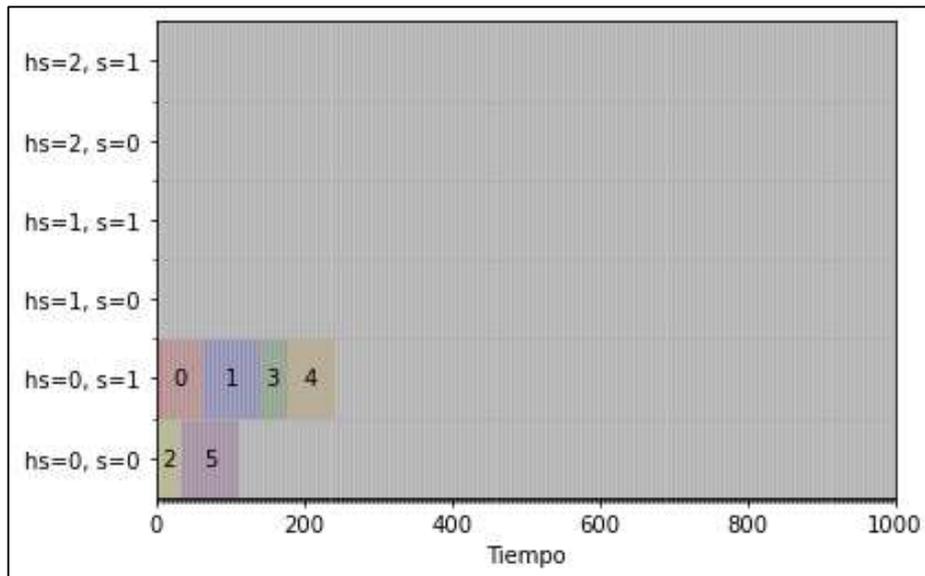


Ilustración 5: Diagrama de Gantt MILP Semanal según $aw_{week[s][h]}$

Observando los diagramas se verifica se han respetado tanto las capacidades de los quirófanos, al no superar en ningún caso el límite de 750 minutos (Ilustración 4) como las capacidades de los cirujanos (Ilustración 5). Concluimos que el modelo es válido pues los valores de las variables obtenidas satisfacen todas las restricciones que limitan a la función objetivo.

3.3 Reducción capacidades

No serviría de nada realizar el estudio de un modelo sino se puede aplicar más adelante a un caso práctico real. El Modelo Semanal propuesto en la sección anterior resulta ser más eficiente que el Modelo Diario al planificar un mayor número de operaciones para un mismo problema. Obteniendo así un mayor valor de función objetivo bajo las mismas condiciones de cirujanos, pacientes en listas de espera, tamaño de horizonte temporal estudiado etc. Lo hemos podido observar en el ejemplo donde FO diario= 16 mientras que FO semanal=17. La razón de este incremento se debe a que el Modelo Semanal optimiza sin tener en cuenta, que las horas disponibles en una semana no transcurren todas seguidas, sino que como ocurre en la vida real, estas horas vienen condicionadas por jornadas laborales, lo que permite a los cirujanos descansar. En otras palabras, refiriéndonos directamente a los parámetros, este modelo está tomando unas capacidades disponibilidad de los quirófanos y de posibilidad de trabajar de los cirujanos superiores, que hacen que la función objetivo esté menos restringida y resulte entonces superior.

Como solución, y para cumplir con el objetivo de introducir un horizonte semanal para una estimación a medio plazo, estudiaremos una metodología para encontrar un MILP Semanal, que sea válido para un caso real. Es decir, un modelo que, aun siguiendo un horizonte semanal, sea equivalente al MILP Diario.

3.3.1 Metodología de equilibrado de capacidad

A continuación, se detalla dicha metodología que estará compuesta por 6 pasos. Consistirá en encontrar el equilibrado de capacidades mediante un proceso iterativo en el que se irá reduciendo la capacidad del MILP Semanal, hasta llegar a dicho equilibrio con el MILP Diario.

Paso I: Generación de instancia aleatoria.

Lo primero, será establecer un conjunto de datos de entrada que necesita el modelo. Este conjunto se generará de manera aleatoria con el objetivo de poder comparar resultados en distintos escenarios. La explicación de cada uno de los parámetros de entrada del problema y la forma que serán definidos vendrá detallado en el Capítulo 5.

Paso II: Resolución instancia para MILP Diario

Una vez se ha generado una instancia con el tamaño de los conjuntos y los datos del problema se procede a resolver el modelo. Se recogerán 4 tipos de datos cada vez que se evalúe el modelo con una instancia distinta: si se ha alcanzado la solución óptima, el valor de esta (Función Objetivo) o en su defecto el mejor valor hallado hasta el momento, el tiempo de ejecución y el tiempo total de ocupación de los quirófanos. Este último parámetro se refiere al tiempo total de operación que requieren las intervenciones planificadas.

Paso III: Resolución instancia para MILP Semanal

Seguiremos el mismo procedimiento con el modelo semanal haciendo uso de una semilla para resolver este modelo con la misma instancia y poder realizar un posterior análisis de los resultados obtenidos. Se recogerán también 4 tipos de datos de este modelo: si se ha alcanzado la solución óptima, el valor de esta (Función Objetivo) o en su defecto el mejor valor hallado hasta el momento, el tiempo de ejecución y el tiempo total de ocupación de los quirófanos.

Paso IV: Relación de ocupación

Una vez evaluados ambos modelos con la misma instancia, tomaremos el dato de ocupación recogido para cada modelo que se denominará “T total de ocupación” y hallaremos la relación entre ellos para evaluar la situación, y conocer cuanto varía uno de otro.

$$\text{Ratio} = \frac{\text{T total ocupación diario}}{\text{T total ocupación semanal}} \quad (25)$$

Paso V: Reducción de capacidades

La relación de los tiempos de ocupación representa la variación de eficiencia existente entre ambos modelos. Para hacerlos equivalentes, reduciremos las capacidades de los quirófanos ($rweek_{jh}$) y de los cirujanos ($awee_{sh}$) en ese porcentaje.

Paso VI: Condición de iteración

Si la relación es a menor a 0.95, es decir los tiempos de ocupación varían en más de un 5%, se volverá al Paso I a generar otra instancia y evaluar ambos modelos. De manera que se itera hasta llegar a cumplir esta condición que indica que los modelos son equivalentes.

3.4 Entorno de trabajo

Para realizar la experimentación computacional es necesario elegir un entorno de trabajo informático compatible con nuestro estudio.

En primer lugar, será necesario seleccionar un lenguaje de programación apropiado para implementar los modelos. Algunos comunes que se aprenden en la escuela a lo largo del grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales son C++, Python, Matlab, R o Lingo. En este estudio, se ha decidido usar Python.

Python es un lenguaje que todo el mundo debería conocer. Su sintaxis simple, clara y sencilla hacen que se trate de uno de los mejores lenguajes para comenzar a programar (Raúl González Duque, 2011). Otro de los beneficios de este lenguaje es que cuenta con una gran cantidad de librerías disponibles, algunas de las usadas a lo largo del código son:

- *Random*: Esta librería proporciona funciones para generar números pseudoaleatorios, seleccionar elementos al azar dentro de un rango o para calcular distribuciones.
- *Math*: Este módulo proporciona acceso a las funciones matemáticas definidas en el estándar del lenguaje C, como por ejemplo *ceil()* que permite el redondeo al cociente entero superior.
- *Xlwt*: Para crear y modificar archivos de hojas de cálculo en formato Excel (.xls). Muy útil para la recogida de datos.

Una vez seleccionado el lenguaje de programación, se plantea usar un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) que facilite el desarrollo y la depuración del código. Basta con elegir uno adecuado dedicado al desarrollo de códigos en Python y que sea compatible con las librerías que a usar. El IDE elegido es Spyder que está diseñado para trabajar con análisis numéricos y computacionales.

Por último, el solver para resolver los modelos codificados será Gurobi Optimizer 10.0.1. Este solver, nos devolverá el resultado óptimo, en caso de que exista, o sino la mejor solución encontrada en un tiempo límite que impondremos. A tal efecto, le introduciremos nuestras variables, restricciones y función objetivo que componen nuestro problema.

En el capítulo 5, se detallarán los experimentos computacionales llevados a cabo para completar la resolución de los modelos de decisión MILP. Estos experimentos, necesitan de un equipo tecnológico. El utilizado, ha sido un HP Laptop 15s-e12xxx que cuenta con un procesador AMD Ryzen 7 5700U with Radeon Graphics 1,8 GHz, una memoria RAM instalada de 16,0 GB (15,3 usable) y un sistema operativo de 64 bits.

4 SIMULACIÓN

Los estudios de simulación son el método más extendido para la evaluación del rendimiento de algoritmos. Permiten evaluar el rendimiento de un sistema antes de implementarlo en la realidad, probando diferentes escenarios y evaluando los impactos de estos en el sistema. En general pueden resumirse en dos pasos (María de los Ángeles Ramírez Rojas, 2020):

1. Generación de banco de pruebas: Generar un conjunto de instancias específicamente para el modelo en cuestión, o generar instancias que se adaptan de otros modelos existentes. Para generar un banco de pruebas se debe tener en cuenta: el tamaño de las instancias que debe ser acorde a las dimensiones del problema real, el número de instancias de forma que sean suficientes para obtener resultados útiles, los principales parámetros del modelo con respecto al objetivo previsto, etc.
2. Análisis de los algoritmos: Comparación de los algoritmos, al ejecutar el modelo con cada una de las instancias del problema y evaluar su rendimiento para deducir cuál funciona mejor.

4.1 Casuísticas

El caso que ocupa este trabajo adapta un banco de pruebas tomada del Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia (2015) referente a una sola unidad de quemados (basada en la política seguida en el hospital de referencia) a los modelos en cuestión que evaluará varias SUs paralelamente simulando un hospital real.

Para poder realizar una investigación más completa, se estudiarán dos casos a los que implementar el problema que se diferenciarán en el tamaño.

4.1.1 Caso 1

En primer lugar, se pretende simular un hospital pequeño compuesto por 2 SUs en las que se trabajará de forma paralela, y por 6 ORs que serán distribuidos entre las 2 unidades, de tal forma, que no puede haber una unidad vacía, y por tanto en una unidad habrá como mínimo un OR y como máximo cinco.

El objetivo de esta simulación es la de analizar las posibles distribuciones de quirófanos disponibles en las unidades que componen al hospital y deducir cuál funciona mejor. Al contar con 2 unidades y 6 OR., será posible evaluar 5 distribuciones distintas. Cabe destacar, que cada unidad, contará con un tamaño distinto en lo que respecta a cirujanos y listas de espera.

4.1.2 Caso 2

En segundo lugar, se pretende simular un hospital grande compuesto por 3 SUs paralelas y 9 ORs. Siguiendo el razonamiento anterior, en una unidad habrá como mínimo un quirófano y como máximo 7, siguiendo la intención de no dejar ninguna unidad vacía. Se evaluarán así 28 distribuciones distintas.

4.2 Evaluación

El segundo paso, tras la generación de pruebas consiste en el análisis y comparación de algoritmos. Para cada instancia de problema, se obtendrá como solución el valor de todas las variables del modelo que indican la programación de las intervenciones a lo largo del horizonte considerado, pero ¿cómo se deduce si una distribución de ORs funciona mejor que otra?

Además de las variables del modelo, se extraerá para cada algoritmo, 4 tipos de datos:

1. Si el modelo ha sido resuelto de forma óptima.
2. Si el caso anterior es positivo, se devuelve el valor óptimo encontrado (función objetivo), en caso

contrario se devuelve el mejor valor encontrado hasta el momento.

3. El tiempo de ejecución, es el tiempo (en segundos) que se ha tardado en encontrar el óptimo. En caso de no encontrarlo, este tiempo equivaldrá al tiempo límite impuesto al modelo como condición de parada.
4. El tiempo total de ocupación de quirófanos, que será la suma de la duración aproximada de todas las intervenciones planificadas.

El análisis de la eficiencia de las distribuciones para una misma instancia se basará, en el caso de haber encontrado el óptimo, en la suma de las funciones objetivos de todas las unidades del hospital. Siendo la mejor distribución, aquella con la suma de óptimos superior (ya que el modelo busca maximizar la FO).

Esta evaluación, se puede realizar también de forma equivalente a partir del tiempo total de ocupación de quirófanos. Pues resulta evidente que, será más eficiente, aquella distribución con el mayor porcentaje de ocupación.

5 RESULTADOS

En este capítulo se lleva a cabo la experimentación de los modelos descritos para la resolución del problema. Abordando los pasos que este requiere, tanto la descripción de la generación de instancias como la ejecución del código, recogida de datos y posterior análisis de estos.

5.1 Generación instancias

Cada uno de los escenarios en los que evaluaremos nuestro modelo, se denominará instancia. Estos escenarios son el conjunto de datos de entrada que necesita el modelo. La finalidad de generar instancias es realizar una comparación objetiva entre las alternativas a estudiar. Tal y como se explicó en el capítulo anterior, la explicación de cada uno de los parámetros de entrada del problema y la forma que serán definidos estará basada en el artículo Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015 y en el Trabajo de Fin de Grado de Irene Domínguez Galán (2022), adaptando el método de generación de instancias propuesto para una unidad a varias unidades e incorporando datos particulares que se aplican a este modelo.

5.1.1 Conjuntos:

- Quirófanos (J): El número de quirófanos disponibles dependerá de la casuística abordada. Tal y como se ha explicado en el capítulo 4, habrá entre 6 o 9 quirófanos repartidos en 2 o 3 unidades respectivamente. Sin embargo, para poder realizar un análisis objetivo de los resultados de todas las casuísticas debemos usar un único valor de J para cada unidad. De forma que, independientemente de cómo estén repartidos los quirófanos en las unidades (dato que evaluará el modelo), cada unidad mantenga los mismos recursos de cirujanos, pacientes etc. para todas las distribuciones. A tal efecto, se tomará un valor al azar entre 1 y el número máximo de quirófanos que puede haber en cada unidad. Este segundo valor dependerá de la casuística, por ejemplo, en el caso donde se dispone de 2 unidades y 6 ORs en total, como máximo se dispondrá de 5 ORs en una unidad y de 1 OR como mínimo.
Sumado a eso, se tendrán en cuenta, a la hora de la planificación aquellas intervenciones que requieran un quirófano especializado. Estos lo serán el 30% de los quirófanos disponibles.
- Pacientes (I): Número de cirugías en la lista de espera para el horizonte temporal estudiado. Algunos trabajos proponen generar cirugías una a una hasta que la duración de estas supere un porcentaje (β) del tiempo total disponible de los quirófanos en todo el horizonte de planificación (ej. (Lamiri M, 2009) o (Dexter F, 1999)). En este documento, consideramos para β el nivel tanto 100% como 125% para considerar escenarios habituales en los que el tiempo total de cirugía en lista de espera es igual o a supera la capacidad total del quirófano. En la actualidad, estos escenarios son habituales debido a que los presupuestos son muy restrictivos (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015).
- Días (H): Los horizontes temporales estudiados son de 5, 10 y 20 días.
- Semanas (H_s): De acuerdo con H , se estudiarán instancias de 1, 2 y 4 semanas.
- Cirujanos (S): El número de cirujanos se determina con la siguiente expresión,

$$S = \alpha * \frac{\sum_{j \in J} \sum_{h \in H} r_{jh}}{w * a_{sh_{\max}} * mds} \quad (26)$$

Donde:

α : es un factor de control y tomará valores de 1.5 y 2.

w : es el número de semanas en el horizonte temporal. Tomará distintos valores según h .

mds : número máximo de días que puede operar un cirujano en una semana. Variará entre 3 y 4.

$a_{sh_{m\acute{a}x}}$: tiempo máximo que un cirujano puede trabajar en un día.

Para cada combinación de los datos de entrada variables (α , β , mds , H , J) se genera una instancia, es decir 24 en total.

A su vez, dependiendo de la casuística abordada, cada instancia se evalúa según el tamaño del hospital en las posibles distribuciones de quirófanos, que, si recordamos lo descrito en el capítulo 5 consistían en:

- Caso 1: Hospital pequeño, 5 posibles distribuciones (6 ORs en 2 unidades). Es decir 120 algoritmos (24x5).
- Caso 2: Hospital grande, 28 posibles distribuciones (9 ORs en 3 unidades). Es decir 672 algoritmos (24x28).

Cada algoritmo se iterará 2 veces haciendo uso de semillas.

β	α	mds	H	J	Caso
100%, 125%	1.5, 2	3,4	5,10 y 20	$U[1, OR_{m\acute{a}x/ud}]$	[6 OR/2ud, 9 OR/3ud]

Tabla 18: Datos de entrada variable para generar instancia

5.1.2 Parámetros

Cada unidad, dentro de un mismo hospital (misma casuística) contará con sus propios parámetros que la caracterizan. Estos parámetros se definen y calculan de la siguiente forma:

- Capacidad regular de ORs (r_{jh}): Todos los quirófanos tendrán una capacidad de 8h todos los días, lo que equivale a 480 minutos (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015).
- Capacidad regular de los cirujanos (a_{sh}): Equivalente a la capacidad de los quirófanos, 480 minutos.
- Cirujano a cargo de cada cirugía en la lista de espera (γ_i): De forma iterativa, se asigna un cirujano a cada operación, siguiendo una distribución uniforme de números enteros entre 1 y S (número de cirujanos). Así, γ_i será igual al índice asignado al cirujano que intervendrá al paciente i (Irene Domníguez Galán, 2022).
- Primer día posible para operar al paciente i (rd_i): Cada operación tendrá una fecha asignada como la más temprana en la que se puede llevar a cabo. Se calcula según una distribución uniforme de números enteros entre 0 y J (número de ORs).
- Último día posible para operar al paciente i (d_i): A su vez, cada operación tendrá otra fecha asignada como la más tardía en la que se puede llevar a cabo.

$$d_i = MTBT_i - dwl_i \quad (27)$$

Donde:

$MTBT_i$ son las siglas de *Maximum Time Before Treatment*, el máximo tiempo que un paciente puede esperar antes de ser intervenido. Este parámetro será aleatoriamente uno de los valores 45,180 y 360. Estos se basan en los indicados por el Servicio Nacional de Salud, dependiendo de la especialidad de la intervención (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015).

dwl_i son las siglas de *Days in the Waiting List*, días que lleva el paciente en la lista de espera. Se calcula con la distribución uniforme de números enteros,

$$U[0, MTBT_i - 1] \text{ días} \quad (28)$$

- Elegibilidad de los ORs (δ_{ijh}): Es un parámetro binario. Tomará valor 1 si el paciente i puede ser operado en el OR j en el día h y 0 en el caso contrario. Esto se decide según un procedimiento utilizado por una especialidad quirúrgica de un hospital español en el que hay un tipo de cirugías que sólo pueden realizarse en un quirófano especializado. En este caso, la lista de espera se compondrá en un 90% de cirugías que pueden planificarse en cualquier quirófano (multifuncional o multifuncional especializado), mientras que el resto debe realizarse en uno especializado. En cada unidad, como hemos comentado en la sección anterior, el 30% de los quirófanos son especializados (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015). Dicho de otro modo, δ_{ijh} será 1, solo en el caso de un quirófano especializado y una operación que requiera el uso de este.
- Duración esperada de intervención (t_i): Cada operación asignada una duración aproximada, hallada siguiendo la distribución uniforme discreta $U[90,120]$ minutos.
- Peso clínico de operación (w_i): Se obtiene como combinación lineal de los valores normalizados de la prioridad médica del paciente (mp) y el número de días del paciente en lista de espera (dwl), es decir,

$$w_i = a * \frac{mp_i}{mp_{m\acute{a}x}} + (1 - a) \frac{dwl_i}{MTBT_i} \quad (29)$$

Donde:

mp_i , se genera a partir de una distribución uniforme discreta $U[1,5]$, siendo 5 la prioridad más alta ($mp_{m\acute{a}x}$).

a , es el peso o importancia de cada factor, asumiremos el mismo para ambos (Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia, 2015).

- Número máximo de ORs en el que el cirujano puede operar en un mismo día (u_s): Este parámetro tomará un valor aleatorio según una distribución uniforme discreta $[1, J]$ quirófanos.
- Al considerar un horizonte semanal, varios parámetros de los anteriores se adaptarán multiplicando o dividiendo sus valores por 5 y redondeándolo al entero superior, pues 5 días laborables corresponderán a una semana del horizonte temporal.

Las capacidades:

$$rweek_{jh} = 5 * r_{jh}, \text{ minutos} \quad (30)$$

$$aweek_{sh} = 5 * a_{sh}, \text{ minutos} \quad (31)$$

Las fechas límite para operar:

$$rw_i = \frac{rd_i}{5} \text{ semanas} \quad (32)$$

$$week_i = \frac{d_i}{5} \text{ semanas}$$

Y en máximo número de ORs donde puede operar un cirujano en una misma semana:

$$uw_s = 5 * u_s, \text{ quirófanos} \quad (33)$$

5.2 Resultados reducción capacidades

Pasamos a la ejecución del código, recogida de datos y análisis. Al ser cada una de las instancias de un tamaño diferente, resulta imprescindible definir un tiempo límite de ejecución para cada modelo para poder hacer un análisis objetivo. Este tiempo es de 600 segundos (10 minutos). De esta manera si se alcanza ese tiempo y no se ha encontrado una solución al problema, el programa devuelve el mejor valor de la función objetivo hasta ahora conseguido (Irene Domníguez Galán, 2022).

En esta sección, se mostrarán los resultados obtenidos tras resolver el algoritmo descrito en el Capítulo 3 (Sección 3). Como se explicó, este algoritmo consiste en evaluar los dos modelos tanto el MILP Diario como Semanal, recogiendo para cada instancia 4 tipos de datos de los cuales tomaremos: Si la solución obtenida es óptima y el tiempo total de ocupación de los quirófanos de ambos modelos, para hallar la relación entre ambos.

Las instancias generadas para este algoritmo varían respecto a lo descrito en la sección anterior, pues en este caso solo nos interesa contar con una unidad para comparar ambos modelos. A tal efecto, entre los datos de entrada variables presentados, modificaremos el valor de J (calculado según $U[1, OR_{máx/ud}]$), y le daremos un valor único que representa una unidad y será variable entre 2 y 4 ORs.

Además, descartaremos evaluar los modelos en un horizonte de 20 días, pues el modelo diario no es compatible con un plazo tan largo. De esta forma se estudiarán 32 icscenarios en 2 iteraciones cada una.

Recogiendo entonces los valores de entrada de nuevo en una tabla, queda tal que:

β	α	mds	H	J
100%, 125%	1.5, 2	3,4	5,10	2,4

Tabla 19: Datos de entrada para comparar modelos MILP

A continuación, se presenta, en primer lugar, una tabla con los resultados de cada una de las instancias evaluadas en 2 iteraciones. Se ha marcado en rojo los casos en las que las soluciones de ambos modelos son óptimas (=1), de forma que es viable realizar una comparación entre ellos. Y, en segundo lugar, otra tabla con la relación de los tiempos de ocupación entre ambos modelos para cada una de las instancias en las 2 iteraciones. Se puede observar cómo, se ha marcado en rojo, aquellas relaciones obtenidas de soluciones óptimas. Serán estas las que tomaremos para evaluar el algoritmo.

Siguiendo con los pasos del algoritmo, si realizamos un promedio de las relaciones obtenidas (óptimas), obtenemos un valor menor a 0.95 para ambas iteraciones (tabla 20), por lo que tal y como indica el algoritmo, no se ha cumplido la condición de parada y debemos iterar aplicando a las capacidades una reducción de dicho promedio que es 0.9385.

Iteración 1	Iteración 2	Promedio iteraciones
0.938	0.939	0.9385

Tabla 20: Promedio relación ocupación “óptimos”

J	α	β	H	mds	Iteracion 1 MD		Iteracion 1 MS		Iteracion 2 MD		Iteracion 2 MS			
					optimo	Tt ocup.								
2	1.5	1	5	3	0	4511.659	1	4735.254	1	4388.050	1	4697.510		
				4	0	4624.528	1	4754.121	1	4543.947	1	4749.659		
			10	3	0	9242.611	1	9549.222	0	9108.925	1	9518.514		
				4	0	9021.134	1	9570.187	0	9114.345	1	9539.667		
		1.25	5	3	1	4538.730	1	4788.993	0	4613.099	1	4792.779		
				4	1	4535.325	1	4773.721	1	4550.893	1	4786.979		
			10	3	0	9191.406	0	9561.500	0	9085.721	1	9599.321		
				4	0	9184.526	0	9577.548	0	9088.201	0	9587.628		
		2	1	5	3	0	4495.738	1	4710.393	1	4538.172	1	4752.753	
					4	0	4540.607	1	4734.445	0	4621.176	1	4749.788	
				10	3	0	9015.976	1	9557.624	0	9030.150	1	9576.031	
					4	0	9088.429	1	9523.781	0	9034.875	1	9550.225	
	1.25			5	3	1	4559.903	1	4793.702	0	4590.348	1	4784.307	
					4	1	4600.576	1	4799.221	1	4594.394	1	4799.947	
			10	3	0	9239.373	0	9592.069	0	9312.676	0	9585.573		
				4	0	9231.806	0	9591.793	0	9029.998	0	9586.566		
	4		1.5	1	5	3	1	8547.303	1	9515.269	1	9055.005	1	9596.647
						4	0	9042.802	1	9566.521	0	9138.239	1	9568.902
					10	3	0	18089.907	1	19190.935	0	17987.860	1	19150.192
						4	0	17955.840	1	19100.005	0	18178.048	1	19139.873
		1.25		5	3	0	9114.344	0	9599.142	0	9227.878	0	9592.741	
					4	0	9051.467	0	9597.173	0	9069.410	1	9598.270	
				10	3	0	18315.819	1	19197.893	0	18274.734	0	19195.227	
					4	0	18257.339	0	19195.694	0	18179.684	0	19194.592	
2		1		5	3	0	8908.991	1	9557.074	1	8618.436	1	9584.636	
					4	1	8825.072	1	9575.362	1	8759.734	1	9568.851	
				10	3	0	18224.734	1	19160.889	0	18323.350	1	19194.505	
					4	0	18181.604	1	19107.731	0	18215.500	1	19175.404	
			1.25	5	3	0	9009.951	1	9595.469	1	9036.833	1	9599.846	
					4	0	8938.069	0	9578.135	0	8865.221	0	9598.079	
		10		3	0	18583.987	0	19145.223	0	18333.071	1	19198.138		
				4	0	18227.372	0	19188.229	0	18325.028	0	19195.087		

Tabla 21: Resultados algoritmo

J	α	β	H	mds	Relación de ocupación	
					Iteración 1	Iteración 2
2	1.5	1	5	3	0.953	0.934
				4	0.973	0.957
			10	3	0.968	0.957
				4	0.943	0.955
		1.25	5	3	0.948	0.963
				4	0.950	0.951
			10	3	0.961	0.946
				4	0.959	0.948
	2	1	5	3	0.954	0.955
				4	0.959	0.973
			10	3	0.943	0.943
				4	0.954	0.946
		1.25	5	3	0.951	0.959
				4	0.959	0.957
			10	3	0.963	0.972
				4	0.962	0.942
4	1.5	1	5	3	0.898	0.944
				4	0.945	0.955
			10	3	0.943	0.939
				4	0.940	0.950
		1.25	5	3	0.949	0.962
				4	0.943	0.945
			10	3	0.954	0.952
				4	0.951	0.947
	2	1	5	3	0.932	0.899
				4	0.922	0.915
			10	3	0.951	0.955
				4	0.952	0.950
		1.25	5	3	0.939	0.941
				4	0.933	0.924
			10	3	0.971	0.955
				4	0.950	0.955

Tabla 22: Relaciones de ocupación

Las siguientes dos tablas muestran los resultados obtenidos tras haber aplicado la reducción a las capacidades del modelo semanal. Se vuelven a marcar en rojo aquellos resultados óptimos, con lo que se evalúa el algoritmo. Se verifica el haber llegado al final del algoritmo, mostrando como la relación de ocupación para cada instancia pasa a ser mayor de 0.95.

Iteración 1	Iteración 2	Promedio iteraciones
0.987	0.987	0.987

Tabla 23: Promedio relación ocupación reducida la capacidad

J	α	β	H	mds	Iteracion 1 MD		Iteracion 1 MS		Iteracion 2 MD		Iteracion 2 MS				
					optimo	Tt ocup.									
2	1.5	1	5	3	1	4425.751	1	4503.114	0	4557.851	1	4465.579			
				4	1	4495.602	1	4495.602	0	4457.975	1	4469.041			
			10	3	0	9016.865	1	9005.269	0	9076.860	1	8973.811			
				4	0	9148.639	0	8935.476	1	9078.856	1	8961.654			
		1.25	5	3	0	4493.177	1	4495.555	0	4554.856	1	4445.405			
				4	0	4489.906	1	4492.586	0	4623.074	1	4502.673			
			10	3	0	9231.381	1	9006.723	0	9055.366	1	8987.917			
				4	0	9185.151	1	9007.291	0	9081.453	1	8994.282			
			2	1	5	3	1	4580.142	1	4493.398	0	4571.888	1	4476.864	
						4	0	4566.478	1	4470.735	1	4457.319	1	4472.530	
	10	3			0	9123.303	1	9007.370	0	8940.781	1	8940.781			
		4			0	9115.434	1	9007.397	0	9063.970	1	8972.386			
	1.25	5		3	1	4482.886	1	4494.761	1	4490.373	1	4499.251			
				4	0	4591.392	1	4503.281	0	4598.060	1	4472.841			
		10		3	0	9098.652	0	8995.530	0	9275.963	0	9006.013			
				4	0	9139.557	1	9003.719	0	9109.467	1	8999.978			
		4		1.5	1	5	3	0	8981.794	1	8875.698	1	8800.482	0	8964.552
							4	1	8919.852	1	9004.138	1	8533.628	1	8934.621
	10		3			0	18026.988	0	18009.110	0	18113.203	1	17996.628		
			4			0	18037.042	0	17972.247	0	18290.203	1	18006.068		
1.25	5		3		0	9088.322	1	9003.120	0	9089.203	1	9007.863			
			4		0	9121.844	0	8997.537	0	9177.314	1	9006.972			
	10		3		0	18150.285	0	17983.976	0	18392.686	0	18007.345			
			4		0	18238.796	0	18008.279	0	18361.724	0	18012.539			
	2		1		5	3	0	9133.426	1	9007.848	1	8991.204	1	8975.027	
						4	1	8343.430	1	8952.711	1	8584.149	1	8995.507	
10				3	0	17968.926	0	17952.448	0	18315.563	0	18011.952			
				4	0	18140.790	1	18008.025	0	18235.058	1	18012.881			
1.25			5	3	0	9206.608	0	9005.441	1	8932.177	1	9003.701			
				4	0	9114.944	0	8993.621	0	9082.805	0	9001.990			
			10	3	0	18272.541	0	18011.691	0	17990.173	0	18005.424			
				4	0	18176.739	0	18011.342	0	18213.551	0	18007.621			

Tabla 24: Resultado algoritmo tras reducir capacidades

J	α	β	H	mds	Relación de ocupación	
					Iteración 1	Iteración 2
2	1.5	1	5	3	0.983	1.021
				4	1.000	0.998
			10	3	1.001	1.011
				4	1.024	1.013
		1.25	5	3	0.999	1.025
				4	0.999	1.027
			10	3	1.025	1.008
				4	1.020	1.010
	2	1	5	3	1.019	1.021
				4	1.021	0.997
			10	3	1.013	1.000
				4	1.012	1.010
		1.25	5	3	0.997	0.998
				4	1.020	1.028
			10	3	1.011	1.030
				4	1.015	1.012
4	1.5	1	5	3	1.012	0.982
				4	0.991	0.955
			10	3	1.001	1.006
				4	1.004	1.016
		1.25	5	3	1.009	1.009
				4	1.014	1.019
			10	3	1.009	1.021
				4	1.013	1.019
	2	1	5	3	1.014	1.002
				4	0.932	0.954
			10	3	1.001	1.017
				4	1.007	1.012
		1.25	5	3	1.022	0.992
				4	1.013	1.009
			10	3	1.014	0.999
				4	1.009	1.011

Tabla 25: Relación ocupación tras reducir capacidades

Para terminar esta sección, se ha decidido ir más allá y añadir un paso adicional para verificar que los modelos son equivalentes. Este paso consiste en comparar la función objetivo de ambos modelos una vez aplicada la reducción de capacidad. Se muestra los valores de la función objetivo obtenidos para ambos modelos, así como la relación entre ellos.

J	α	β	H	mds	Iteracion 1 MD		Iteracion 1 MS		Iteracion 2 MD		Iteracion 2 MS			
					optimo	FOd	optimo	FOsem	optimo	FOd	optimo	FOsem		
2	1.5	1	5	3	1	24.944	1	25.153	0	23.642	1	23.328		
				4	1	23.086	1	23.086	0	26.057	1	26.810		
			10	3	0	51.635	1	51.567	0	49.296	1	49.399		
				4	0	52.176	0	51.972	1	44.793	1	44.626		
		1.25	5	3	0	28.532	1	28.407	0	27.850	1	27.936		
				4	0	28.051	1	27.956	0	27.456	1	27.021		
			10	3	0	58.313	1	57.932	0	56.346	1	56.156		
				4	0	57.212	1	56.799	0	53.065	1	52.803		
		2	1	5	3	1	26.962	1	27.037	0	25.194	1	24.994	
					4	0	25.010	1	24.765	1	25.925	1	26.031	
				10	3	0	47.203	1	47.501	0	48.892	1	48.892	
					4	0	49.172	1	48.992	0	49.507	1	49.229	
	1.25			5	3	1	27.293	1	27.399	1	26.890	1	26.935	
					4	0	26.944	1	26.558	0	28.969	1	28.556	
			10	3	0	54.544	0	54.601	0	51.996	0	51.604		
				4	0	55.960	1	55.796	0	53.829	1	53.663		
	4		1.5	1	5	3	0	50.410	1	49.743	1	46.322	0	47.931
						4	1	45.189	1	46.754	1	47.950	1	51.360
					10	3	0	95.553	0	96.553	0	94.956	1	94.740
						4	0	99.832	0	100.621	0	94.286	1	97.189
		1.25		5	3	0	54.418	1	54.844	0	54.253	1	53.932	
					4	0	51.388	0	51.883	0	54.038	1	54.169	
			10	3	0	105.163	0	105.300	0	108.154	0	109.111		
				4	0	108.699	0	108.269	0	115.310	0	114.738		
2		1	5	3	0	50.960	1	50.942	1	47.135	1	48.042		
				4	1	44.500	1	48.699	1	46.635	1	48.229		
			10	3	0	97.668	0	98.158	0	97.246	0	100.296		
				4	0	97.124	1	97.861	0	99.743	1	99.267		
	1.25	5	3	0	52.490	0	53.172	1	54.268	1	54.903			
			4	0	53.350	0	53.285	0	51.993	0	52.882			
10	3	0	109.201	0	108.811	0	105.375	0	106.092					
		4	0	109.053	0	109.283	0	112.764	0	113.540				

Tabla 26: Valores FO diario y FO semanal tras reducir capacidades

J	α	β	H	mds	Relación FOs	
					Iteración 1	Iteración 2
2	1.5	1	5	3	0.992	1.013
				4	1.000	0.972
			10	3	1.001	0.998
				4	1.004	1.004
		1.25	5	3	1.004	0.997
				4	1.003	1.016
			10	3	1.007	1.003
				4	1.007	1.005
	2	1	5	3	0.997	1.008
				4	1.010	0.996
			10	3	0.994	1.000
				4	1.004	1.006
		1.25	5	3	0.996	0.998
				4	1.015	1.014
			10	3	0.999	1.008
				4	1.003	1.003
4	1.5	1	5	3	1.013	0.966
				4	0.967	0.934
			10	3	0.990	1.002
				4	0.992	0.970
		1.25	5	3	0.992	1.006
				4	0.990	0.998
			10	3	0.999	0.991
				4	1.004	1.005
	2	1	5	3	1.000	0.981
				4	0.914	0.967
			10	3	0.995	0.970
				4	0.992	1.005
		1.25	5	3	0.987	0.988
				4	1.001	0.983
			10	3	1.004	0.993
				4	0.998	0.993

Tabla 27: Relación FOs tras reducir capacidades

Iteración 1	Iteración 2	Promedio iteraciones
0.978	0.981	0.979

Tabla 28: Promedio relación FOs modelos equivalentes

Como conclusión, podemos considerar que ambos modelos son equivalentes al obtener que tanto la relación de sus funciones objetivos como la relación de ocupación son mayores que 0.95, llegando incluso a valores mayores que 0.97.

5.3 Resultados simulación caso 1

En esta sección veremos los resultados obtenidos tras resolver el caso de un hospital pequeño. Se evaluarán los 24 escenarios, en 5 posibles distribuciones de 6 quirófanos en 2 unidades quirúrgicas (1-5, 2-4, 3-3, 4-2, 5-1). Cada uno de estos algoritmos (120 en total) se iterará 2 veces. Hemos recogido 4 tipos de datos, tal y como se detalla en el capítulo 4 (“Simulación”): si se alcanza el óptimo, en caso de que así sea, el valor de este y su tiempo de ejecución. Sino se alcanza, se devuelve el mejor valor encontrado hasta el momento, junto con su tiempo de ejecución, que será el tiempo límite que imponemos nosotros al programa como condición de parada, 600 segundos (10 minutos).

En primer lugar, nos centraremos en el número de óptimos. En la siguiente tabla, se expone a modo resumen el número total de óptimos encontrados por distribución e iteración en el que se evalúa un total de 24 escenarios distintos en cada iteración.

J1	J2	Iteración 1	Iteración 2
1	5	20	9
2	4	24	4
3	3	24	8
4	2	24	10
5	1	22	11

Tabla 29: Tabla resumen número óptimos Caso 1

Como vemos en la tabla, en la primera iteración se ha obtenido un valor óptimo para todos los escenarios exceptuando la distribución 1-5 y 5-1, en la que hay 8 y 4 casos respectivamente en los que se ha alcanzado el límite de ejecución. Mientras que, en la segunda iteración, en todas las distribuciones más de la mitad de los escenarios no han alcanzado la optimalidad.

A continuación, se presenta una tabla que recoge para cada algoritmo, tanto si se ha alcanzado el óptimo como el valor de la solución recogida en la función objetivo independientemente de su optimalidad y redondeada a la milésima. Aquella instancia cuya casilla de óptimos, contenga un 1, significa que se ha alcanzado la solución óptima, mientras que si, contiene un 0, significa que se ha alcanzado un tiempo límite de ejecución.

La finalidad de esta tabla es la de realizar una comparación objetiva entre las distintas distribuciones, para ver cual funciona mejor, tomando como criterio, la suma de las funciones objetivo de las 2 unidades que le corresponden si y solo si esa solución es óptima. Se ha realizado esta comparación marcando de verde, aquellas distribuciones que, para cada escenario, obtienen mejores resultados dentro de los que son óptimos, siendo por tanto las más eficientes. A su vez, se ha marcado de rojo, el caso en el que no se alcanza la optimalidad, y que por tanto no sería lógico la comparación de esa distribución en el escenario correspondiente. Se puede observar, como estas distribuciones, alcanzan el tiempo límite de ejecución impuesto que eran 600 segundos para cada unidad. Si una unidad supera el límite ya se considera no óptimo. Por lo que todos aquellos valores (columna “Run_Time”) entre 600 (1 unidad no optima) y 1200 segundos (2 unidades no óptimas) son no óptimos.

En la primera iteración, observamos que en todos los casos con resultados óptimos ocurre lo mismo. Aquellas distribuciones en las que los quirófanos están compensados entre las dos unidades son más convenientes, y además obtienen soluciones equivalentes independientemente de si la distribución es 2-4,3-3 o 4-2. Sin embargo, la segunda iteración, al tener un menos de la mitad de los resultados no óptimos, nos impide en muchas ocasiones poder comparar resultados ciñéndonos únicamente a los casos óptimos. Si tenemos en cuenta, que, a pesar de no ser una distribución óptima, el modelo recoge el mejor resultado encontrado en el tiempo de ejecución, podremos observar cómo, los valores más altos de FO siempre lo obtiene la distribución más compensada, la 3-3.

Se muestra a su vez el tiempo total de ocupación, para verificar, que eficiencia significa reducción de tiempo ocioso y como consecuencia una mayor ocupación. Si recordamos, la ocupación se calculaba a partir, del tiempo aproximado de duración de las intervenciones planificadas en el horizonte de planificación.

β	α	H	mds	Iteración 1					Iteración 2							
				J1	J2	óptimo	sum FOsem	sum Run time	sum Tt ocup.	J1	J2	óptimo	sum FOsem	sum Run time	sum Tt ocup.	
1	1.5	1	3	1	5	1	22.3667	0.057	4671.191	1	5	1	69.169	0.068	11898.087	
				2	4	1	22.6236	0.062	4900.694	2	4	1	81.142	26.455	13510.083	
				3	3	1	22.6236	0.080	4900.694	3	3	1	83.1264	0.232	13497.046	
				4	2	1	22.6236	0.050	4900.694	4	2	1	78.714	290.725	13467.405	
				5	1	1	22.2958	0.042	4711.290	5	1	1	65.839	0.255	11962.285	
			1	5	1	22.3556	0.057	4721.792	1	5	1	69.032	0.069	11950.308		
			2	4	1	22.6222	0.043	4945.545	2	4	0	80.628	600.961	13456.032		
			3	3	1	22.6222	0.045	4945.545	3	3	1	83.4944	10.315	13486.354		
			4	2	1	22.6222	0.048	4945.545	4	2	1	79.719	10.783	13455.090		
			5	1	1	22.2806	0.043	4743.369	5	1	1	67.339	0.070	11949.036		
		2	3	1	5	1	49.4083	0.065	9321.668	1	5	0	132.842	600.231	23714.988	
		2		4	1	50.0139	0.054	9664.564	2	4	0	155.678	1200.170	26951.697		
		3		3	1	50.0139	0.047	9664.564	3	3	0	161.5278	616.983	27015.527		
		4		2	1	50.0139	0.047	9664.564	4	2	1	153.8667	8.143	27013.968		
		5		1	1	49.4639	0.063	9355.151	5	1	0	128.963	600.087	23777.925		
		1		5	1	50.1125	0.069	9360.698	1	5	0	137.922	600.075	23761.912		
		2		4	1	50.7167	0.049	9684.058	2	4	1	160.981	36.789	27016.891		
		3		3	1	50.7167	0.051	9684.058	3	3	0	166.082	719.503	27017.788		
		4		2	1	50.7167	0.047	9684.058	4	2	0	157.478	605.791	27005.188		
		5		1	1	49.7806	0.129	9336.581	5	1	0	131.617	600.109	23706.769		
	3	4	1	5	1	101.3250	0.131	18724.599	1	5	1	269.186	94.225	47511.632		
	2		4	1	102.5056	0.070	19362.638	2	4	0	320.329	1200.292	54019.242			
	3		3	1	102.5056	0.075	19362.638	3	3	0	335.165	1200.354	54022.004			
	4		2	1	102.5056	0.072	19362.638	4	2	0	323.832	1200.290	53956.966			
	5		1	1	101.1069	0.292	18705.210	5	1	1	276.244	5.188	47479.319			
	1		5	1	98.0306	0.228	18685.192	1	5	1	270.168	67.948	47504.867			
	2		4	1	99.3250	0.068	19319.799	2	4	0	320.381	1201.491	53973.081			
	3		3	1	99.3250	0.067	19319.799	3	3	0	334.176	1200.459	54015.670			
	4		2	1	99.3250	0.067	19319.799	4	2	0	321.990	1200.155	53969.906			
	5		1	1	98.4708	0.972	18786.450	5	1	1	273.663	127.527	47459.370			
	1	2	1	3	1	5	1	22.3972	0.052	4723.627	1	5	1	68.428	0.108	11918.638
	2				4	1	22.6639	0.058	4947.380	2	4	0	80.044	602.975	13506.106	
	3				3	1	22.6639	0.050	4947.380	3	3	1	82.624	31.219	13504.701	
	4				2	1	22.6639	0.053	4947.380	4	2	1	77.918	30.943	13430.079	
	5				1	1	22.3222	0.041	4745.204	5	1	1	65.624	0.671	11908.327	
	1			5	1	22.3667	0.056	4671.191	1	5	1	69.169	0.140	11898.087		
	2			4	1	22.6236	0.049	4900.694	2	4	1	81.142	41.875	13510.083		
	3			3	1	22.6236	0.042	4900.694	3	3	1	83.126	0.637	13497.046		
	4			2	1	22.6236	0.052	4900.694	4	2	1	78.714	561.781	13467.405		
	5			1	1	22.2958	0.043	4711.290	5	1	1	65.839	0.589	11962.285		
2	2		3	1	5	1	50.1708	0.066	9374.647	1	5	1	133.200	0.368	23786.320	
2				4	1	50.7750	0.046	9698.008	2	4	0	155.856	1200.217	27001.499		
3				3	1	50.7750	0.059	9698.008	3	3	0	161.896	1200.229	27015.818		
4				2	1	50.7750	0.049	9698.008	4	2	0	154.432	1200.124	27008.262		
5				1	1	49.6583	0.311	9266.569	5	1	0	130.032	600.099	23803.178		
1			5	1	49.4083	0.063	9321.668	1	5	0	132.842	603.800	23714.988			
2			4	1	50.0139	0.046	9664.564	2	4	0	155.678	1200.181	26951.697			
3			3	1	50.0139	0.046	9664.564	3	3	0	161.528	622.343	27015.527			
4			2	1	50.0139	0.049	9664.564	4	2	1	153.867	11.732	27013.968			
5			1	1	49.4639	0.062	9355.151	5	1	0	128.963	600.084	23777.925			
1	4	3	1	5	1	98.0500	0.214	18683.871	1	5	0	266.578	600.189	47426.071		
2			4	1	99.3444	0.076	19318.478	2	4	0	318.260	1200.219	54004.243			
3			3	1	99.3444	0.081	19318.478	3	3	0	334.875	1200.786	54025.565			
4			2	1	99.3444	0.076	19318.478	4	2	0	325.436	1200.771	54008.709			
5			1	1	98.4125	0.350	18778.275	5	1	0	278.072	600.191	47468.913			
1		5	1	101.3250	0.116	18724.599	1	5	1	269.186	93.962	47511.632				
2		4	1	102.5056	0.072	19362.638	2	4	0	320.329	1200.211	54019.242				
3		3	1	102.5056	0.072	19362.638	3	3	0	335.165	1200.227	54022.004				
4		2	1	102.5056	0.069	19362.638	4	2	0	323.832	1200.248	53956.966				
5		1	1	101.1069	0.291	18705.210	5	1	1	276.244	5.211	47479.319				

1.25	1.5	1	3	1	5	1	28.2875	0.055	5302.899	1	5	0	80.588	600.212	13501.697
				2	4	1	30.2486	0.050	6153.385	2	4	0	86.996	600.586	13502.345
				3	3	1	30.2486	0.052	6153.385	3	3	1	88.501	104.945	13509.221
				4	2	1	30.2486	0.048	6153.385	4	2	1	85.544	29.265	13509.517
				5	1	1	27.4681	0.079	5362.461	5	1	1	76.942	2.869	13510.648
		4	1	5	1	28.6542	0.074	5340.565	1	5	0	78.444	600.190	13508.146	
			2	4	1	30.4472	0.046	6102.819	2	4	1	85.468	15.085	13506.374	
			3	3	1	30.4472	0.043	6102.819	3	3	1	87.826	42.279	13498.435	
			4	2	1	30.4472	0.053	6102.819	4	2	1	85.371	38.968	13484.079	
			5	1	1	27.3639	0.057	5269.865	5	1	1	77.197	15.467	13454.347	
		2	3	1	5	1	59.1069	0.776	10537.381	1	5	0	164.758	602.862	27004.045
				2	4	1	63.1764	0.055	12082.179	2	4	0	177.857	1200.162	27003.217
				3	3	1	63.1764	0.050	12082.179	3	3	0	179.921	1200.115	27016.345
				4	2	1	63.1764	0.058	12082.179	4	2	0	174.083	1200.190	27014.153
				5	1	1	59.1903	0.080	10621.037	5	1	0	158.261	1200.276	26935.354
		4	1	5	1	56.2917	25.815	10510.129	1	5	0	161.921	606.182	26965.611	
			2	4	1	60.2042	0.067	12027.015	2	4	0	175.835	602.539	27010.664	
			3	3	1	60.2042	0.057	12027.015	3	3	0	179.713	930.989	27017.967	
			4	2	1	60.2042	0.060	12027.015	4	2	0	174.636	637.732	27014.877	
			5	1	1	56.4514	0.096	10558.823	5	1	0	160.108	601.681	26997.363	
	4	3	1	5	1	117.1708	0.545	21113.067	1	5	0	318.104	1200.242	53985.094	
			2	4	1	125.6194	0.083	24057.661	2	4	0	349.324	1200.786	54016.169	
			3	3	1	125.6194	0.082	24057.661	3	3	0	358.417	1200.488	54027.845	
			4	2	1	125.6194	0.083	24057.661	4	2	0	349.714	1200.283	54004.650	
			5	1	1	117.8958	6.603	21097.749	5	1	0	320.749	1200.290	54020.989	
	4	1	5	1	115.3333	0.556	21141.628	1	5	0	319.529	1200.161	53993.554		
		2	4	1	123.9736	0.082	24154.608	2	4	0	350.207	1200.481	54016.968		
		3	3	1	123.9736	0.087	24154.608	3	3	0	359.490	1200.355	54030.569		
		4	2	1	123.9736	0.090	24154.608	4	2	0	352.263	1200.206	54021.108		
		5	1	0	116.1764	600.064	21157.897	5	1	0	325.440	1200.160	53941.211		
	2	1	3	1	5	1	28.4708	0.106	5357.601	1	5	1	81.793	4.502	13481.783
				2	4	1	30.2639	0.060	6119.855	2	4	0	88.785	981.067	13506.285
				3	3	1	30.2639	0.062	6119.855	3	3	1	90.607	140.667	13508.832
				4	2	1	30.2639	0.057	6119.855	4	2	1	86.885	24.068	13508.457
				5	1	1	27.1806	0.075	5286.901	5	1	1	77.668	2.774	13503.513
			4	1	5	1	28.2875	0.067	5302.899	1	5	0	80.588	600.110	13501.697
				2	4	1	30.2486	0.056	6153.385	2	4	0	86.996	600.506	13502.345
				3	3	1	30.2486	0.062	6153.385	3	3	1	88.501	96.290	13509.221
				4	2	1	30.2486	0.064	6153.385	4	2	1	85.544	27.596	13509.517
				5	1	1	27.4681	0.115	5362.461	5	1	1	76.942	2.761	13510.648
		2	3	1	5	1	57.1222	47.261	10585.244	1	5	0	162.654	659.930	26961.364
				2	4	1	61.0347	0.065	12102.130	2	4	0	176.947	1200.169	27017.508
				3	3	1	61.0347	0.057	12102.130	3	3	0	179.429	1200.163	27017.235
				4	2	1	61.0347	0.060	12102.130	4	2	0	173.533	610.551	27020.097
				5	1	1	56.8028	0.126	10532.106	5	1	0	158.107	1200.120	27010.732
			4	1	5	1	59.1069	1.297	10537.381	1	5	0	164.758	603.679	27004.045
				2	4	1	63.1764	0.063	12082.179	2	4	0	177.857	1200.201	27003.217
				3	3	1	63.1764	0.056	12082.179	3	3	0	179.921	1200.281	27016.345
				4	2	1	63.1764	0.057	12082.179	4	2	0	174.083	1200.150	27014.153
				5	1	1	59.1903	0.094	10621.037	5	1	0	158.261	1200.119	26935.354
	4	3	1	5	1	115.3333	0.251	21131.484	1	5	0	322.679	1200.206	53975.787	
			2	4	1	123.9736	0.090	24144.463	2	4	0	352.813	1200.252	54005.292	
			3	3	1	123.9736	0.084	24144.463	3	3	0	361.311	1201.541	54026.529	
			4	2	1	123.9736	0.088	24144.463	4	2	0	353.292	1200.180	54025.917	
			5	1	0	116.1764	600.689	21147.753	5	1	0	324.579	646.675	53974.332	
		4	1	5	1	117.1708	1.617	21113.067	1	5	0	318.104	1200.595	53985.094	
			2	4	1	125.6194	0.110	24057.661	2	4	0	349.324	1200.962	54016.169	
			3	3	1	125.6194	0.100	24057.661	3	3	0	358.417	1200.343	54027.845	
			4	2	1	125.6194	0.102	24057.661	4	2	0	349.714	1200.228	54004.650	
			5	1	1	117.8958	19.345	21097.749	5	1	0	320.749	1200.380	54020.989	

Tabla 30: Resultados simulación caso 1

5.4 Resultados simulación caso 2

Pasamos a la simulación del caso de un hospital grande. Se evaluarán los 24 escenarios, en 28 posibles distribuciones de 9 quirófanos en 3 unidades quirúrgicas. Cada uno de estos algoritmos (672 en total) se iterará 2 veces. Hemos recogido 4 tipos de datos al igual que en el caso 1.

En la siguiente tabla, se expone a modo resumen el número total de óptimos encontrados por distribución e iteración en el que se evalúan un total de 24 escenarios cada uno.

<i>J1</i>	<i>J2</i>	<i>J3</i>	<i>Iteración 1</i>	<i>Iteración 2</i>
1	1	7	10	10
1	2	6	11	4
1	3	5	13	7
1	4	4	13	5
1	5	3	13	6
1	6	2	10	5
1	7	1	11	9
2	1	6	10	7
2	2	5	11	5
2	3	4	11	4
2	4	3	12	6
2	5	2	11	5
2	6	1	10	7
3	1	5	16	7
3	2	4	21	4
3	3	3	24	6
3	4	2	20	4
3	5	1	17	7
4	1	4	16	3
4	2	3	21	2
4	3	2	19	2
4	4	1	16	2
5	1	3	16	7
5	2	2	18	3
5	2	1	16	8
6	1	2	13	6
6	2	1	14	5
7	1	1	12	9

Tabla 31: Tabla resumen óptimos caso 2

Como vemos en la tabla, en la iteración 1 únicamente en la distribución 3-3-3 se ha obtenido un valor óptimo para todas y cada una de los distintos escenarios. Esta distribución se caracteriza porque los quirófanos están compensados completamente entre las 3 unidades. Mientras que en el resto de las distribuciones va disminuyendo el número de óptimos alcanzados, hasta llegar a solo 10 óptimos, dentro de los 24 escenarios que lo buscan en distribuciones como 1-1-7 o 2-1-6.

Por otro lado, en la iteración 2 vemos que el modelo es mucho menos eficiente. Llegando a encontrar únicamente 2 óptimos en distribuciones como la 4-2-3 o 4-4-1. Como se detallará más adelante, esta reducción de optimalidad tendrá que ver más con el horizonte temporal considerado en los escenarios que con la distribución de los ORs.

Siguiendo el procedimiento del caso 1, se presenta, a continuación, una tabla que recoge para cada algoritmo, tanto si se ha alcanzado el óptimo como el valor de la solución recogida en la función objetivo independientemente de su optimalidad y redondeada a la milésima. Aquella instancia cuya casilla de óptimos, contenga un 1, significa que se ha alcanzado la solución óptima, mientras que, si contiene un 0, significa que se ha alcanzado el tiempo límite de ejecución.

Se ha realizado esta comparación marcando de verde, aquella distribución que, para cada escenario, obtiene una solución óptima, y la mejor (mayor FO) respecto al resto siendo por tanto la más eficiente. A su vez, se ha marcado de rojo, el caso en el que no se alcanza la optimalidad, y que por tanto no se realiza la comparación de esa distribución en el escenario correspondiente. Se puede observar, como estas distribuciones, alcanzan el tiempo límite de ejecución impuesto que eran 600 segundos para cada unidad. Si una unidad supera el límite ya se considera no óptimo. Por lo que todos aquellos valores (columna "Run_Time") entre 600 y 1800 segundos son no óptimos.

Veremos como en la mayoría de los casos, la distribución marcada de verde será la 3-3-3, exceptuando aquellos escenarios en los que, al no encontrarse el óptimo en esta distribución, no puede tomarse para la comparación. Aunque cabe destacar, que, si se tuvieran en cuenta en la comparación de eficiencia todas las distribuciones, a pesar de no ser óptimas, (pues el modelo recoge las mejores soluciones encontradas hasta el momento) se verifica que la que siempre obtiene el mayor valor en la FO es la 3-3-3. Esto puede resultar lógico al encontrarse los 9 ORs repartidos uniformemente en la 3 SUs. Habrá otras distribuciones que, alcanzando su valor óptimo, no sean las que mejor funcionan, pero sigan siendo muy eficientes, al tener un valor de la función objetivo muy próximo al mejor encontrado (en la 3-3-3) como son los casos de 3-4-2 o 4-2-3 entre otros.

Por último, se muestra el tiempo total de ocupación, para verificar, que eficiencia significa reducción de tiempo ocioso y como consecuencia una mayor ocupación. La ocupación se calcula a partir, del tiempo aproximado de duración de las intervenciones planificadas en el horizonte de planificación.

β	α	H	mds	Iteracion 1									Iteracion 2				
				J1	J2	J3	optimo	sum FOsem	Run time	sum Tt ocup.	J1	J2	J3	optimo	sum FOsem	Run time	sum Tt ocup.
1.00	1.5	5	3	1	1	7	1	53.942	0.125	9354.326	1	1	7	1	90.926	0.396	15099.627
				1	2	6	1	63.397	0.177	11581.970	1	2	6	1	104.368	0.606	17349.854
				1	3	5	1	64.382	0.133	11987.431	1	3	5	1	115.674	153.997	19600.972
				1	4	4	1	64.382	0.143	11987.431	1	4	4	1	120.168	19.559	20249.632
				1	5	3	1	64.382	0.164	11987.431	1	5	3	1	113.863	9.405	19099.796
				1	6	2	1	63.478	0.147	11600.035	1	6	2	0	102.508	600.261	16857.025
				1	7	1	1	54.721	0.137	9357.893	1	7	1	1	88.557	0.341	14598.308
				2	1	6	1	61.986	0.128	11504.519	2	1	6	1	104.362	10.376	17350.091
				2	2	5	1	71.442	0.164	13732.163	2	2	5	1	117.804	9.614	19600.318
				2	3	4	1	72.426	0.129	14137.624	2	3	4	1	125.315	181.994	20256.789
				2	4	3	1	72.426	0.132	14137.624	2	4	3	1	124.911	21.317	20244.574
				2	5	2	1	71.522	0.158	13750.227	2	5	2	0	115.944	609.623	19107.490
				2	6	1	1	62.765	0.149	11508.086	2	6	1	1	101.993	10.122	16848.772
				3	1	5	1	63.269	0.128	11954.516	3	1	5	1	115.508	27.014	19601.336
				3	2	4	1	72.725	0.184	14182.160	3	2	4	1	125.156	43.271	20256.917
				3	3	3	1	73.710	0.117	14587.621	3	3	3	1	127.768	192.617	20252.512
				3	4	2	1	72.806	0.140	14200.225	3	4	2	0	124.703	629.822	20253.048
				3	5	1	1	64.049	0.134	11958.083	3	5	1	1	113.139	29.214	19100.018
				4	1	4	1	63.269	0.109	11954.516	4	1	4	0	120.708	618.201	20227.383
				4	2	3	1	72.725	0.160	14182.160	4	2	3	0	125.457	612.656	20222.087
				4	3	2	1	72.806	0.126	14200.225	4	3	2	0	125.408	1360.794	20230.434
			4	4	1	1	64.049	0.101	11958.083	4	4	1	0	119.746	602.628	20215.024	
			5	1	3	1	63.269	0.136	11954.516	5	1	3	1	117.861	12.499	20214.721	
			5	2	2	1	71.821	0.175	13794.763	5	2	2	0	119.949	600.412	20222.177	
			5	3	1	1	64.049	0.122	11958.083	5	3	1	1	117.303	155.759	20214.578	
			6	1	2	1	62.365	0.144	11567.120	6	1	2	0	107.079	600.151	18400.000	
			6	2	1	1	63.064	0.196	11552.622	6	2	1	1	106.569	0.384	18391.511	
			7	1	1	1	53.608	0.137	9324.978	7	1	1	1	93.128	0.181	16141.283	
			1	1	7	1	56.713	0.264	9332.686	1	1	7	1	87.197	0.878	14862.832	
			1	2	6	1	65.213	0.165	11447.965	1	2	6	1	101.222	2.202	17115.316	
			1	3	5	1	66.894	0.150	11771.226	1	3	5	1	113.068	17.787	19366.573	
			1	4	4	1	68.057	0.114	11979.367	1	4	4	0	119.472	604.469	20177.562	
			1	5	3	1	68.057	0.117	11979.367	1	5	3	0	113.736	600.194	18821.071	
			1	6	2	1	66.425	0.332	11551.398	1	6	2	1	102.876	1.847	16573.005	
			1	7	1	1	57.522	0.153	9374.755	1	7	1	1	89.686	0.289	14321.495	
			2	1	6	1	64.856	0.355	11578.897	2	1	6	1	100.735	479.135	17114.231	
			2	2	5	1	73.356	0.242	13694.176	2	2	5	1	114.760	468.663	19366.715	
			2	3	4	1	75.038	0.230	14017.436	2	3	4	0	123.735	1093.066	20182.984	
			2	4	3	1	76.200	0.212	14225.578	2	4	3	0	125.331	1105.718	20251.620	
			2	5	2	1	74.568	0.393	13797.609	2	5	2	1	116.414	487.780	18824.404	
			2	6	1	1	65.665	0.214	11620.966	2	6	1	1	103.224	474.251	16572.894	
			3	1	5	1	66.272	0.271	11984.817	3	1	5	0	111.903	600.737	19368.118	
3	2	4	1	74.772	0.162	14100.097	3	2	4	0	123.057	1202.482	20185.614				
3	3	3	1	76.454	0.169	14423.357	3	3	3	0	127.224	1223.944	20259.530				
3	4	2	1	75.985	0.344	14203.529	3	4	2	0	125.639	607.496	20257.442				
3	5	1	1	67.082	0.152	12026.887	3	5	1	0	114.392	600.220	18826.782				
4	1	4	1	66.272	0.290	11984.817	4	1	4	0	117.610	1200.871	20161.246				
4	2	3	1	74.772	0.188	14100.097	4	2	3	0	123.956	1202.769	20236.389				
4	3	2	1	74.822	0.407	13995.388	4	3	2	0	124.942	624.643	20239.580				
4	4	1	1	67.082	0.156	12026.887	4	4	1	0	121.026	606.468	20234.048				
5	1	3	1	66.272	0.277	11984.817	5	1	3	0	115.038	600.751	20190.089				
5	2	2	1	73.140	0.370	13672.128	5	2	2	1	118.203	4.192	20194.508				
5	3	1	1	65.919	0.224	11818.745	5	3	1	1	116.858	20.350	20194.255				
6	1	2	1	64.640	0.481	11556.849	6	1	2	1	104.178	1.711	17942.023				
6	2	1	1	64.238	0.232	11495.485	6	2	1	1	105.012	1.793	17942.998				
7	1	1	1	55.738	0.310	9380.206	7	1	1	1	90.988	0.616	15690.514				

1.00	1.5	10	3	1	1	7	0	114.149	1200.163	18648.751	1	1	7	0	247.771	615.219	40489.078
				1	2	6	0	133.554	601.807	23143.875	1	2	6	0	264.936	1209.376	40508.519
				1	3	5	0	134.762	600.102	23786.413	1	3	5	0	273.619	1211.219	40523.841
				1	4	4	0	134.762	600.108	23786.413	1	4	4	0	274.819	1211.616	40528.882
				1	5	3	0	134.762	600.102	23786.413	1	5	3	0	270.482	1212.033	40522.484
				1	6	2	0	133.628	600.358	23128.414	1	6	2	0	258.589	1212.481	40522.271
				1	7	1	0	114.815	614.837	18646.439	1	7	1	0	237.506	614.477	40468.714
				2	1	6	0	130.779	1200.115	23103.549	2	1	6	0	266.717	638.513	40509.934
				2	2	5	0	150.185	602.178	27598.673	2	2	5	0	279.443	1232.262	40525.889
				2	3	4	0	151.393	600.157	28241.210	2	3	4	0	283.856	1232.815	40530.900
				2	4	3	0	151.393	600.120	28241.210	2	4	3	0	282.244	1231.787	40530.211
				2	5	2	0	150.258	600.468	27583.212	2	5	2	0	274.490	1233.624	40523.790
				2	6	1	0	131.446	616.832	23101.237	2	6	1	0	258.431	634.247	40525.495
				3	1	5	0	131.875	600.123	23852.661	3	1	5	0	277.376	1215.315	40525.208
				3	2	4	1	151.281	1.916	28347.785	3	2	4	0	285.832	1800.393	40530.852
				3	3	3	1	152.489	0.107	28990.322	3	3	3	0	287.433	1801.565	40530.133
				3	4	2	1	151.354	0.329	28332.324	3	4	2	0	282.406	1800.201	40529.421
				3	5	1	1	132.542	14.412	23850.349	3	5	1	0	270.485	1202.756	40524.919
				4	1	4	0	131.875	600.143	23852.661	4	1	4	0	280.293	1217.502	40528.252
				4	2	3	1	151.281	1.862	28347.785	4	2	3	0	285.938	1800.266	40528.167
				4	3	2	1	151.354	0.378	28332.324	4	3	2	0	284.117	1800.266	40525.723
				4	4	1	1	132.542	14.151	23850.349	4	4	1	0	274.928	1202.711	40528.631
				5	1	3	0	131.875	600.108	23852.661	5	1	3	0	277.360	1219.925	40517.653
				5	2	2	1	150.146	2.013	27689.787	5	2	2	0	279.588	1802.524	40517.545
				5	3	1	1	132.542	13.852	23850.349	5	3	1	0	273.600	1204.168	40517.019
				6	1	2	0	130.740	600.411	23194.663	6	1	2	0	267.799	1216.982	40522.511
				6	2	1	1	131.333	16.031	23207.811	6	2	1	0	265.860	1202.709	40524.322
				7	1	1	0	111.928	614.653	18712.688	7	1	1	0	249.507	618.115	40519.201
				1	1	7	0	113.885	603.522	18606.834	1	1	7	0	247.208	608.056	40502.972
				1	2	6	0	133.360	600.974	23106.522	1	2	6	0	264.899	1212.381	40510.926
				1	3	5	0	134.779	600.138	23820.248	1	3	5	0	273.925	1210.722	40524.660
				1	4	4	0	134.779	600.124	23820.248	1	4	4	0	274.958	1210.487	40519.170
				1	5	3	0	134.779	600.154	23820.248	1	5	3	0	271.151	1210.179	40519.314
			1	6	2	0	133.815	601.637	23190.574	1	6	2	0	260.342	653.196	40504.640	
			1	7	1	0	115.553	606.779	18714.453	1	7	1	1	239.928	275.627	40495.763	
			2	1	6	1	131.982	2.904	23109.177	2	1	6	0	266.531	607.595	40511.869	
			2	2	5	1	151.457	0.994	27608.865	2	2	5	0	279.436	1207.146	40526.292	
			2	3	4	1	152.876	0.424	28322.591	2	3	4	0	283.983	1206.708	40529.605	
			2	4	3	1	152.876	0.433	28322.591	2	4	3	0	282.669	1206.329	40515.874	
			2	5	2	1	151.913	1.495	27692.917	2	5	2	0	275.700	651.967	40524.374	
			2	6	1	1	133.650	4.772	23216.796	2	6	1	0	260.390	608.504	40503.935	
			3	1	5	1	133.040	2.207	23744.247	3	1	5	0	277.207	1201.782	40524.424	
			3	2	4	1	152.515	0.539	28243.935	3	2	4	0	285.633	1800.236	40528.427	
			3	3	3	1	153.935	0.102	28957.661	3	3	3	0	287.833	1800.390	40523.499	
			3	4	2	1	152.971	1.164	28327.987	3	4	2	0	283.357	1248.152	40518.124	
			3	5	1	1	134.708	4.127	23851.866	3	5	1	0	271.888	1202.403	40520.859	
			4	1	4	1	133.040	2.156	23744.247	4	1	4	0	279.879	1202.223	40529.146	
			4	2	3	1	152.515	0.545	28243.935	4	2	3	0	285.958	1801.182	40524.907	
			4	3	2	1	152.971	1.038	28327.987	4	3	2	0	284.996	1248.566	40528.335	
			4	4	1	1	134.708	4.134	23851.866	4	4	1	0	276.019	1202.573	40517.195	
			5	1	3	1	133.040	2.130	23744.247	5	1	3	0	277.271	1202.058	40519.035	
			5	2	2	1	151.551	1.445	27614.261	5	2	2	0	280.188	1249.844	40523.152	
			5	3	1	1	134.708	4.495	23851.866	5	3	1	0	274.725	1202.551	40520.815	
			6	1	2	1	132.076	3.033	23114.574	6	1	2	0	268.268	651.060	40525.713	
			6	2	1	1	133.289	4.562	23138.140	6	2	1	0	266.685	1202.876	40524.066	
			7	1	1	1	113.814	6.050	18638.452	7	1	1	0	250.221	604.818	40482.813	

1.00	1.5	20	3	1 1 7 0	227.065	608.066	37237.245	1 1 7 0	498.594	1801.587	80971.243
				1 2 6 0	261.815	608.044	46241.149	1 2 6 0	536.742	1800.364	81010.536
				1 3 5 0	263.750	600.172	47506.147	1 3 5 0	556.192	1801.518	81035.244
				1 4 4 0	263.750	600.163	47506.147	1 4 4 0	560.603	1800.283	81040.566
				1 5 3 0	263.750	600.155	47506.147	1 5 3 0	553.307	1800.589	81002.091
				1 6 2 0	262.140	682.774	46293.744	1 6 2 0	533.088	1801.039	81000.623
				1 7 1 0	226.715	1200.163	37286.658	1 7 1 0	494.001	1800.267	80990.103
				2 1 6 0	265.622	608.981	46199.492	2 1 6 0	536.025	1800.276	81013.481
				2 2 5 0	300.372	607.787	55203.396	2 2 5 0	563.912	1800.903	81036.673
				2 3 4 0	302.307	600.214	56468.394	2 3 4 0	575.829	1800.668	81042.945
				2 4 3 0	302.307	600.197	56468.394	2 4 3 0	575.125	1800.448	81050.422
				2 5 2 0	300.697	673.422	55255.990	2 5 2 0	561.769	1800.561	81001.535
				2 6 1 0	265.272	1200.233	46248.905	2 6 1 0	532.958	1801.369	81001.360
				3 1 5 1	268.314	4.839	47541.987	3 1 5 0	554.572	1800.421	81041.025
				3 2 4 1	303.064	4.261	56545.891	3 2 4 0	574.926	1800.608	81045.782
				3 3 3 1	304.999	0.155	57810.889	3 3 3 0	581.728	1800.549	81054.209
				3 4 2 1	303.389	65.651	56598.486	3 4 2 0	574.964	1801.863	81051.274
				3 5 1 0	267.964	600.176	47591.400	3 5 1 0	553.017	1800.442	81003.679
				4 1 4 1	268.314	5.631	47541.987	4 1 4 0	559.278	1800.394	81043.840
				4 2 3 1	303.064	4.492	56545.891	4 2 3 0	574.517	1800.351	81050.752
				4 3 2 1	303.389	66.893	56598.486	4 3 2 0	575.258	1802.174	81048.767
			4 4 1 0	267.964	600.154	47591.400	4 4 1 0	559.903	1800.241	81047.124	
			5 1 3 1	268.314	4.523	47541.987	5 1 3 0	552.511	1800.395	81044.935	
			5 2 2 1	301.454	69.856	55333.488	5 2 2 0	561.690	1800.701	81041.435	
			5 3 1 0	267.964	600.160	47591.400	5 3 1 0	553.840	1800.390	81040.742	
			6 1 2 1	266.704	72.211	46329.584	6 1 2 0	531.707	1800.373	80993.827	
			6 2 1 0	266.029	605.421	46326.402	6 2 1 0	532.294	1800.503	80991.619	
			7 1 1 0	231.279	604.955	37322.498	7 1 1 0	492.425	1803.073	80964.200	
			4	1 1 7 0	227.983	604.807	37234.142	1 1 7 0	499.224	1800.200	80972.826
				1 2 6 0	262.660	607.124	46227.461	1 2 6 0	535.983	1800.318	81006.238
				1 3 5 0	264.643	600.213	47451.828	1 3 5 0	555.589	1800.718	81031.303
				1 4 4 0	264.643	600.205	47451.828	1 4 4 0	561.885	1800.271	81046.205
				1 5 3 0	264.643	778.377	47451.828	1 5 3 0	554.997	1806.265	81029.837
				1 6 2 0	262.971	601.752	46221.764	1 6 2 0	533.646	1800.412	81011.530
				1 7 1 0	226.706	1200.237	37235.156	1 7 1 0	493.804	1800.288	80976.660
				2 1 6 0	266.179	611.235	46221.604	2 1 6 0	536.639	1800.865	81005.788
				2 2 5 0	300.856	609.652	55214.923	2 2 5 0	564.539	1800.379	81032.422
				2 3 4 0	302.839	600.305	56439.290	2 3 4 0	577.093	1804.873	81047.473
				2 4 3 0	302.839	600.320	56439.290	2 4 3 0	576.843	1804.883	81044.675
				2 5 2 0	301.167	602.350	55209.226	2 5 2 0	563.006	1803.291	81035.914
				2 6 1 0	264.901	1200.553	46222.618	2 6 1 0	532.963	1800.419	81011.040
				3 1 5 1	268.496	9.840	47465.547	3 1 5 0	556.588	1800.282	81030.244
3 2 4 1	303.172	8.589		56458.865	3 2 4 0	577.439	1800.465	81046.800			
3 3 3 1	305.156	0.165		57683.232	3 3 3 0	583.450	1807.387	81044.086			
3 4 2 1	303.483	1.756		56453.168	3 4 2 0	576.250	1800.309	81048.895			
3 5 1 0	267.218	600.173		47466.561	3 5 1 0	553.718	1800.282	81033.631			
4 1 4 1	268.496	10.816		47465.547	4 1 4 0	563.325	1802.313	81039.471			
4 2 3 1	303.172	9.070		56458.865	4 2 3 0	577.631	1804.960	81038.327			
4 3 2 1	303.483	1.946		56453.168	4 3 2 0	576.692	1800.643	81043.220			
4 4 1 0	267.218	600.166	47466.561	4 4 1 0	560.797	1800.271	81041.526				
5 1 3 1	268.496	11.544	47465.547	5 1 3 0	556.786	1800.605	81015.376				
5 2 2 1	301.500	11.496	55228.801	5 2 2 0	564.142	1800.485	81021.838				
5 3 1 0	267.218	600.818	47466.561	5 3 1 0	554.508	1801.206	81020.229				
6 1 2 1	266.824	14.594	46235.482	6 1 2 0	535.482	1800.426	80994.945				
6 2 1 0	265.235	610.482	46242.194	6 2 1 0	534.143	1800.417	80994.905				
7 1 1 0	230.558	612.370	37248.875	7 1 1 0	494.749	1802.062	80777.779				

1.00	2.0	5	3	1	1	7	1	55.732	0.107	9350.933	1	1	7	1	92.436	0.448	15566.744
				1	2	6	1	66.315	0.283	11606.089	1	2	6	1	105.824	3.107	17817.648
				1	3	5	1	67.229	0.108	11941.892	1	3	5	1	116.778	35.799	20069.023
				1	4	4	1	67.229	0.101	11941.892	1	4	4	1	119.868	26.761	20264.802
				1	5	3	1	67.229	0.100	11941.892	1	5	3	1	111.919	1.841	18557.016
				1	6	2	1	66.435	0.093	11543.280	1	6	2	1	100.335	14.067	16304.235
				1	7	1	1	57.350	0.200	9291.219	1	7	1	1	86.221	0.283	14054.011
				2	1	6	1	63.885	0.119	11557.360	2	1	6	1	106.367	7.984	17817.500
				2	2	5	1	74.468	0.267	13812.516	2	2	5	1	119.754	10.786	20068.404
				2	3	4	1	75.382	0.144	14148.319	2	3	4	1	125.400	62.423	20263.730
				2	4	3	1	75.382	0.150	14148.319	2	4	3	1	124.604	13.359	20262.842
				2	5	2	1	74.588	0.171	13749.708	2	5	2	1	114.265	21.741	18554.991
				2	6	1	1	65.503	0.236	11497.646	2	6	1	1	100.151	7.997	16304.767
				3	1	5	1	64.646	0.087	11975.605	3	1	5	1	117.776	1.911	20069.935
				3	2	4	1	75.229	0.221	14230.761	3	2	4	1	125.856	26.339	20264.789
				3	3	3	1	76.143	0.097	14566.564	3	3	3	1	127.615	36.808	20263.449
				3	4	2	1	75.349	0.107	14167.952	3	4	2	1	124.429	20.025	20262.495
				3	5	1	1	66.264	0.193	11915.891	3	5	1	1	111.561	1.682	18557.201
				4	1	4	1	64.646	0.086	11975.605	4	1	4	1	122.169	27.438	20262.560
				4	2	3	1	75.229	0.220	14230.761	4	2	3	1	126.363	9.516	20260.749
				4	3	2	1	75.349	0.090	14167.952	4	3	2	1	125.732	53.137	20259.342
				4	4	1	1	66.264	0.198	11915.891	4	4	1	1	120.017	9.253	20260.947
				5	1	3	1	64.646	0.085	11975.605	5	1	3	1	118.679	4.242	20255.975
				5	2	2	1	74.435	0.242	13832.149	5	2	2	1	120.482	18.852	20254.097
				5	3	1	1	66.264	0.234	11915.891	5	3	1	1	117.322	36.468	20255.248
				6	1	2	1	63.851	0.100	11576.994	6	1	2	1	107.519	13.790	18342.163
				6	2	1	1	65.350	0.414	11580.088	6	2	1	1	106.793	2.705	18342.843
				7	1	1	1	54.767	0.242	9324.932	7	1	1	1	93.406	0.295	16091.939
				1	1	7	1	53.942	0.183	9354.326	1	1	7	1	90.926	0.580	15099.627
				1	2	6	1	63.397	0.265	11581.970	1	2	6	1	104.368	0.969	17349.854
				1	3	5	1	64.382	0.165	11987.431	1	3	5	1	115.674	303.093	19600.972
				1	4	4	1	64.382	0.182	11987.431	1	4	4	1	120.168	41.360	20249.632
				1	5	3	1	64.382	0.166	11987.431	1	5	3	1	113.863	24.015	19099.796
				1	6	2	1	63.478	0.179	11600.035	1	6	2	0	102.508	600.508	16857.025
				1	7	1	1	54.721	0.229	9357.893	1	7	1	1	88.557	0.672	14598.308
			2	1	6	1	61.986	0.189	11504.519	2	1	6	1	104.362	19.463	17350.091	
			2	2	5	1	71.442	0.236	13732.163	2	2	5	1	117.804	17.873	19600.318	
			2	3	4	1	72.426	0.173	14137.624	2	3	4	1	125.315	345.255	20256.789	
			2	4	3	1	72.426	0.158	14137.624	2	4	3	1	124.911	45.730	20244.574	
			2	5	2	1	71.522	0.185	13750.227	2	5	2	0	115.944	617.566	19107.490	
			2	6	1	1	62.765	0.196	11508.086	2	6	1	1	101.993	19.544	16848.772	
			3	1	5	1	63.269	0.148	11954.516	3	1	5	1	115.508	69.049	19601.336	
			3	2	4	1	72.725	0.169	14182.160	3	2	4	1	125.156	99.123	20256.917	
			3	3	3	1	73.710	0.125	14587.621	3	3	3	1	127.768	390.745	20252.512	
			3	4	2	1	72.806	0.147	14200.225	3	4	2	0	124.703	673.351	20253.048	
			3	5	1	1	64.049	0.155	11958.083	3	5	1	1	113.139	71.700	19100.018	
			4	1	4	1	63.269	0.145	11954.516	4	1	4	0	120.708	636.318	20227.383	
			4	2	3	1	72.725	0.233	14182.160	4	2	3	0	125.457	626.634	20222.087	
			4	3	2	1	72.806	0.180	14200.225	4	3	2	0	125.408	1501.603	20230.434	
			4	4	1	1	64.049	0.134	11958.083	4	4	1	0	119.746	605.844	20215.024	
			5	1	3	1	63.269	0.164	11954.516	5	1	3	1	117.861	26.308	20214.721	
			5	2	2	1	71.821	0.238	13794.763	5	2	2	0	119.949	600.881	20222.177	
			5	3	1	1	64.049	0.160	11958.083	5	3	1	1	117.303	303.822	20214.578	
			6	1	2	1	62.365	0.148	11567.120	6	1	2	0	107.079	600.273	18400.000	
			6	2	1	1	63.064	0.233	11552.622	6	2	1	1	106.569	0.909	18391.511	
			7	1	1	1	53.608	0.162	9324.978	7	1	1	1	93.128	0.317	16141.283	

1.00	2.0	10	3	1 1 7 0	117.747	600.799	18618.351	1 1 7 0	247.287	678.499	40480.731	
				1 2 6 1	136.360	1.801	23082.476	1 2 6 0	265.351	1274.553	40488.677	
				1 3 5 1	137.379	0.767	23730.115	1 3 5 0	274.342	701.717	40514.698	
				1 4 4 1	137.379	0.829	23730.115	1 4 4 0	275.289	1273.981	40527.910	
				1 5 3 1	137.379	0.789	23730.115	1 5 3 0	269.922	1273.094	40496.270	
				1 6 2 1	136.162	7.134	23096.710	1 6 2 0	258.728	746.090	40471.592	
				1 7 1 0	115.604	600.810	18615.364	1 7 1 0	238.103	668.997	40486.568	
				2 1 6 0	134.567	605.505	23121.780	2 1 6 0	265.668	1214.353	40505.059	
				2 2 5 1	153.179	6.360	27585.905	2 2 5 0	278.811	1800.224	40511.982	
				2 3 4 1	154.199	5.074	28233.545	2 3 4 0	283.892	1233.381	40529.006	
				2 4 3 1	154.199	4.995	28233.545	2 4 3 0	281.614	1800.290	40527.883	
				2 5 2 1	152.982	10.885	27600.139	2 5 2 0	273.558	1273.515	40494.709	
				2 6 1 0	132.424	604.451	23118.794	2 6 1 0	258.111	1203.433	40469.289	
				3 1 5 0	135.658	600.163	23769.092	3 1 5 0	275.192	1215.419	40514.166	
				3 2 4 1	154.271	1.138	28233.217	3 2 4 0	284.432	1800.384	40529.467	
				3 3 3 1	155.290	0.135	28880.856	3 3 3 0	286.288	1232.472	40532.157	
				3 4 2 1	154.074	6.775	28247.451	3 4 2 0	281.321	1273.511	40529.499	
				3 5 1 0	133.515	600.323	23766.105	3 5 1 0	269.013	1203.454	40495.583	
				4 1 4 0	135.658	600.137	23769.092	4 1 4 0	277.471	1214.791	40528.307	
				4 2 3 1	154.271	1.115	28233.217	4 2 3 0	283.486	1800.221	40529.274	
				4 3 2 1	154.074	6.419	28247.451	4 3 2 0	282.653	699.948	40530.429	
				4 4 1 0	133.515	600.110	23766.105	4 4 1 0	273.433	1203.602	40527.029	
				5 1 3 0	135.658	600.145	23769.092	5 1 3 0	273.347	1214.308	40526.238	
				5 2 2 1	153.054	7.454	27599.811	5 2 2 0	276.674	1275.040	40525.670	
				5 3 1 0	133.515	600.133	23766.105	5 3 1 0	271.588	637.865	40526.083	
				6 1 2 0	134.442	606.637	23135.686	6 1 2 0	263.339	682.103	40509.754	
				6 2 1 0	132.496	601.065	23118.466	6 2 1 0	262.413	1203.622	40508.445	
				7 1 1 0	113.883	1200.171	18654.341	7 1 1 0	244.900	619.567	40421.771	
				4	1 1 7 0	114.149	1200.453	18648.751	1 1 7 0	247.771	637.507	40489.078
					1 2 6 0	133.554	603.245	23143.875	1 2 6 0	264.936	1221.195	40508.519
					1 3 5 0	134.762	600.118	23786.413	1 3 5 0	273.614	1219.639	40522.139
					1 4 4 0	134.762	600.119	23786.413	1 4 4 0	274.819	1220.087	40528.882
					1 5 3 0	134.762	600.118	23786.413	1 5 3 0	270.482	1222.562	40522.484
					1 6 2 0	133.628	600.507	23128.414	1 6 2 0	258.589	1219.959	40522.271
					1 7 1 0	114.815	630.749	18646.439	1 7 1 0	237.506	622.871	40468.714
					2 1 6 0	130.779	1200.235	23103.549	2 1 6 0	266.717	671.382	40509.934
			2 2 5 0		150.185	603.723	27598.673	2 2 5 0	279.443	1250.283	40525.889	
			2 3 4 0		151.393	600.163	28241.210	2 3 4 0	283.850	1251.832	40529.198	
			2 4 3 0		151.393	600.333	28241.210	2 4 3 0	282.244	1251.190	40530.211	
			2 5 2 0		150.258	600.633	27583.212	2 5 2 0	274.490	1252.278	40523.790	
			2 6 1 0		131.446	635.134	23101.237	2 6 1 0	258.431	654.499	40525.495	
			3 1 5 0		131.875	600.155	23852.661	3 1 5 0	277.362	1224.425	40524.945	
			3 2 4 1		151.281	3.433	28347.785	3 2 4 0	285.818	1800.673	40530.590	
			3 3 3 1		152.489	0.142	28990.322	3 3 3 0	287.414	1800.196	40528.169	
			3 4 2 1		151.354	0.534	28332.324	3 4 2 0	282.392	1800.218	40529.159	
			3 5 1 1		132.542	30.675	23850.349	3 5 1 0	270.471	1206.322	40524.656	
			4 1 4 0		131.875	600.152	23852.661	4 1 4 0	280.293	1225.399	40528.252	
			4 2 3 1		151.281	3.402	28347.785	4 2 3 0	285.938	1800.277	40528.167	
			4 3 2 1		151.354	0.559	28332.324	4 3 2 0	284.117	1801.622	40525.723	
			4 4 1 1		132.542	30.689	23850.349	4 4 1 0	274.928	1203.801	40528.631	
			5 1 3 0		131.875	600.151	23852.661	5 1 3 0	277.360	1225.853	40517.653	
			5 2 2 1		150.146	3.843	27689.787	5 2 2 0	279.588	1800.326	40517.545	
			5 3 1 1		132.542	30.705	23850.349	5 3 1 0	273.600	1203.771	40517.019	
			6 1 2 0		130.740	600.539	23194.663	6 1 2 0	267.768	1223.327	40514.801	
			6 2 1 1		131.333	35.146	23207.811	6 2 1 0	265.829	1204.864	40516.611	
			7 1 1 0		111.928	632.126	18712.688	7 1 1 0	249.486	627.221	40503.258	

1.00	2.0	20	3	1	1	7	0	227.229	615.383	37227.322	1	1	7	0	505.228	753.302	80882.235
				1	2	6	0	261.765	906.413	46232.390	1	2	6	0	541.363	1296.522	80982.253
				1	3	5	0	263.546	600.305	47431.508	1	3	5	0	560.321	1297.122	81032.049
				1	4	4	0	263.546	600.228	47431.508	1	4	4	0	565.626	1295.420	81042.271
				1	5	3	0	263.546	600.210	47431.508	1	5	3	0	558.114	1293.618	81030.794
				1	6	2	0	261.683	607.930	46221.967	1	6	2	0	537.201	1298.882	81018.732
				1	7	1	0	225.628	1200.384	37225.851	1	7	1	0	498.936	723.783	80922.400
				2	1	6	1	265.236	49.899	46227.993	2	1	6	0	541.090	1255.060	80979.690
				2	2	5	1	299.772	329.970	55233.060	2	2	5	0	567.900	1800.299	81031.754
				2	3	4	1	301.553	38.175	56432.178	2	3	4	0	579.199	1800.317	81044.275
				2	4	3	1	301.553	37.078	56432.178	2	4	3	0	578.139	1800.301	81045.546
				2	5	2	1	299.690	43.857	55222.638	2	5	2	0	564.979	1800.410	81030.320
				2	6	1	0	263.635	635.425	46226.522	2	6	1	0	536.382	1224.197	81021.811
				3	1	5	1	267.690	14.481	47505.344	3	1	5	0	559.278	1258.572	81032.305
				3	2	4	1	302.226	280.755	56510.411	3	2	4	0	578.425	1801.179	81045.681
				3	3	3	1	304.007	0.214	57709.530	3	3	3	0	583.358	1800.461	81049.251
				3	4	2	1	302.144	7.735	56499.989	3	4	2	0	576.651	1800.537	81046.773
				3	5	1	0	266.089	600.183	47503.873	3	5	1	0	555.807	1225.068	81035.100
				4	1	4	1	267.690	14.714	47505.344	4	1	4	0	563.114	1253.204	81042.126
				4	2	3	1	302.226	332.291	56510.411	4	2	3	0	575.899	1800.516	81047.964
				4	3	2	1	302.144	8.169	56499.989	4	3	2	0	575.185	1800.656	81047.785
				4	4	1	0	266.089	600.192	47503.873	4	4	1	0	560.793	1224.699	81048.860
				5	1	3	1	267.690	14.411	47505.344	5	1	3	0	553.967	1253.068	81002.879
				5	2	2	1	300.364	317.860	55300.870	5	2	2	0	561.104	1800.605	81004.969
				5	3	1	0	266.089	600.236	47503.873	5	3	1	0	552.706	1226.184	81008.343
				6	1	2	1	265.828	21.526	46295.803	6	1	2	0	531.613	1253.035	80973.980
				6	2	1	0	264.308	900.996	46304.754	6	2	1	0	531.065	1225.712	80979.622
				7	1	1	0	229.772	613.883	37299.687	7	1	1	0	491.842	674.630	80966.456
				1	1	7	0	227.065	616.788	37237.245	1	1	7	0	498.594	1800.340	80971.243
				1	2	6	0	261.815	615.875	46241.149	1	2	6	0	536.742	1800.931	81010.536
				1	3	5	0	263.750	600.182	47506.147	1	3	5	0	556.192	1800.713	81035.244
				1	4	4	0	263.750	600.181	47506.147	1	4	4	0	560.603	1800.298	81040.566
				1	5	3	0	263.750	600.182	47506.147	1	5	3	0	553.307	1800.399	81002.091
				1	6	2	0	262.140	731.468	46293.744	1	6	2	0	533.088	1801.683	81006.623
				1	7	1	0	226.715	1200.239	37286.658	1	7	1	0	494.001	1800.447	80990.103
				2	1	6	0	265.622	618.623	46199.492	2	1	6	0	536.025	1800.272	81013.481
				2	2	5	0	300.372	616.856	55203.396	2	2	5	0	563.912	1800.477	81036.673
				2	3	4	0	302.307	600.268	56468.394	2	3	4	0	575.829	1800.616	81042.945
				2	4	3	0	302.307	600.344	56468.394	2	4	3	0	575.125	1800.411	81050.422
				2	5	2	0	300.697	740.660	55255.990	2	5	2	0	561.769	1800.783	81001.535
				2	6	1	0	265.272	1200.257	46248.905	2	6	1	0	532.958	1800.438	81001.360
				3	1	5	1	268.314	16.388	47541.987	3	1	5	0	554.572	1802.470	81041.025
				3	2	4	1	303.064	12.950	56545.891	3	2	4	0	574.926	1800.837	81045.782
				3	3	3	1	304.999	0.181	57810.889	3	3	3	0	581.728	1800.395	81054.209
				3	4	2	1	303.389	116.445	56598.486	3	4	2	0	574.964	1801.398	81051.274
				3	5	1	1	267.964	600.278	47591.400	3	5	1	0	553.017	1803.981	81003.679
				4	1	4	1	268.314	15.979	47541.987	4	1	4	0	559.278	1800.294	81043.840
				4	2	3	1	303.064	12.557	56545.891	4	2	3	0	574.517	1800.637	81050.752
				4	3	2	1	303.389	114.650	56598.486	4	3	2	0	575.258	1800.500	81048.767
				4	4	1	0	267.964	600.199	47591.400	4	4	1	0	559.903	1800.420	81047.124
				5	1	3	1	268.314	16.464	47541.987	5	1	3	0	552.511	1802.157	81044.935
				5	2	2	1	301.454	129.641	55333.488	5	2	2	0	561.690	1800.601	81041.435
				5	3	1	0	267.964	600.199	47591.400	5	3	1	0	553.840	1800.330	81040.742
				6	1	2	1	266.704	135.637	46329.584	6	1	2	0	531.707	1800.354	80993.827
				6	2	1	0	266.029	615.364	46326.402	6	2	1	0	532.294	1800.330	80991.619
				7	1	1	0	231.279	616.099	37322.498	7	1	1	0	492.425	1809.727	80964.200

1.25	1.5	5	3	1	1	7	1	67.133	2.007	10578.625	1	1	7	1	96.465	1.381	16491.973
				1	2	6	1	79.053	0.368	12806.624	1	2	6	0	111.731	600.513	18742.991
				1	3	5	1	84.343	0.092	14430.270	1	3	5	1	123.275	6.664	20193.539
				1	4	4	1	84.343	0.089	14430.270	1	4	4	0	127.129	608.739	20223.359
				1	5	3	1	83.910	0.153	14206.743	1	5	3	1	124.607	163.446	20195.775
				1	6	2	1	79.297	0.680	12856.905	1	6	2	1	114.414	5.210	18581.682
				1	7	1	1	67.324	0.098	10605.299	1	7	1	1	101.183	0.809	16317.825
				2	1	6	1	77.793	0.252	12794.821	2	1	6	1	110.893	1.349	18743.823
				2	2	5	1	89.712	0.342	15022.820	2	2	5	0	124.985	602.898	20194.540
				2	3	4	1	95.003	0.237	16646.466	2	3	4	0	131.333	604.567	20226.845
				2	4	3	1	94.569	0.309	16422.938	2	4	3	1	132.050	58.302	20260.293
				2	5	2	1	89.957	0.872	15073.101	2	5	2	1	127.843	108.673	20195.611
				2	6	1	1	77.983	0.244	12821.495	2	6	1	1	115.611	1.036	18569.675
				3	1	5	1	82.750	0.093	14422.858	3	1	5	1	121.644	8.456	20196.501
				3	2	4	1	94.669	0.182	16650.856	3	2	4	0	130.540	1205.741	20228.977
			3	3	3	1	99.526	0.136	18050.975	3	3	3	1	133.751	60.543	20264.910	
			3	4	2	1	94.914	0.648	16701.138	3	4	2	1	132.783	17.849	20261.259	
			3	5	1	1	82.940	0.083	14449.532	3	5	1	1	126.538	108.082	20184.735	
			4	1	4	1	82.750	0.088	14422.858	4	1	4	0	125.547	1201.301	20226.082	
			4	2	3	1	94.236	0.242	16427.329	4	2	3	0	131.306	1251.219	20262.185	
			4	3	2	1	94.914	0.718	16701.138	4	3	2	0	132.832	610.193	20261.020	
			4	4	1	1	82.940	0.081	14449.532	4	4	1	0	129.825	609.556	20245.527	
			5	1	3	1	82.317	0.163	14199.331	5	1	3	1	124.831	53.526	20265.561	
			5	2	2	1	89.624	0.790	15077.492	5	2	2	0	128.904	613.489	20264.566	
			5	3	1	1	82.940	0.100	14449.532	5	3	1	1	128.392	12.035	20251.558	
			6	1	2	1	77.704	0.724	12849.493	6	1	2	1	119.843	9.459	20243.851	
			6	2	1	1	77.650	0.207	12825.886	6	2	1	0	121.878	604.053	20231.013	
			7	1	1	1	65.731	0.081	10597.887	7	1	1	1	107.357	1.931	18478.047	
			1	1	7	1	64.597	0.200	10394.898	1	1	7	1	105.311	0.363	18461.307	
			1	2	6	1	76.233	0.343	12626.498	1	2	6	0	118.889	619.701	20220.584	
			1	3	5	1	81.440	0.091	14216.955	1	3	5	0	125.511	628.248	20243.845	
			1	4	4	1	81.440	0.080	14216.955	1	4	4	1	126.706	68.562	20266.082	
			1	5	3	1	81.440	0.091	14216.955	1	5	3	1	121.643	12.714	20226.008	
			1	6	2	1	77.274	0.170	12823.636	1	6	2	1	109.897	3.307	18495.214	
			1	7	1	1	65.971	0.188	10550.969	1	7	1	1	95.101	0.319	16240.863	
			2	1	6	1	74.200	0.317	12636.163	2	1	6	0	118.550	609.575	20226.854	
			2	2	5	1	85.836	0.462	14867.763	2	2	5	1	127.321	630.097	20239.719	
			2	3	4	1	91.043	0.178	16458.220	2	3	4	1	131.214	93.758	20263.393	
			2	4	3	1	91.043	0.187	16458.220	2	4	3	1	129.847	24.656	20266.123	
			2	5	2	1	86.876	0.225	15064.901	2	5	2	1	123.143	14.884	20225.377	
			2	6	1	1	75.574	0.236	12792.233	2	6	1	1	109.081	9.498	18492.649	
			3	1	5	1	78.986	0.269	14180.635	3	1	5	0	125.004	662.177	20245.509	
			3	2	4	1	90.622	0.361	16412.235	3	2	4	1	131.046	144.735	20258.787	
			3	3	3	1	95.829	0.158	18002.692	3	3	3	1	132.378	97.595	20262.954	
			3	4	2	1	91.662	0.163	16609.374	3	4	2	1	129.369	69.932	20265.012	
3	5	1	1	80.360	0.161	14336.706	3	5	1	1	120.349	67.023	20222.331				
4	1	4	1	78.986	0.270	14180.635	4	1	4	1	127.268	62.650	20263.923				
4	2	3	1	90.622	0.404	16412.235	4	2	3	1	130.749	31.171	20257.693				
4	3	2	1	91.662	0.146	16609.374	4	3	2	1	130.439	31.630	20261.189				
4	4	1	1	80.360	0.204	14336.706	4	4	1	1	125.114	8.739	20261.312				
5	1	3	1	78.986	0.284	14180.635	5	1	3	1	124.814	34.325	20263.723				
5	2	2	1	86.456	0.465	15018.917	5	2	2	1	126.653	43.434	20256.822				
5	3	1	1	80.360	0.195	14336.706	5	3	1	1	124.026	46.570	20258.382				
6	1	2	1	74.819	0.326	12787.317	6	1	2	1	116.649	3.213	19960.534				
6	2	1	1	75.153	0.412	12746.249	6	2	1	1	116.171	16.941	19951.697				
7	1	1	1	63.517	0.274	10514.649	7	1	1	1	101.853	0.356	17706.183				

1.25	1.5	10	3	1	1	7	1	125.944	0.463	21098.991	1	1	7	0	269.347	1439.510	40523.086
				1	2	6	1	147.961	0.615	25602.991	1	2	6	0	282.947	1465.493	40520.626
				1	3	5	1	156.761	0.312	28628.463	1	3	5	0	290.360	1447.416	40524.803
				1	4	4	1	156.761	0.314	28628.463	1	4	4	0	292.194	1462.502	40527.417
				1	5	3	1	156.761	0.300	28628.463	1	5	3	0	288.833	983.492	40529.322
				1	6	2	0	149.183	600.308	25540.619	1	6	2	0	280.461	1461.181	40522.558
				1	7	1	1	128.228	4.810	21039.097	1	7	1	0	266.232	1153.177	40507.046
				2	1	6	0	148.310	600.672	25597.385	2	1	6	0	283.372	1803.497	40518.223
				2	2	5	0	170.326	601.117	30101.385	2	2	5	0	294.028	1800.214	40526.157
				2	3	4	0	179.126	600.134	33126.856	2	3	4	0	298.947	1800.286	40526.920
				2	4	3	0	179.126	600.132	33126.856	2	4	3	0	298.024	1325.565	40528.363
				2	5	2	0	171.549	1200.118	30039.012	2	5	2	0	291.479	1800.239	40528.185
				2	6	1	0	150.593	608.594	25537.491	2	6	1	0	279.844	1528.701	40523.134
				3	1	5	1	157.846	0.830	28693.666	3	1	5	0	291.314	1800.178	40521.752
				3	2	4	1	179.863	1.181	33197.666	3	2	4	0	299.476	1800.200	40526.272
				3	3	3	1	188.663	0.164	36223.138	3	3	3	0	301.637	1326.709	40525.864
				3	4	2	0	181.085	600.152	33135.293	3	4	2	0	297.531	1800.373	40525.223
				3	5	1	1	160.129	8.242	28633.772	3	5	1	0	287.724	1513.181	40526.759
				4	1	4	1	157.846	0.801	28693.666	4	1	4	0	294.119	1800.292	40523.379
				4	2	3	1	179.863	1.169	33197.666	4	2	3	0	299.524	1325.343	40526.727
				4	3	2	0	181.085	600.100	33135.293	4	3	2	0	298.501	1800.350	40524.236
				4	4	1	1	160.129	8.294	28633.772	4	4	1	0	291.132	1515.153	40525.308
				5	1	3	1	157.846	0.910	28693.666	5	1	3	0	291.753	1317.844	40517.300
				5	2	2	0	172.285	601.137	30109.822	5	2	2	0	293.974	1800.245	40518.566
				5	3	1	1	160.129	8.488	28633.772	5	3	1	0	289.689	1507.324	40517.788
				6	1	2	0	150.268	600.791	25605.822	6	1	2	0	283.410	1800.276	40502.772
				6	2	1	1	151.329	9.384	25608.300	6	2	1	0	282.368	1499.556	40505.751
				7	1	1	1	129.313	7.495	21104.300	7	1	1	0	268.982	1499.733	40515.536
				1	1	7	0	124.678	600.296	21030.976	1	1	7	0	265.188	625.633	40515.825
				1	2	6	1	147.285	2.564	25534.942	1	2	6	0	279.797	662.325	40522.352
				1	3	5	1	156.565	0.387	28588.292	1	3	5	0	287.540	1205.571	40521.700
				1	4	4	1	156.565	0.389	28588.292	1	4	4	0	289.882	1204.711	40530.664
				1	5	3	1	156.565	0.405	28588.292	1	5	3	0	287.157	1204.384	40526.614
				1	6	2	1	149.275	4.986	25571.721	1	6	2	0	278.954	1204.918	40518.203
				1	7	1	1	128.350	5.232	21067.555	1	7	1	0	263.835	653.407	40463.644
			2	1	6	0	147.544	1200.121	25530.637	2	1	6	0	280.000	1224.591	40520.048	
			2	2	5	0	170.151	602.803	30034.603	2	2	5	0	291.336	1268.150	40523.518	
			2	3	4	0	179.432	600.127	33087.953	2	3	4	0	296.869	1800.177	40528.651	
			2	4	3	0	179.432	600.124	33087.953	2	4	3	0	296.465	1800.233	40527.759	
			2	5	2	0	172.142	606.249	30071.382	2	5	2	0	290.215	1800.234	40529.617	
			2	6	1	0	151.217	606.792	25567.216	2	6	1	0	278.038	1241.973	40518.279	
			3	1	5	0	157.814	600.112	28611.893	3	1	5	0	288.821	1224.790	40519.667	
			3	2	4	1	180.421	2.840	33115.859	3	2	4	0	297.947	1262.596	40528.923	
			3	3	3	1	189.701	0.099	36169.209	3	3	3	0	300.735	1800.341	40524.199	
			3	4	2	1	182.411	5.885	33152.638	3	4	2	0	296.806	1800.341	40529.215	
			3	5	1	1	161.486	6.045	28648.472	3	5	1	0	286.581	1242.205	40528.146	
			4	1	4	0	157.814	600.105	28611.893	4	1	4	0	292.688	1225.436	40527.334	
			4	2	3	1	180.421	2.916	33115.859	4	2	3	0	299.068	1262.995	40526.733	
			4	3	2	1	182.411	5.693	33152.638	4	3	2	0	298.331	1800.291	40527.918	
			4	4	1	1	161.486	6.371	28648.472	4	4	1	0	290.426	1240.841	40530.007	
			5	1	3	0	157.814	600.120	28611.893	5	1	3	0	290.832	1228.106	40521.409	
			5	2	2	1	173.131	9.095	30099.288	5	2	2	0	293.688	1268.132	40526.717	
			5	3	1	1	161.486	6.727	28648.472	5	3	1	0	288.975	1238.232	40524.974	
			6	1	2	0	150.524	607.268	25595.322	6	1	2	0	283.197	1225.547	40512.300	
			6	2	1	1	152.206	9.808	25595.122	6	2	1	0	282.078	699.880	40514.680	
			7	1	1	0	129.599	608.394	21091.156	7	1	1	0	268.522	660.835	40517.634	

1.25	1.5	20	3	1	1	7	0	260.254	1200.195	42099.712	1	1	7	0	531.775	1801.307	81009.634
				1	2	6	0	304.894	659.379	51102.970	1	2	6	0	561.828	1800.461	81027.181
				1	3	5	0	321.797	600.214	57177.450	1	3	5	0	578.050	1800.484	81033.400
				1	4	4	0	321.797	600.187	57177.450	1	4	4	0	582.608	1800.364	81034.699
				1	5	3	0	321.797	600.242	57177.450	1	5	3	0	575.171	1800.338	81029.376
				1	6	2	0	305.572	646.869	51103.034	1	6	2	0	556.858	1800.804	81031.080
				1	7	1	0	261.260	1200.264	42096.208	1	7	1	0	525.769	1800.552	81019.151
				2	1	6	0	304.744	1200.214	51101.451	2	1	6	0	561.629	1800.313	81027.808
				2	2	5	0	349.385	662.685	60104.709	2	2	5	0	585.575	1950.008	81038.092
				2	3	4	0	366.288	600.246	66179.189	2	3	4	0	596.933	1800.543	81042.742
				2	4	3	0	366.288	600.239	66179.189	2	4	3	0	595.154	1800.307	81039.775
				2	5	2	0	350.063	640.792	60104.772	2	5	2	0	582.143	1800.568	81034.124
				2	6	1	0	305.750	1200.245	51097.947	2	6	1	0	555.986	1801.702	81033.786
				3	1	5	0	321.153	600.196	57110.980	3	1	5	0	578.069	1800.779	81037.356
				3	2	4	1	365.793	60.826	66114.238	3	2	4	0	597.151	1800.358	81046.070
				3	3	3	1	382.696	0.210	72188.718	3	3	3	0	602.157	1800.419	81044.847
				3	4	2	1	366.471	35.372	66114.301	3	4	2	0	594.804	1800.805	81041.552
				3	5	1	0	322.158	600.197	57107.476	3	5	1	0	573.949	1803.103	81033.860
				4	1	4	0	321.153	600.192	57110.980	4	1	4	0	583.171	1800.326	81037.953
				4	2	3	1	365.793	60.911	66114.238	4	2	3	0	595.915	1801.480	81042.401
				4	3	2	1	366.471	36.163	66114.301	4	3	2	0	595.347	1800.477	81040.850
			4	4	1	0	322.158	600.208	57107.476	4	4	1	0	580.150	1800.290	81035.514	
			5	1	3	0	321.153	600.180	57110.980	5	1	3	0	576.914	1800.378	81041.312	
			5	2	2	1	349.568	97.563	60039.821	5	2	2	0	584.085	1800.446	81045.432	
			5	3	1	0	322.158	600.217	57107.476	5	3	1	0	575.672	1800.444	81041.840	
			6	1	2	0	304.928	641.717	51036.563	6	1	2	0	560.510	1800.856	81025.991	
			6	2	1	0	305.256	655.441	51032.996	6	2	1	0	559.836	1800.336	81028.069	
			7	1	1	0	260.615	1200.202	42029.738	7	1	1	0	530.011	1801.305	81011.206	
			4	1	1	7	0	260.646	609.419	42081.610	1	1	7	0	533.249	1803.357	80953.123
				1	2	6	0	305.408	611.053	51085.850	1	2	6	0	563.747	1801.014	81035.308
				1	3	5	1	322.111	8.174	57130.111	1	3	5	0	579.256	1804.084	81028.006
				1	4	4	1	322.111	7.160	57130.111	1	4	4	0	582.136	1801.480	81042.779
				1	5	3	1	322.111	7.187	57130.111	1	5	3	0	573.431	1800.279	81041.742
				1	6	2	0	305.875	607.139	51071.693	1	6	2	0	554.056	1800.314	81040.258
				1	7	1	0	261.133	609.251	42067.651	1	7	1	0	522.322	1800.277	81010.594
				2	1	6	0	305.190	1200.374	51079.848	2	1	6	0	562.908	1800.663	81035.817
				2	2	5	0	349.953	1200.338	60084.088	2	2	5	0	587.263	1800.432	81027.616
				2	3	4	0	366.656	600.367	66128.349	2	3	4	0	597.172	1804.480	81052.312
				2	4	3	0	366.656	600.334	66128.349	2	4	3	0	594.204	1800.748	81046.771
				2	5	2	0	350.419	1200.502	60069.932	2	5	2	0	579.164	1800.379	81040.482
				2	6	1	0	305.678	1200.326	51065.890	2	6	1	0	552.961	1800.304	81040.441
				3	1	5	0	322.708	600.188	57110.438	3	1	5	0	579.547	1800.299	81025.958
3	2	4		0	367.471	600.280	66114.678	3	2	4	0	598.299	1800.292	81050.236			
3	3	3		1	384.174	0.269	72158.939	3	3	3	0	602.360	1804.273	81054.618			
3	4	2		0	367.938	600.168	66100.522	3	4	2	0	593.057	1800.385	81043.824			
3	5	1		0	323.196	600.188	57096.479	3	5	1	0	571.189	1800.480	81038.978			
4	1	4		0	322.708	600.171	57110.438	4	1	4	0	584.421	1800.227	81053.205			
4	2	3		0	367.471	600.901	66114.678	4	2	3	0	597.324	1800.951	81057.168			
4	3	2		0	367.938	600.239	66100.522	4	3	2	0	595.050	1804.473	81056.297			
4	4	1	0	323.196	600.222	57096.479	4	4	1	0	578.919	1801.198	81046.947				
5	1	3	0	322.708	600.171	57110.438	5	1	3	0	578.089	1800.295	81051.164				
5	2	2	0	351.235	1200.185	60056.260	5	2	2	0	584.657	1800.378	81049.875				
5	3	1	0	323.196	602.458	57096.479	5	3	1	0	575.556	1800.602	81050.447				
6	1	2	0	306.472	1200.206	51052.020	6	1	2	0	560.399	1800.393	81040.334				
6	2	1	0	306.493	1202.260	51052.218	6	2	1	0	560.139	1801.560	81040.488				
7	1	1	0	261.731	1200.167	42047.978	7	1	1	0	530.260	1800.597	81027.744				

1.25	2	5	3	1	1	7	1	68.340	0.309	10563.603	1	1	7	2	111.211	0.637	18896.870
				1	2	6	0	80.238	600.149	12812.787	1	2	6	0	124.393	1200.236	20249.569
				1	3	5	1	86.092	0.118	14356.157	1	3	5	1	130.435	324.739	20261.678
				1	4	4	1	86.092	0.115	14356.157	1	4	4	1	130.882	298.985	20265.961
				1	5	3	1	86.092	0.115	14356.157	1	5	3	0	125.849	600.771	20202.482
				1	6	2	1	81.083	4.012	12755.603	1	6	2	0	113.242	600.213	18172.521
				1	7	1	1	68.901	0.123	10545.219	1	7	1	1	97.886	3.910	15922.157
				2	1	6	1	79.006	0.906	12806.268	2	1	6	0	124.038	1200.610	20248.824
				2	2	5	0	90.903	600.803	15055.452	2	2	5	0	132.682	1207.705	20260.736
				2	3	4	1	96.757	0.969	16598.822	2	3	4	0	135.710	988.821	20265.057
				2	4	3	1	96.757	0.948	16598.822	2	4	3	0	134.433	1417.130	20263.893
				2	5	2	1	91.749	4.513	14998.267	2	5	2	0	127.442	1200.563	20202.562
				2	6	1	1	79.567	0.780	12787.884	2	6	1	0	112.315	603.811	18173.515
				3	1	5	1	83.803	0.296	14378.028	3	1	5	1	130.474	9.279	20260.939
				3	2	4	0	95.700	600.147	16627.211	3	2	4	0	136.104	689.130	20265.063
				3	3	3	1	101.554	0.166	18170.581	3	3	3	0	137.408	909.923	20263.937
				3	4	2	1	96.546	4.712	16570.027	3	4	2	0	134.174	826.593	20264.921
				3	5	1	1	84.364	0.163	14359.643	3	5	1	1	124.663	7.716	20204.504
				4	1	4	1	83.803	0.239	14378.028	4	1	4	0	132.154	692.417	20261.813
				4	2	3	0	95.700	600.099	16627.211	4	2	3	0	136.061	1800.234	20260.490
				4	3	2	1	96.546	4.136	16570.027	4	3	2	0	135.407	1537.924	20261.512
			4	4	1	1	84.364	0.105	14359.643	4	4	1	0	129.653	842.516	20263.409	
			5	1	3	1	83.803	0.232	14378.028	5	1	3	0	130.364	643.506	20261.378	
			5	2	2	0	90.692	603.951	15026.657	5	2	2	0	132.313	1243.337	20262.203	
			5	3	1	1	84.364	0.111	14359.643	5	3	1	1	129.139	355.584	20264.139	
			6	1	2	1	78.794	3.320	12777.473	6	1	2	0	124.094	607.916	20248.127	
			6	2	1	0	78.510	600.113	12816.273	6	2	1	0	123.524	611.647	20249.865	
			7	1	1	1	66.613	0.303	10567.089	7	1	1	1	109.428	4.555	18445.110	
			1	1	7	1	67.1333	0.1200	10578.6252	1	1	7	1	96.465	1.269	16491.973	
			1	2	6	1	79.0528	0.4330	12806.6238	1	2	6	0	111.731	600.832	18742.991	
			1	3	5	1	84.3431	0.1300	14430.2697	1	3	5	1	123.275	6.864	20193.539	
			1	4	4	1	84.3431	0.1090	14430.2697	1	4	4	0	127.129	608.973	20223.359	
			1	5	3	1	83.9097	0.2270	14206.7425	1	5	3	1	124.607	165.499	20195.775	
			1	6	2	1	79.2972	1.5590	12856.9051	1	6	2	1	114.414	5.857	18581.682	
			1	7	1	1	67.3236	0.1280	10605.2989	1	7	1	1	101.183	0.843	16317.825	
			2	1	6	1	77.7931	0.4690	12794.8211	2	1	6	1	110.893	1.367	18743.823	
			2	2	5	1	89.7125	0.7270	15022.8198	2	2	5	0	124.985	604.588	20194.540	
			2	3	4	1	95.0028	0.4550	16646.4656	2	3	4	0	131.333	604.934	20226.845	
			2	4	3	1	94.5694	0.5620	16422.9385	2	4	3	1	132.050	60.174	20260.293	
			2	5	2	1	89.9569	1.6700	15073.1010	2	5	2	1	127.843	104.068	20195.611	
			2	6	1	1	77.9833	0.4450	12821.4948	2	6	1	1	115.611	1.082	18569.675	
			3	1	5	1	82.7500	0.0810	14422.8578	3	1	5	1	121.644	9.135	20196.501	
			3	2	4	1	94.6694	0.3150	16650.8565	3	2	4	0	130.540	1206.125	20228.977	
			3	3	3	1	99.5264	0.1750	18050.9752	3	3	3	1	133.751	63.177	20264.910	
			3	4	2	1	94.9139	1.2190	16701.1378	3	4	2	1	132.783	19.518	20261.259	
			3	5	1	1	82.9403	0.0980	14449.5315	3	5	1	1	126.538	108.229	20184.735	
			4	1	4	1	82.7500	0.0860	14422.8578	4	1	4	0	125.547	1202.058	20226.082	
4	2	3	1	94.2361	0.4010	16427.3293	4	2	3	0	131.306	1254.537	20262.185				
4	3	2	1	94.9139	1.2260	16701.1378	4	3	2	0	132.832	610.254	20261.020				
4	4	1	1	82.9403	0.1070	14449.5315	4	4	1	0	129.825	610.074	20245.527				
5	1	3	1	82.3167	0.1770	14199.3307	5	1	3	1	124.831	55.717	20265.561				
5	2	2	1	89.6236	1.4300	15077.4919	5	2	2	0	128.904	612.337	20264.566				
5	3	1	1	82.9403	0.1140	14449.5315	5	3	1	1	128.392	12.184	20251.558				
6	1	2	1	77.7042	1.1750	12849.4933	6	1	2	1	119.843	10.807	20243.851				
6	2	1	1	77.6500	0.3050	12825.8857	6	2	1	0	121.878	604.237	20231.013				
7	1	1	1	65.7306	0.1060	10597.8870	7	1	1	1	107.357	2.025	18478.047				

1.25	2	10	3	1	1	7	0	125.397	602.458	21038.132	1	1	7	0	267.657	606.016	40505.517
				1	2	6	0	146.901	602.217	25539.166	1	2	6	0	281.504	661.843	40519.952
				1	3	5	0	155.464	600.126	28634.291	1	3	5	0	288.746	865.070	40517.835
				1	4	4	0	155.464	600.190	28634.291	1	4	4	0	290.221	1203.037	40528.780
				1	5	3	0	155.464	600.207	28634.291	1	5	3	0	287.060	1203.041	40524.907
				1	6	2	0	148.057	1200.156	25590.967	1	6	2	0	278.939	1202.809	40511.942
				1	7	1	0	127.082	749.366	21103.633	1	7	1	0	264.158	623.548	40499.848
				2	1	6	0	146.390	602.740	25541.686	2	1	6	0	281.858	1204.672	40518.555
				2	2	5	0	167.894	602.944	30042.720	2	2	5	0	292.874	1259.400	40514.920
				2	3	4	0	176.457	600.131	33137.845	2	3	4	0	297.375	1458.728	40530.387
				2	4	3	0	176.457	600.124	33137.845	2	4	3	0	296.233	1800.291	40526.714
				2	5	2	0	169.050	1200.118	30094.520	2	5	2	0	289.924	1801.562	40522.883
				2	6	1	0	148.075	766.004	25607.186	2	6	1	0	278.217	1221.955	40512.846
				3	1	5	1	154.631	2.642	28544.781	3	1	5	0	290.367	1203.849	40513.079
				3	2	4	1	176.135	2.362	33045.816	3	2	4	0	298.642	1260.152	40527.027
				3	3	3	1	184.697	0.141	36140.941	3	3	3	0	300.526	1463.072	40527.877
				3	4	2	0	177.290	600.139	33097.616	3	4	2	0	296.236	1801.720	40524.246
				3	5	1	1	156.315	179.284	28610.282	3	5	1	0	286.340	1221.713	40523.343
				4	1	4	1	154.631	2.715	28544.781	4	1	4	0	292.950	1204.019	40524.044
				4	2	3	1	176.135	2.400	33045.816	4	2	3	0	298.608	1258.731	40523.375
				4	3	2	0	177.290	600.127	33097.616	4	3	2	0	297.344	1471.265	40524.266
				4	4	1	1	156.315	167.417	28610.282	4	4	1	0	289.468	1221.933	40523.564
				5	1	3	1	154.631	2.665	28544.781	5	1	3	0	290.201	1205.896	40527.796
				5	2	2	0	168.728	602.869	30002.491	5	2	2	0	292.711	1262.288	40527.169
				5	3	1	1	156.315	154.979	28610.282	5	3	1	0	287.861	901.688	40530.988
				6	1	2	0	147.224	603.120	25501.457	6	1	2	0	281.635	1204.389	40513.838
				6	2	1	1	147.753	164.680	25515.157	6	2	1	0	280.558	681.157	40516.138
				7	1	1	1	126.249	152.954	21014.123	7	1	1	0	266.439	622.261	40504.344
				1	1	7	1	125.9444	0.8530	21098.9912	1	1	7	0	269.347	1457.769	40523.086
				1	2	6	1	147.9611	1.0490	25602.9911	1	2	6	0	282.947	1464.144	40520.626
				1	3	5	1	156.7611	0.5190	28628.4629	1	3	5	0	290.360	1466.811	40524.803
				1	4	4	1	156.7611	0.5230	28628.4629	1	4	4	0	292.194	1463.653	40527.417
				1	5	3	1	156.7611	0.6050	28628.4629	1	5	3	0	288.833	985.957	40529.322
				1	6	2	0	149.1833	600.4860	25540.6187	1	6	2	0	280.461	1474.656	40522.558
				1	7	1	1	128.2278	6.5080	21039.0970	1	7	1	0	266.213	1170.859	40500.842
				2	1	6	0	148.3097	600.8720	25597.3848	2	1	6	0	283.372	1801.006	40518.223
				2	2	5	0	170.3264	601.4350	30101.3847	2	2	5	0	294.028	1800.248	40526.157
				2	3	4	0	179.1264	600.9140	33126.8565	2	3	4	0	298.947	1800.267	40526.920
				2	4	3	0	179.1264	600.1210	33126.8565	2	4	3	0	298.024	1329.126	40528.363
				2	5	2	0	171.5486	1200.1180	30039.0123	2	5	2	0	291.479	1800.359	40528.185
				2	6	1	0	150.5931	609.0250	25537.4906	2	6	1	0	279.844	1521.268	40523.134
				3	1	5	1	157.8458	0.8480	28693.6659	3	1	5	0	291.314	1800.426	40521.752
				3	2	4	1	179.8625	1.1900	33197.6658	3	2	4	0	299.476	1800.179	40526.272
				3	3	3	1	188.6625	0.1590	36223.1376	3	3	3	0	301.637	1328.207	40525.864
				3	4	2	1	181.0847	600.1610	33135.2934	3	4	2	0	297.531	1800.364	40525.223
3	5	1	1	160.1292	8.5980	28633.7717	3	5	1	0	287.724	1514.702	40526.759				
4	1	4	1	157.8458	0.8520	28693.6659	4	1	4	0	294.119	1800.525	40523.379				
4	2	3	1	179.8625	1.1950	33197.6658	4	2	3	0	299.524	1332.599	40526.727				
4	3	2	0	181.0847	600.1020	33135.2934	4	3	2	0	298.501	1800.382	40524.236				
4	4	1	1	160.1292	8.3930	28633.7717	4	4	1	0	291.132	1509.812	40525.308				
5	1	3	1	157.8458	0.8330	28693.6659	5	1	3	0	291.753	1323.561	40517.300				
5	2	2	0	172.2847	601.1680	30109.8216	5	2	2	0	293.974	1800.207	40518.566				
5	3	1	1	160.1292	8.5600	28633.7717	5	3	1	0	289.689	1509.777	40517.788				
6	1	2	0	150.2681	600.8310	25605.8217	6	1	2	0	283.410	1800.218	40502.772				
6	2	1	1	151.3292	9.8780	25608.2999	6	2	1	0	282.368	1494.388	40505.751				
7	1	1	1	129.3125	7.4720	21104.3000	7	1	1	0	268.982	1509.287	40515.536				

1.25	2	20	3	1	1	7	0	260.476	1202.312	42017.739	1	1	7	1	533.999	1248.041	80988.095
				1	2	6	0	305.013	1200.266	51022.242	1	2	6	0	564.550	1800.490	81027.575
				1	3	5	0	321.383	600.230	57045.469	1	3	5	0	580.496	1800.389	81044.298
				1	4	4	0	321.383	602.152	57045.469	1	4	4	0	584.290	1800.218	81044.539
				1	5	3	0	321.383	600.218	57045.469	1	5	3	0	576.878	1800.334	81046.373
				1	6	2	0	304.264	1201.579	51050.252	1	6	2	0	558.083	1801.723	81021.646
				1	7	1	0	260.035	610.226	42049.396	1	7	1	0	526.511	1800.284	80996.759
				2	1	6	0	306.047	650.541	51022.608	2	1	6	1	563.507	1250.449	81028.880
				2	2	5	0	350.583	654.248	60027.111	2	2	5	0	587.836	1800.330	81044.346
				2	3	4	1	366.954	60.537	66050.338	2	3	4	0	598.371	1800.360	81046.722
				2	4	3	1	366.954	51.574	66050.338	2	4	3	0	596.628	1800.281	81049.089
				2	5	2	0	349.835	650.874	60055.121	2	5	2	0	582.950	1800.510	81050.844
				2	6	1	1	305.606	66.119	51054.265	2	6	1	0	557.090	1801.038	81021.352
				3	1	5	0	323.163	600.210	57089.688	3	1	5	1	579.189	1250.636	81037.622
				3	2	4	0	367.699	600.375	66094.191	3	2	4	0	598.099	1800.347	81037.617
				3	3	3	1	384.069	0.282	72117.418	3	3	3	0	603.104	1800.601	81043.245
				3	4	2	0	366.950	600.366	66122.202	3	4	2	0	595.096	1800.280	81045.532
				3	5	1	1	322.721	10.406	57121.345	3	5	1	0	574.353	1800.265	81042.522
				4	1	4	0	323.163	601.328	57089.688	4	1	4	1	583.626	1251.197	81039.208
				4	2	3	0	367.699	600.302	66094.191	4	2	3	0	597.007	1800.506	81042.454
				4	3	2	0	366.950	600.334	66122.202	4	3	2	0	595.739	1800.353	81046.877
			4	4	1	1	322.721	10.635	57121.345	4	4	1	0	580.665	1800.242	81044.399	
			5	1	3	0	323.163	600.252	57089.688	5	1	3	1	578.115	1250.211	81030.824	
			5	2	2	0	350.579	1200.315	60098.975	5	2	2	0	585.231	1800.594	81033.991	
			5	3	1	1	322.721	10.440	57121.345	5	3	1	0	576.897	1800.250	81033.649	
			6	1	2	0	306.043	1200.378	51094.472	6	1	2	1	561.275	1253.667	80995.217	
			6	2	1	0	306.350	611.264	51098.118	6	2	1	0	561.325	1801.201	80993.619	
			7	1	1	0	261.814	610.847	42093.616	7	1	1	1	531.519	1250.525	80991.066	
			4	1	1	7	0	260.2542	1200.1970	42099.7121	1	1	7	0	531.764	1800.319	81006.812
				1	2	6	0	304.8944	658.1110	51102.9701	1	2	6	0	561.828	1800.555	81027.181
				1	3	5	0	321.7972	600.2040	57177.4505	1	3	5	0	578.050	1800.444	81033.400
				1	4	4	0	321.7972	600.2100	57177.4505	1	4	4	0	582.608	1800.344	81034.699
				1	5	3	0	321.7972	600.1940	57177.4505	1	5	3	0	575.171	1800.661	81029.376
				1	6	2	0	305.5722	641.9940	51103.0337	1	6	2	0	556.858	1801.471	81031.080
				1	7	1	0	261.2597	1200.2030	42096.2084	1	7	1	0	525.769	1800.982	81019.151
				2	1	6	0	304.7444	1200.2250	51101.4508	2	1	6	0	561.629	1800.298	81027.808
				2	2	5	0	349.3847	661.1170	60104.7088	2	2	5	0	585.590	1800.476	81039.698
				2	3	4	0	366.2875	600.2320	66179.1892	2	3	4	0	596.933	1800.415	81042.742
				2	4	3	0	366.2875	600.2490	66179.1892	2	4	3	0	595.154	1800.354	81039.775
				2	5	2	0	350.0625	641.5800	60104.7724	2	5	2	0	582.143	1800.672	81034.124
				2	6	1	0	305.7500	1200.3230	51097.9471	2	6	1	0	555.986	1801.337	81033.786
				3	1	5	0	321.1528	600.2030	57110.9799	3	1	5	0	578.069	1800.836	81037.356
3	2	4		1	365.7931	60.1880	66114.2379	3	2	4	0	597.144	1800.415	81042.954			
3	3	3		1	382.6958	0.1990	72188.7182	3	3	3	0	602.157	1800.352	81044.847			
3	4	2		1	366.4708	35.2400	66114.3014	3	4	2	0	594.804	1800.317	81041.552			
3	5	1		0	322.1583	600.2260	57107.4761	3	5	1	0	573.949	1800.531	81033.860			
4	1	4		0	321.1528	600.2600	57110.9799	4	1	4	0	583.171	1800.259	81037.953			
4	2	3		1	365.7931	59.6160	66114.2379	4	2	3	0	595.915	1800.494	81042.401			
4	3	2		1	366.4708	35.1590	66114.3014	4	3	2	0	595.347	1800.524	81040.850			
4	4	1	0	322.1583	600.2360	57107.4761	4	4	1	0	580.150	1800.247	81035.514				
5	1	3	0	321.1528	600.1870	57110.9799	5	1	3	0	576.914	1800.468	81041.312				
5	2	2	1	349.5681	95.6670	60039.8211	5	2	2	0	584.085	1800.406	81045.432				
5	3	1	0	322.1583	600.2030	57107.4761	5	3	1	0	575.672	1800.272	81041.840				
6	1	2	0	304.9278	640.4360	51036.5631	6	1	2	0	560.510	1800.438	81025.991				
6	2	1	0	305.2556	654.5670	51032.9958	6	2	1	0	559.836	1800.334	81028.069				
7	1	1	0	260.6153	1200.1980	42029.7378	7	1	1	0	530.011	1800.375	81011.206				

Tabla 32: Resultados simulación caso 2

5.5 Conclusión resultados experimentales

Se pueden sacar conclusiones a partir de los resultados obtenidos en las simulaciones. En primer lugar, focalizamos nuestra atención en la efectividad del modelo. Aprovechando los resultados del algoritmo que hacía equivalentes los modelos MILP Diario y MILP Semanal, se puede analizar la efectividad del MILP Semanal con respecto al Diario lo que justificará la necesidad de crear este modelo. Si recordamos, en ese caso el número de quirófanos (J) solo podía variar entre 2 y 4, y se evaluó el modelo para horizontes de 1 y 2 semanas obteniendo un total de 32 instancias que se iteraron en 2 ocasiones, lo que conlleva a un total de 64.

Instancia		MILP Diario		MILP Semanal	
J	H	Óptimos	Run Time	Óptimos	Run Time
2	5	6	396.895	16	0.354
	10	1	572.388	13	125.051
4	5	7	382.69	11	220.145
	10	0	600.116	4	458.363

Tabla 33: Tabla resumen óptimos y tiempo ejecución del algoritmo

A partir de la tabla anterior, podemos ver como a mayor H y J, menos efectivo es el modelo diario con muy pocas o ninguna solución óptima. Esto justifica la necesidad de la adaptación de dicho modelo a un horizonte semanal para planificaciones de plazos más largos que se ha implementado en este estudio. El modelo semanal, sin embargo, funciona mucho mejor, aunque seguimos observando esa disminución de efectividad del modelo a medida que aumenta H y J. Por eso, el siguiente punto de partida será obtener un modelo compatible con horizontes mensuales capaz de planificar en mayores plazos.

Pasamos ahora a analizar las simulaciones de los casos 1 y 2, que a diferencia del algoritmo que estudiaba una única SU, estas evalúan dos o tres SUs para una misma instancia con el objetivo de ver que distribución de ORs es mejor. Un indicador del funcionamiento del modelo MILP Semanal, es la optimalidad. El modelo, evalúa unidad a unidad, sin embargo, se ha volcado la información en las tablas por cada distribución donde se evalúan paralelamente 2 o 3 SUs dependiendo del caso abordado. Se impuso que una distribución era óptima si y solo si todas las unidades paralelas evaluadas en ella resultaban ser óptimas. De esta forma, se han descartado muchos resultados donde a pesar de ser parte de las unidades óptimas, la distribución no resultaba eficiente, impidiendo mostrar realmente la optimalidad del modelo en los distintos escenarios. Se presentan en la siguiente tabla la suma de unidades óptimas obtenidas en cada escenario, tal que para el caso 1, donde se daban 5 posibles distribuciones entre 2 unidades, evaluadas en 2 iteraciones, se podrán obtener un máximo de 20 óptimos. Mientras que para el caso 2, donde se daban 28 posibles distribuciones entre 3 unidades, evaluadas en 2 iteraciones, se podrán obtener un máximo de 168.

		Instancia																							
β		1						2																	
α		1.5			2			1.5			2														
H (días)		5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20												
mds		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4				
Nº		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SUs optimas caso 1																									
Caso 1		20	19	15	16	14	14	19	20	13	15	12	14	18	19	11	15	10	9	19	18	12	11	10	10
SUs optimas caso 1																									
Caso 2		158	150	91	111	64	64	168	158	102	91	91	65	154	163	91	98	58	52	134	154	97	92	65	57

Tabla 34: Tabla resumen SUs óptimos casos 1 y 2

Para hacerlo más visual y facilitar la comprensión, se ha decidido representarlo gráficamente:

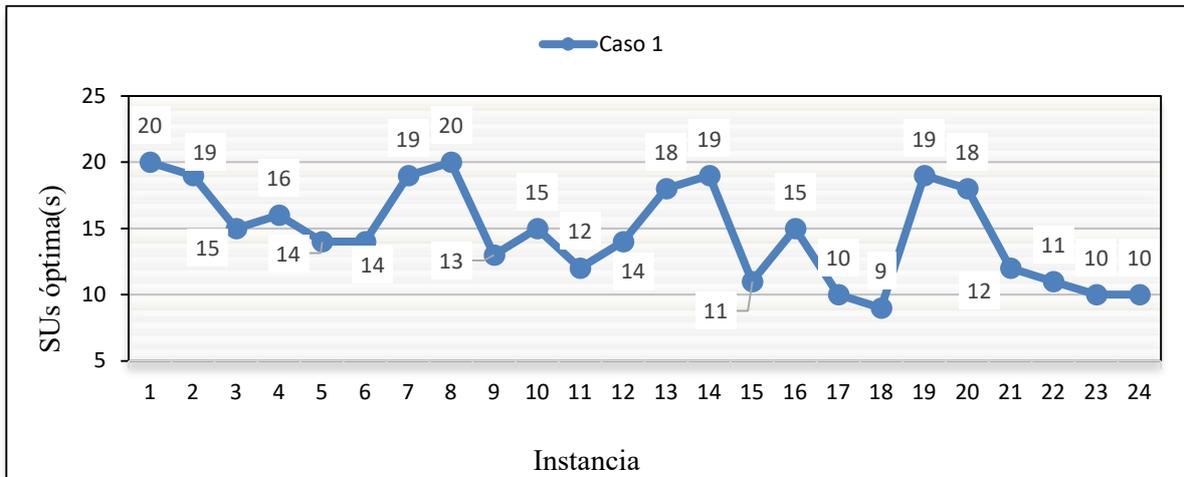


Ilustración 6: Gráfico SUs óptimas caso 1

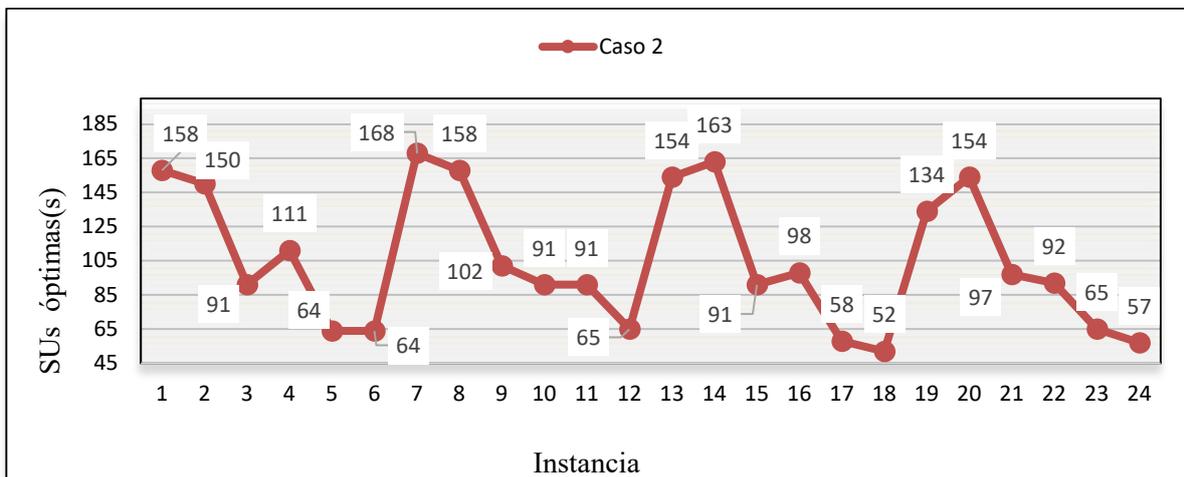


Ilustración 7: Gráfico SUs óptimas caso 2

Podemos apreciar cómo, el modelo es más efectivo para un hospital pequeño que para uno grande pues en la mayoría de los escenarios, más de la mitad de las unidades evaluadas resultan óptimas. El mínimo del caso 1 se da en la instancia 18 verificando que a mayor H menos efectivo es el modelo pues el horizonte temporal de esta instancia es 20 días. En este caso se alcanza el máximo global, de 20 óptimos en la instancia 8 que tiene sentido pues H es 5. En el caso del hospital grande, en el que se evalúan hasta 8 veces más unidades que en el anterior, hay una gran variación en el número de óptimos obtenidos según el escenario. Los mínimos, en los que los óptimos representan alrededor de un 30% del total, se dan en las instancias 17 y 18, donde H una vez más es 20. Mientras que el máximo se da en la instancia 7 donde H es igual a 5 días.

6 CONCLUSIÓN

Este Trabajo de Fin de Grado se ha enmarcado en la planificación de cirugías dentro de la gestión de la producción mediante el desarrollo de un modelo de programación lineal entera mixta (MILP). Se ha partido del modelo actual de planificación de las intervenciones quirúrgicas de un hospital a nivel autonómico y hemos diseñado una alternativa que recoge el problema para un horizonte temporal mayor, al ser capaz de planificar las operaciones a medio plazo (entre 1 y 4 semanas).

El modelo se ha codificado en el lenguaje de programación Python empleando para su resolución el solver Gurobi. Una vez propuesto y logrados los modelos cumpliendo con las especificaciones del hospital, se plantea un banco de pruebas para realizar las experimentaciones y así poder analizar las soluciones obtenidas de la optimización en varias instancias. Sin embargo, previamente, surge la necesidad de hacer equivalentes el modelo base (de horizonte diario) con el modelo alternativo (de horizonte semanal). Para ello, se desarrolla una metodología de 6 pasos en los que a partir de lo que hemos llamado relación de ocupación se halla la reducción de capacidad (a aplicar en la alternativa) que los hace equivalentes.

Junto con la planificación quirúrgica, el objetivo de este proyecto tal y como su nombre indica era el de diseñar la distribución de quirófanos en unidades quirúrgicas para un hospital. Por eso, una vez diseñado el modelo, se proponen dos casuísticas a abordar. En primer lugar, simulando un hospital pequeño, el caso 1 compuesto por 2 SUs y 6 ORs y, en segundo lugar, el caso 2 de un hospital grande compuesto por 3 SUs y 9 ORs. Para poder analizar estas distribuciones, será necesario evaluar el modelo para cada unidad que compone el hospital según el número de OR que se le asignan en cada caso.

Tras obtener un código para cada casuística, y ejecutar el programa recogimos los datos obtenidos y analizamos tanto la eficacia del modelo según los diferentes horizontes temporales y el número de ORs como el funcionamiento de las distintas distribuciones. Si bien el modelo alternativo propuesto, mejora los resultados para horizontes semanales respecto al MILP Diario, tal y como se buscaba, este empeora a medida que se va aumentando el plazo y el número de quirófanos. También se puede observar cómo empeora el modelo a mayor número de semanas en las simulaciones de los 2 tipos de hospitales, donde ambos encuentran el mayor número de óptimos para escenarios de una sola semana de horizonte temporal, y esta optimalidad se va reduciendo a medida que aumenta el horizonte abordado.

Por último, cabe destacar, como a pesar de no encontrar la mejor solución en muchas ocasiones, ambas casuísticas, nos muestran la mejor solución en las distribuciones en las que los quirófanos disponibles están más compensados en las unidades existentes.

6.1 Líneas de futuro

Como ya se ha mencionado anteriormente, con el objetivo de obtener un mayor número de soluciones óptimas, se propone la realización de la experimentación para un horizonte temporal mayor, quizás mensual, que permita planificar quirúrgicamente un hospital hasta medio año completo. Esto conllevará una nueva adaptación del modelo actual de planificación del hospital de referencia.

Además, para que el modelo de MILP desarrollado, a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado pueda servir de aplicación al entorno real, sería conveniente realizar un estudio más profundo y ampliar el tamaño del problema. Se podrían estudiar las etapas del proceso perioperatorio y postoperatorio no abordadas en este proyecto, que son las fases médicas previa y posterior a la intervención, y analizar si tiene influencia alguna en la planificación de intervenciones quirúrgicas. También se podrían tener en cuenta los tiempos de descansos que requieren los cirujanos o el personal de apoyo necesario en cada intervención.

Finalmente, se propone el desarrollo de un método de resolución basado algoritmos aproximados para el problema de decisión abordado dado que los algoritmos empleados en los métodos de resolución propuestos son algoritmos exactos, de esta forma se puede obtener soluciones a instancias mayores y más realistas. Sumado a esto se podrían comparar si los resultados obtenidos son cercanos a las soluciones ofrecidas de forma exacta en este proyecto comprobando así la eficacia del algoritmo.

REFERENCIAS

- AIda Jebali, A. B. (2006). Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics*, 99(1-2), 55-62.
- Andres Ramos, Pedro Sánchez, José María Ferrer, Julián Barquín, Pedro Linares. (Septiembre de 2010). Obtido de http://www.doi.icaei.upcomillas.es/intro_simio.htm
- Añez, J. (3 de Junio de 2023). *Acerca de Web y empresas*. Obtido de <https://www.webyempresas.com/investigacion-de-operaciones/>
- Autor. (2012). Este es el ejemplo de una cita. *Tesis Doctoral*, 2(13).
- Autor, O. (2001). Otra cita distinta. *revista*, p. 12.
- Datdata. (1 de 2023 de Junio). *Blog Datdata*. Obtido de <https://www.datdata.com/blog/niveles-decision-organizacional>
- Dexter F, M. A. (1999). Which algorithm for scheduling add-on elective cases maximises operating room utilization? Use of bin packing algorithms and fuzzy constraints in operating room management. *Anesthesiology*, 1491-1500.
- Diccionario Médico, CUN. (s.d.). *Clínica Universidad de Navarra. Diccionario medico*. Obtido de <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/electivo>
- Flores, I. C. (2020). *Programación de la producción en entronos sanitarios: Resolución mediante colonia de abejas artificiales*. Sevilla.
- Irene Domníguez Galán. (2022). *Planificación de quirófanos en hospitales: Análisis de diferentes políticas*. Sevilla.
- Jens O.Brunner, J. F. (2009). Flexible shift scheduling of physicians. *Springer Link*, 258-305.
- JG. Cano Montoro, E. F. (2002). Impact of an intervention on the waiting-list for medical specialists in a health area. *Elsevier*, 549-555.
- Jose M. Molina-Pariente, Erwin W.Hans, Jose M.Framinan, Tomas Gomez-Cia. (27 de Octubre de 2015). New Heuristics for Planning Operating rooms. *Computers & Industrial Engineering*, p. 15.
- L.Winston, W. (2005). *Investigación de operaciones. Aplicaciones y algoritmos*. International Thomson Ediciones .
- Lamiri M, G. F. (2009). Optimization Mehods for a stochastic surgery planning problem. *International Journal of production Economics*, 400-410.
- Manuel Dios, Jose M. Molina-Pariente, Victor Fernandez-Viagas, Jose L. Andrade-Pineda, Jose M. Framinan. (2015). A Decision Support System for Operating Room Scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 430-443.
- María de los Ángeles Ramírez Rojas. (2020). *Integración de planificación de consultas y quirófanos en el sector sanitario*. Sevilla.
- Martín, Sebastián Ferrer. (s.d.). Investigación Operativa. *DA Temas de la Reforma Administrativa*. Obtido de <https://revistasonline.inap.es/index.php/DA/article/view/956/1011>
- Nieto Medina, Á. (2021). *Integración de planificación de intervenciones en quirófanos y camas postoperatorias*. Sevilla.
- Pouso, M. T. (2013). La Otan, la Investigación Operativa y el Péndulo. Em *Temas Profesionales* (pp. 473-480). Obtido de <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2013/04/cap09.pdf>
- Quiroa, M. (1 de Octubre de 2020). *Economipedia*. Obtido de

<https://economipedia.com/definiciones/investigacion-de-operaciones.html>

Raúl González Duque. (2011). *Python para todos*.

Regadera, A. S. (2022). *Planificación de quirófanos con consultas integradas: Modelos de programación lineal entera para la resolución de un caso real*. Sevilla.

Vissers, J. (2005). *Health operation management: Patient Flow Logistics in Health Care* (First ed.). London: Routledge.

Anexo 1. Código principal caso 1

```
""""
CASO 1: HOSPITAL PEQUEÑO
""""

import random
from math import *
from gurobipy import *
from scipy import stats
import numpy as np
from modelos import ModeloDiario
from modelos import ModeloSemanal
from xlwt import Workbook
from gen_instancia_3 import GenerarInstancia_uds

resultados = Workbook()
#HOJA DE EXCEL CASO HOSPITAL PEQUEÑO
uds=2
ORtot=6 #si hopital grande 9 ORs

iteraciones = 2
H=[5 ,10,20] # Horizonte temporal 2 y 4 semanas
alpha = [1.5, 2] #Alpha
beta = [1,1.25] #Beta
mmds = [3,4]

#HOJA EXCEL
hoja = resultados.add_sheet("2_OR_6_uds")
hoja.write(1, 0, 'Beta')
hoja.write(1, 1, 'Alpha')
hoja.write(1, 2, 'mds')
hoja.write(1, 3, 'H')
hoja.write(1, 4, 'J1 ')
hoja.write(1, 5, 'J2')
```

```
hoja.write(0, 6, 'Iteracion 1')
hoja.write(1, 6, 'n°optimos')
hoja.write(1, 7, 'sum FOsem ')
hoja.write(1, 8, 'sum Run_time')
hoja.write(1, 9, 'sum ttotal')
```

```
hoja.write(0, 10, 'Iteracion 2')
hoja.write(1, 10, 'n°optimos')
hoja.write(1, 11, 'sum FOsem ')
hoja.write(1, 12, 'sum Run_time')
hoja.write(1, 13, 'sum ttotal')
```

```
fj=2
fila = 1
fila1 = 1
```

```
optimo=0
FOsem=0
RunTime=0
ttotal=0
```

```
fj = 2
bal=2
fal = 2
fh = 2
fm=2
```

```
for b in beta:
```

```
    hoja.write(bal,0,b)
    bal+=60
```

```
    for al in alpha:
```

```
        hoja.write(fal,1, al)
        fal += 30
        fal1+= 60
```

```
        for hh in H:
```

```
            hoja.write(fh,3, hh)
            fh += 10
```

```
            for mds in mmds:
```

```
hoja.write(fm,2, mds)
fm += 5
for b in beta:
    for al in alpha:
        for h in H:
            for mds in mmds:
                for i in range(1,ORtot-uds+2):
                    for j in range(1,ORtot-uds+2):
                        if i+j==ORtot:
                            J=[i,j]
                            fila+=1
                            colum=6
                            hoja.write(fj,4,i)
                            hoja.write(fj,5,j)
                            fj+=1
                            for iter in range(iteraciones):
                                print("J: ", J,"H",h, "iter:",iter,"al: ",al,"beta:",b,"mds: ",mds)
                                random.seed(iter)
                                Instancia_ud=GenerarInstancia_uds(J,ORtot,al,b,h,mds)
                                Hs =Instancia_ud[0]
                                I = Instancia_ud[1]
                                S =Instancia_ud[2]
                                r =Instancia_ud[3]
                                rsem = Instancia_ud[4]
                                a =Instancia_ud[5]
                                asem =Instancia_ud[6]
                                gamma =Instancia_ud[7]
                                rd = Instancia_ud[8]
                                d =Instancia_ud[9]
                                rs= Instancia_ud[10]
                                sem=Instancia_ud[11]
                                delta = Instancia_ud[12]
                                deltasem = Instancia_ud[13]
                                t = Instancia_ud[14]
                                w =Instancia_ud[15]
                                mp =Instancia_ud[16]
                                MTBT =Instancia_ud[17]
```

```

dwl = Instancia_ud[18]
t_parada=Instancia_ud[19]
u=Instancia_ud[20]
usem=Instancia_ud[21]

for y in range(uds):
    modelosemanal_ud=ModeloSemanal(J[y],Hs[y],I[y], S[y], rsem[y], asem[y], gamma[y],
rs[y], sem[y], deltasem[y], t[y], w[y], t_parada[y],u[y],usem[y])

    optimo+=modelosemanal_ud[0]
    FOsem+=modelosemanal_ud[1]
    RunTime+=modelosemanal_ud[2]
    tttotal+=modelosemanal_ud[3]

hoja.write(fila, colum, str(optimo))
colum += 1
hoja.write(fila, colum, str(FOsem))
colum += 1
hoja.write(fila, colum, str(RunTime))
colum += 1
hoja.write(fila, colum, str(tttotal))
colum += 1
optimo=0
FOsem=0
RunTime=0
tttotal=0

#Impresión hoja excel
resultados.save('CASO_1.xls')

```

Anexo 2. Código principal caso 2

```

"""
CASO 2: HOSPITAL GRANDE
"""
import random
from math import *

```

```

from gurobipy import *
from scipy import stats
import numpy as np
from modelos import ModeloDiario
from modelos import ModeloSemanal
from xlwt import Workbook
from gen_instancia_3 import GenerarInstancia_uds

resultados = Workbook()
#HOJA DE EXCEL CASO HOSPITAL GRANDE
uds=3
ORtot=9

iteraciones = 2
H=[5 ,10,20] # Horizonte temporal 2 y 4 semanas
alpha = [1.5, 2] #Alpha
beta = [1,1.25] #Beta
mmds = [3,4]

#HOJA EXCEL
hoja = resultados.add_sheet("3_OR_9_uds")
hoja.write(1, 0,'Beta')
hoja.write(1, 1, 'Alpha')
hoja.write(1, 2, 'mds')
hoja.write(1, 3, 'H')
hoja.write(1, 4, 'J1 ')
hoja.write(1, 5, 'J2')
hoja.write(1, 6, 'J3')

hoja.write(0, 7, 'Iteracion 1')
hoja.write(1, 7, 'n°optimos')
hoja.write(1, 8, 'sum FOsem ')
hoja.write(1, 9, 'sum Run_time')
hoja.write(1, 10, 'sum tttotal')

hoja.write(0, 11, 'Iteracion 2')

```

```

hoja.write(1, 11, 'n°optimos')
hoja.write(1, 12, 'sum FOsem ')
hoja.write(1, 13, 'sum Run_time')
hoja.write(1, 14, 'sum tttotal')

```

```

fj=2
fila = 1
fila1 = 1

```

```

optimo=0
FOsem=0
RunTime=0
tttotal=0

```

```

fj = 2
fal = 2
bal = 2
fh = 2
fm=2

```

```

for b in beta:

```

```

    hoja.write(bal,0,b)

```

```

    bal+=28*3*2

```

```

    for al in alpha:

```

```

        hoja.write(fal,1, al)

```

```

        fal += 28*3*2

```

```

        for hh in H:

```

```

            hoja.write(fh,2, hh)

```

```

            fh += 28*2

```

```

            for mds in mmds:

```

```

                hoja.write(fm,3, mds)

```

```

                fm += 28

```

```

for b in beta:

```

```

    for al in alpha:

```

```

        for h in H:

```

```

            for mds in mmds:

```

```

                for i in range(1,ORtot-uds+2):

```

```

for j in range(1,ORTot-uds+2):
    for k in range(1,ORTot-uds+2):
        if i+j+k==ORTot:
            J=[i,j,k]
            fila+=1
            colum=7
            hoja.write(fj,4,i)
            hoja.write(fj,5,j)
            hoja.write(fj,6,k)
            fj+=1
        for iter in range(iteraciones):
            print("J: ", J,"H: ", h, "iter:",iter,"al: ",al,"beta:",b,"mds: ",mds)
            random.seed(iter)
            Instancia_ud=GenerarInstancia_uds(J,ORTot,al,b,h,mds)
            Hs =Instancia_ud[0]
            I = Instancia_ud[1]
            S =Instancia_ud[2]
            r =Instancia_ud[3]
            rsem = Instancia_ud[4]
            a =Instancia_ud[5]
            asem =Instancia_ud[6]
            gamma =Instancia_ud[7]
            rd = Instancia_ud[8]
            d =Instancia_ud[9]
            rs= Instancia_ud[10]
            sem=Instancia_ud[11]
            delta = Instancia_ud[12]
            deltasem = Instancia_ud[13]
            t = Instancia_ud[14]
            w =Instancia_ud[15]
            mp =Instancia_ud[16]
            MTBT =Instancia_ud[17]
            dwl = Instancia_ud[18]
            t_parada=Instancia_ud[19]
            u=Instancia_ud[20]
            usem=Instancia_ud[21]

```

```

        for y in range(uds):
            modelosemanal_ud=ModeloSemanal(J[y],Hs[y],I[y], S[y], rsem[y], asem[y],
gamma[y], rs[y], sem[y], deltasem[y], t[y], w[y], t_parada[y],u[y],usem[y])

            optimo+=modelosemanal_ud[0]
            FOsem+=modelosemanal_ud[1]
            RunTime+=modelosemanal_ud[2]
            tttotal+=modelosemanal_ud[3]

            hoja.write(fila, colum, str(optimo))
            colum += 1
            hoja.write(fila, colum, str(FOsem))
            colum += 1
            hoja.write(fila, colum, str(RunTime))
            colum += 1
            hoja.write(fila, colum, str(tttotal))
            colum += 1
            optimo=0
            FOsem=0
            RunTime=0
            tttotal=0

#Impresión hoja excel
resultados.save('CASO_3.xls')

```

Anexo 3. Código funciones auxiliares

```
#FUNCION MODELO DIARIO
```

```
def ModeloDiario(j,h,I, S, r, a, gamma, rd, d, delta, t, w, t_parada,u):
```

```
# Inicializamos modelo
```

```
modelo = Model("Modelo horizonte diario")
```

```
# Creación de variables
```

```
X = modelo.addMVar((I, j, h), vtype=GRB.BINARY, name='X') # Restricción 10
```

```
Z = modelo.addMVar((S, j, h), vtype=GRB.BINARY, name='Z') # Restricción 11
```

```
modelo.setObjective(quicksum(quicksum(w[i] * X[i][jj][hh] for i in range(I) for jj in range(j)) for hh in range(h)),GRB.MAXIMIZE)
```

```
# Definición de restricciones
```

```
# Restricción 1
```

```

modelo.addConstrs((quicksum(X[i][jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(h)) <= 1 for i in range(I)),
"Rest11")
# Restricción 2
modelo.addConstrs(
(quicksum(X[i][jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(h) if hh <= (rd[i] - 1)) == 0 for i in range(I)),
"Rest21")
# Restricción 3
modelo.addConstrs(
(quicksum(X[i][jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(h) if hh > (d[i]) == 0 for i in range(I) if
d[i] <= abs(h-1)), "Rest31")
# Restricción 4
modelo.addConstrs(
(quicksum(t[i] * X[i][jj][hh] for i in range(I)) <= r[jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(h)), "Rest41")
# Restricción 5
modelo.addConstrs(
(quicksum((t[i] * X[i][jj][hh]) for i in range(I) if gamma[i] == s for jj in range(j)) <= a[s][hh] for s in
range(S) for hh in range(h)), "Rest51")
# Restricción 6
modelo.addConstrs(
(quicksum((t[i] * X[i][jj][hh]) for i in range(I) if gamma[i] == s) <= (r[jj][hh] * Z[s][jj][hh]) for s in
range(S) for jj in range(j) for hh in range(h)), "Rest61")
# Restricción 7
modelo.addConstrs(
(quicksum((t[i] * X[i][jj][hh]) for i in range(I) if gamma[i] == s) >= Z[s][jj][hh] for s in range(S) for jj
in range(j) for hh in range(h)), "Rest71")
# Restricción 8
modelo.addConstrs(
(X[i][jj][hh] == 0 for i in range(I) for jj in range(j) for hh in range(h) if delta[i][jj][hh] == 0), "Rest81")
# Restricción 9
modelo.addConstrs((quicksum(Z[s][jj][hh] for jj in range(j)) <= u[s] for s in range(S) for hh in range(h)),
"Rest91")
# Resolución
print("\n")
print("Modelo resolviéndose: J:", j, ", H:", h)
modelo.Params.timeLimit = t_parada

modelo.optimize()
print("Modelo resuelto: J:", j, ", H:", h)

```

```

if (modelo.Status == 9):
    optimo = 0
    print("Tiempo excedido\n")
else:
    optimo = 1
    print("Óptimo encontrado\n")
obj = modelo.getObjective()
ttotal=0
for i in range (I):
    for jj in range (j):
        for hh in range (h):
            ttotal+=t[i]*(X[i][jj][hh].X)
            print("Xdiario[" ,i,"][",jj,"][",hh,"] =",X[i][jj][hh].X)
for s in range (S):
    for jj in range (j):
        for hh in range (h):
            print("Zdiario[" ,s,"][",jj,"][",hh,"] =",Z[s][jj][hh].X)
print("optimo: ",optimo,"FO: ",obj.getValue(),"RunTime: ",modelo.RunTime,"TotalTime Operating: ",ttotal)
return (optimo, obj.getValue(), modelo.RunTime, ttotal)

```

#FUNCION MODELO SEMANAL

```
def ModeloSemanal(j,hs,I, S, rsem, asem, gamma, rs, sem, delta, t, w, t_parada,usem):
```

```
# Inicializamos modelo
```

```
modelosemanal = Model("Modelo horizonte semanal")
```

```
# Creación de variables
```

```
Xs = modelosemanal.addMVar((I, j, hs), vtype=GRB.BINARY, name='X') # Restricción 10
```

```
Zs = modelosemanal.addMVar((S, j, hs), vtype=GRB.BINARY, name='Z') # Restricción 11
```

```
modelosemanal.setObjective(quicksum(quicksum(w[i] * Xs[i][jj][hh] for i in range(I) for jj in range(j)) for hh
in range(hs)),GRB.MAXIMIZE)
```

```
# Definición de restricciones
```

```
# Restricción 1
```

```
modelosemanal.addConstrs((quicksum(Xs [i][jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(hs)) <= 1 for i in range(I)),
"Rest12")
```

```
# Restricción 2
```

```
modelosemanal.addConstrs(
```

```
(quicksum(Xs[i][jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(hs) if hh <= ((rs[i] - 1))) == 0 for i in range(I)),
"Rest22")
```

```

# Restricción 3
modelosemanal.addConstrs(
(quicksum(Xs[i][jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(hs) if hh > ((sem[i]))) == 0 for i in range(I) if
(sem[i] <= abs(hs-1)), "Rest32")
# Restricción 4
modelosemanal.addConstrs(
(quicksum(t[i] * Xs[i][jj][hh] for i in range(I) <= rsem[jj][hh] for jj in range(j) for hh in range(hs)), "Rest42")
# Restricción 5
modelosemanal.addConstrs(
(quicksum((t[i] * Xs[i][jj][hh]) for i in range(I) if gamma[i] == s for jj in range(j)) <= asem[s][hh] for s in
range(S) for hh in range(hs)), "Rest52")
# Restricción 6
modelosemanal.addConstrs(
(quicksum((t[i] * Xs[i][jj][hh]) for i in range(I) if gamma[i] == s) <= (rsem[jj][hh] * Zs[s][jj][hh]) for s in
range(S) for jj in range(j) for hh in range(hs)), "Rest62")
# Restricción 7
modelosemanal.addConstrs(
(quicksum((t[i] * Xs[i][jj][hh]) for i in range(I) if gamma[i] == s) >= Zs[s][jj][hh] for s in range(S) for jj
in range(j) for hh in range(hs)), "Rest72")
# Restricción 8
modelosemanal.addConstrs(
(Xs[i][jj][hh] == 0 for i in range(I) for jj in range(j) for hh in range(hs) if delta[i][jj][hh] == 0), "Rest82")
# Restricción 9
modelosemanal.addConstrs((quicksum(Zs[s][jj][hh] for jj in range(j)) <= usem[s] for s in range(S) for hh in
range(hs)), "Rest92")
# Resolución
print("\n")
print("Modelo horizonte Semanal resolviéndose: J:", j, " Hs:", hs)
modelosemanal.Params.timeLimit = t_parada
modelosemanal.optimize()
print("Modelo semanal resuelto: J:", j, " Hs:", hs)
if (modelosemanal.Status == 9):
    optimo = 0
    print("Tiempo excedido\n")
else:
    optimo = 1
    print("Óptimo encontrado\n")
obj = modelosemanal.getObjective()

```

```

variables = modelosemanal.getVars()
ttotal=0
for i in range (I):
    for hh in range (hs):
        for jj in range (j):
            ttotal+=t[i]*(Xs[i][jj][hh].X)
            print("Xsemanal[" ,i,"][",jj,"][",hh,"] =",Xs[i][jj][hh].X)

for s in range (S):
    for jj in range (j):
        for hh in range (hs):
            print("Zsemanal[" ,s,"][",jj,"][",hh,"] =",Zs[s][jj][hh].X)
print("optimo sem: ",optimo,"FO sem: ",obj.getValue(),"RunTime sem: ",modelosemanal.RunTime,"TotalTime Operating sem: ",ttotal)

return (optimo, obj.getValue(), modelosemanal.RunTime,ttotal)

#FUNCIÓN GENERAR INSTANCIA 1 UNIDAD
def GenerarInstancia(j,a,b,h,mds):
    aw = 0.5 # factor de importancia a
    rjh=480 # Capacidad quirófano (minutos)
    hs=(int(h/5)) #horizonte semanal
    #rsemjh=int(rjh*5) #Inicialmente
    rsemjh=int(rjh*5*0.9386) #Reducción capacidad para hacer modelos equivalentes

#Definicion r[j][h] : Capacidad temporal de los quirafanos
r = [[rjh for hh in range(h)] for jj in range(7)]
rsem = [[rsemjh for hh in range(hs)] for jj in range(7)]

W= ceil(h/5) #Numero de semanas laborables estudiadas en el horizonte temporal

#Definicion S: Cirujanos
suma_r = 0
for jj in range(j):
    for hh in range(h):
        suma_r += rjh
S = ceil((a1*suma_r)/(W*rjh*mds)) # función ceil() para redondear a entero superior

```

```

#Definicion a[s][h] : Capacidad regular del cirujano s en periodo h
a = [[rjh for hh in range(h)] for s in range(S)]
asem = [[rsemjh for hh in range(hs)] for s in range(S)]

#Definicion I, t[i], gamma[i], rd[i]
I = 0      #Pacientes en lista de espera
suma_t=0
t = []     #Duracion esperada de la operacion i (mins)
gamma = [] #cirujano a cargo del paciente i
rd = []    #primera fecha para operar paciente i
rs=[]     #primera semana para operar al paciente i
while suma_t <= suma_r*b:
    I+=1
    t.append(random.uniform(90,120))
    suma_t = suma_t+t[I-1]
    gamma.append(random.randint(0, S-1))
    rd.append(random.randint(0,j))

MTBT = [] #Max Time Before Treatment
dwl = [] #Di-as que lleva el paciente i en lista de espera
d = []   #Fecha ultima para operar al paciente i
sem=[]   #ultima semana para operar al paciente i
w = []   #peso cli-nico de la operacion i
mp = []  #prioridad médica de la intervención
for i in range (I):
    MTBT.append(random.choice([45, 180, 360]))
    dwl.append(random.randint(1, MTBT[i] - 1))
    d.append(MTBT[i] - dwl[i])
    sem.append(int(d[i]/5))
    rs.append(int(rd[i]/5))
    mp.append(random.randint(1, 5))
    w.append((aw*mp[i]/5+(1-aw)*dwl[i]/MTBT[i]))

#Definicion delta[i][j][h] : =1 si el paciente i puede ser operado en OR j en el periodo h
J_especializados = round(0.3*j) #el 30% de ORs son especializados
if (J_especializados == 0):
    J_especializados = 1 #nos aseguramos de que hay minimo 1 quirofono especializado

```

```

porcentaje = []
delta = [[[1 for hh in range(h)] for jj in range(7)] for i in range(I)]
deltasem = [[[1 for hh in range(hs)] for jj in range(7)] for i in range(I)]
for i in range(I):
    porcentaje.append(random.uniform(0,1))
    if (porcentaje[i] < 0.1): #si la operacion es especializada
        for jj in range(j):
            if (jj >= J_especializados):
                for hh in range(h):
                    delta[i][jj][hh] = 0 #asignamos valor 0 a los quirofanos no especializados
                for hh in range(hs):
                    deltasem[i][jj][hh] = 0 #asignamos valor 0 a los quirofanos no especializados

#Definición u[s]: Max de ORs en el que s puede operar en un día h
u = [round(random.uniform(1, j)) for s in range(S)]
usem = u*5

#Definición tiempo de parada
t_limite = 600
return(hs,I, S, r,rsem, a, asem, gamma, rd, d,rs,sem,delta,deltasem, t, w,mp,MTBT,dwl, t_limite,u,usem)

#Funcion GENERAR INSTANCIA 2 o 3 UNIDADES
#J=[1,2,3] #distribucion de quirófanos en unidades
#ORtot=6 o 9 dependiendo de si es hosp grande o pequeño
def GenerarInstancia_uds(J,ORtot,alpha,beta,H,mmds):
    num_unidades=len(J) #variaremos entre 2 (hosp pequeño) y 3 (hosp grande)
    Hs=[]
    I=[]
    S=[]
    r=[]
    rsem=[]
    a=[]
    asem=[]
    gamma=[]
    rd=[]
    d=[]
    rs=[]
    sem=[]

```

```

delta=[]
deltasem=[]
t=[]
w=[]
mp=[]
MTBT=[]
dwl=[]
t_parada=[]
u=[]
usem=[]
#Para poder comparar resultados entre unidades, genero instancia a partir de una j común para distintas unidades
#El numero de j que habra en cada unidad se lo daremos al modelo
j=random.randint(1,ORtot-num_unidades+1)#random entero entre 1 y 5 (hosp peq) o 7 (hosp grande) inclusive
for i in range(num_unidades):
    parametros = GenerarInstancia(j, alpha, beta, H,mmds)
    Hs.append(parametros [0])
    I.append(parametros[1])
    S.append(parametros[2])
    r.append(parametros[3])
    rsem.append(parametros[4])
    a.append(parametros[5])
    asem.append(parametros[6])
    gamma.append(parametros[7])
    rd.append(parametros[8])
    d.append(parametros[9])
    rs.append(parametros[10])
    sem.append(parametros[11])
    delta.append(parametros[12])
    deltasem.append(parametros[13])
    t.append(parametros[14])
    w.append(parametros[15])
    mp.append(parametros[16])
    MTBT.append(parametros[17])
    dwl.append(parametros[18])
    t_parada.append(parametros[19])
    u.append(parametros[20])
    usem.append(parametros[21])

```

```
return(Hs,I,S,r,rsem,a,asem,gamma,rd,d,rs,sem,delta,deltasem,t,w,mp,MTBT,dwl,t_parada,u,usem)
```

```
#Funcion INSTANCIA del EJEMPLO para comprobación de modelos
```

```
def InstanciaEjemplo():
```

```
    j=2 # Quirofanos
```

```
    h=10 # Horizonte temporal
```

```
    I= 8 # Pacientes en lista de espera
```

```
    S=2 # Cirujanos
```

```
    rjh=150 # Capacidad quirofono
```

```
    rsemjh=int(rjh*5)
```

```
    ajh=200 # Capacidad cirujano
```

```
    #asemjh=int(ajh*5)
```

```
    asemjh=int(ajh*5*(1-0.054)) # Reduccion de capacidades
```

```
    hs=int(h/5)
```

```
    #Definicion r[j][h] : Capacidad temporal de los quirófanos
```

```
    r = [[rjh for hh in range(h)] for jj in range(j)]
```

```
    rsem = [[(rsemjh) for hh in range(hs)] for jj in range(j)]
```

```
    #Definicion a[s][h] : Capacidad regular del cirujano s en periodo h
```

```
    a = [[ajh for hh in range(h)] for s in range(S)]
```

```
    asem = [[(asemjh) for hh in range(hs)] for s in range(S)]
```

```
    t = [] #Duracion esperada de la operacion i (mins)
```

```
    gamma = [] #cirujano a cargo del paciente i
```

```
    rd = [] #primera fecha para operar paciente i
```

```
    rs=[] #primera semana para operar al paciente i
```

```
    MTBT = [] #Max Time Before Treatment
```

```
    dwl = [] #Días que lleva el paciente i en lista de espera
```

```
    d = [] #Fecha última para operar al paciente i
```

```
    sem=[] #ultima semana para operar al paciente i
```

```
    w = [] #peso clínico de la operación i
```

```
    for i in range (I):
```

```
        t.append(random.uniform(30,90))
```

```
        gamma.append(random.randint(0, S-1))
```

```
        rd.append(random.randint(0,j))
```

```
        d.append(random.randint(rd[i],j))
```

```
        sem.append(int(d[i]/5))
```

```

w.append(random.randint(1, 5)) #distrib uniforme discreta entre 1 y 5
rs.append(int(rd[i]/5))

#Definicion delta[i][j][h] :=1 si el paciente i puede ser operado en OR j en el periodo h
J_especializados = round(0.3*j)
if (J_especializados == 0):
    J_especializados = 1 #nos aseguramos de que hay mínimo 1 quirofono especializado
porcentaje = []
delta = [[[1 for hh in range(h)] for jj in range(j)] for i in range(I)]
deltasem = [[[1 for hh in range(hs)] for jj in range(j)] for i in range(I)]
for i in range(I):
    porcentaje.append(random.uniform(0,1)) #porcentaje de quirofanos no especializados
    if (porcentaje[i] < 0.1): #si la operacion es especializada
        for jj in range(j):
            if (jj >= J_especializados):
                for hh in range(h):
                    delta[i][jj][hh] = 0 #asignamos valor 0 a los quirofanos no especializados
                for hh in range(hs):
                    deltasem[i][jj][hh] = 0
#Definición u[s]: Max de ORs en el que s puede operar en un día h
u = [round(random.uniform(1, j)) for s in range(S)]
usem = [u*5 for s in range(S)]

#Definición tiempo de parada
t_limite = 600
return(j,h,hs,I, S, r,rsem, a, asem, gamma, rd, d,rs,sem,delta,deltasem, t, w, t_limite,u,usem)

```