

Interfaz de usuario.

Este apartado describe la interfaz gráfica del sistema. Ésta es diseñada de forma que el usuario pueda realizar el proceso de planificación de la plantilla de manera interactiva y cómoda (Figura 4-1). La interfaz está formada por los siguientes elementos:

- Un menú desplegable que contiene una entrada para cada una de las principales fases del sistema. En cada entrada del menú se tiene acceso a las funciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema así como a las respectivas funciones de almacenaje y apertura de los datos producidos en cada fase.
- Un cuadro de selección de pestañas que proporciona acceso a las principales funciones de cada fase del proceso de planificación de la plantilla.

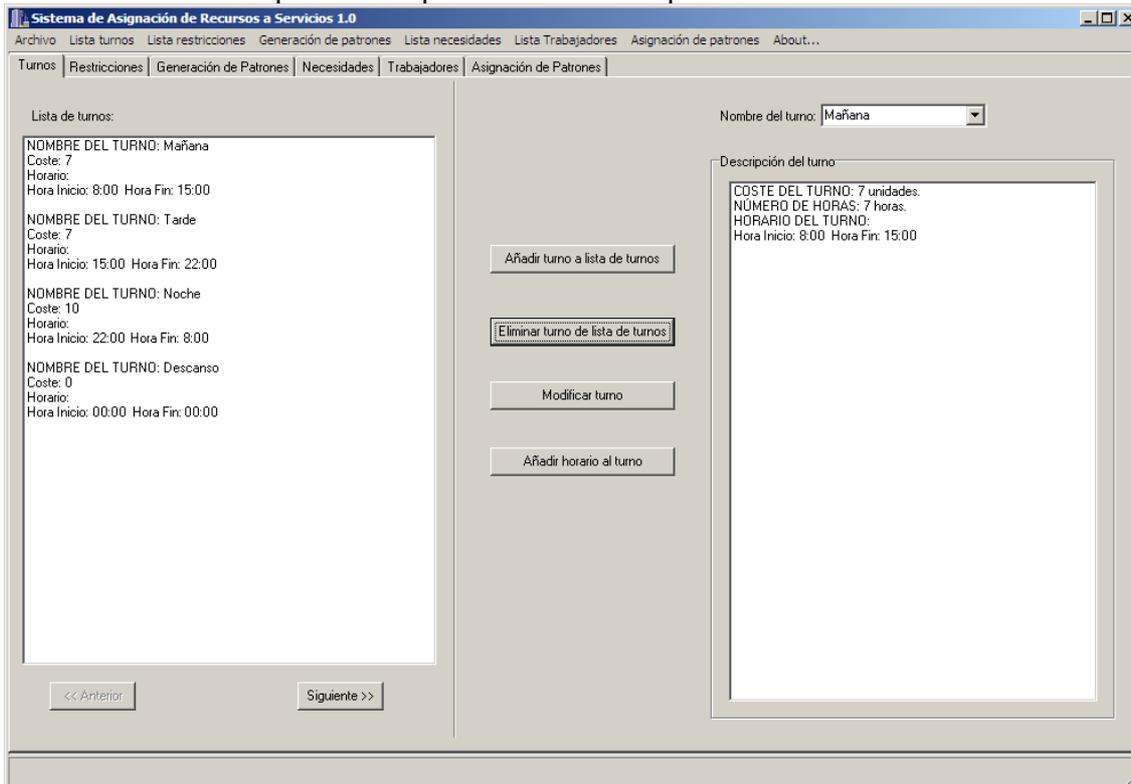


Figura 4-1. Vista principal del sistema de generación de planificaciones.

A continuación se pasa a explicar la interfaz de usuario siguiendo paso a paso el proceso de planificación de una plantilla.

Modelado de turnos.

Los turnos se introducen con todas sus características en el siguiente formulario.



Figura 4-2. Formulario Añadir turno.

El manejo del formulario es sencillo e intuitivo, se introducen el nombre del turno, el coste y se añaden los horarios que se consideren oportunos. Luego se añade el turno a la lista de turnos y ya entra automáticamente en el proceso de la planificación óptima del sistema.

Para supervisar la lista de turnos se selecciona la pestaña de lista de turnos y en el formulario de la izquierda se ven todos los turnos agrupados y en la derecha el turno seleccionado, que es el que se podrá modificar pulsando en el botón adecuado según se desee añadir un turno nuevo, modificar o eliminar un turno existente (Figura 4-3).

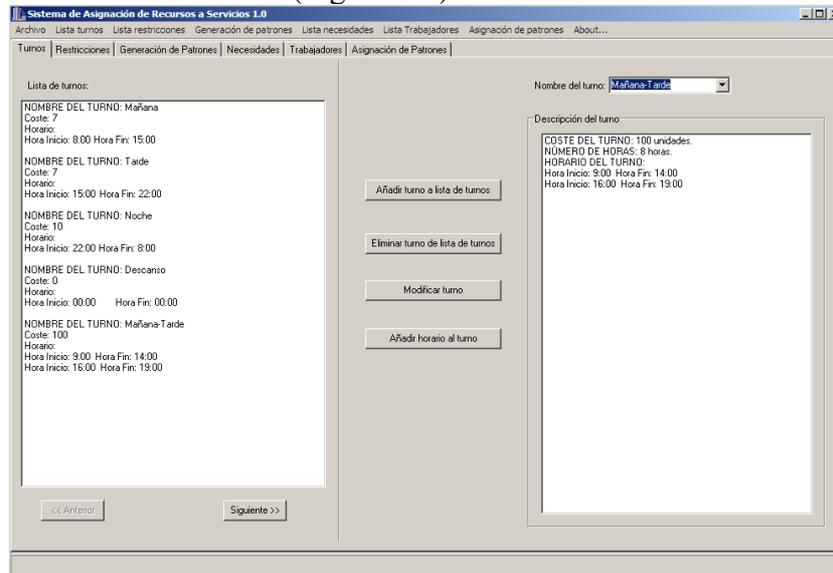


Figura 4-3. Vista principal de la pestaña de turnos.

Modelado de restricciones.

Las restricciones se modelan de forma muy similar a los turnos. Disponen de un formulario donde se añaden con todas sus características, representado en la siguiente figura.

Figura 4-4. Formulario para el modelado de restricciones.

En este formulario se introducen las horas mínimas y máximas de trabajo a la semana, las horas máximas de trabajo al mes, los días de descanso cada cierto número de días trabajados y los patrones prohibidos.

Los patrones prohibidos que forman parte de las restricciones merecen una mención especial. Se introducen de una lista que contiene los turnos introducidos, más los turnos comodín,

trabajar, y los turnos “negados”. De esta forma, se seleccionan uno a uno y se forma el patrón prohibido a medida, tal y como se puede comprobar en la siguiente figura.

The image shows a software interface for adding restrictions. The main window is titled "Añadir restricciones" and contains a sub-window titled "Añadir patron prohibido". In the sub-window, there is a text input field labeled "Código de turno:" with the value "Trabajar" entered. Below this field is a button labeled "Añadir turno a patrón incompatible". Further down are two buttons labeled "Anterior" and "Siguiete". Below these buttons is a list box titled "Lista de turnos posibles:" containing the following items: "CÓDIGO DEL TURNO: No Mañana", "CÓDIGO DEL TURNO: No Tarde", "CÓDIGO DEL TURNO: No Noche", "CÓDIGO DEL TURNO: No Descanso", "CÓDIGO DEL TURNO: Trabajar", and "CÓDIGO DEL TURNO: Comodín". At the bottom of the sub-window, there is a section labeled "Patrón de turnos prohibido:" which contains a list of turn codes: "Noche", "Trabajar", "Trabajar", "Noche", "Trabajar", and "Trabajar".

Figura 4-5. Formulario para añadir un patrón prohibido a una restricción.

Si el horizonte de planificación es mayor que el patrón prohibido, el algoritmo lo hace funcionar como una ventana que se va desplazando a lo largo del patrón que se está generando para ver si es válido o no.

Una vez creada la restricción concreta, ésta se añade a una lista con todas las restricciones definidas para su posterior uso en la generación de patrones, donde se generará un conjunto de patrones por cada una de las restricciones añadidas.

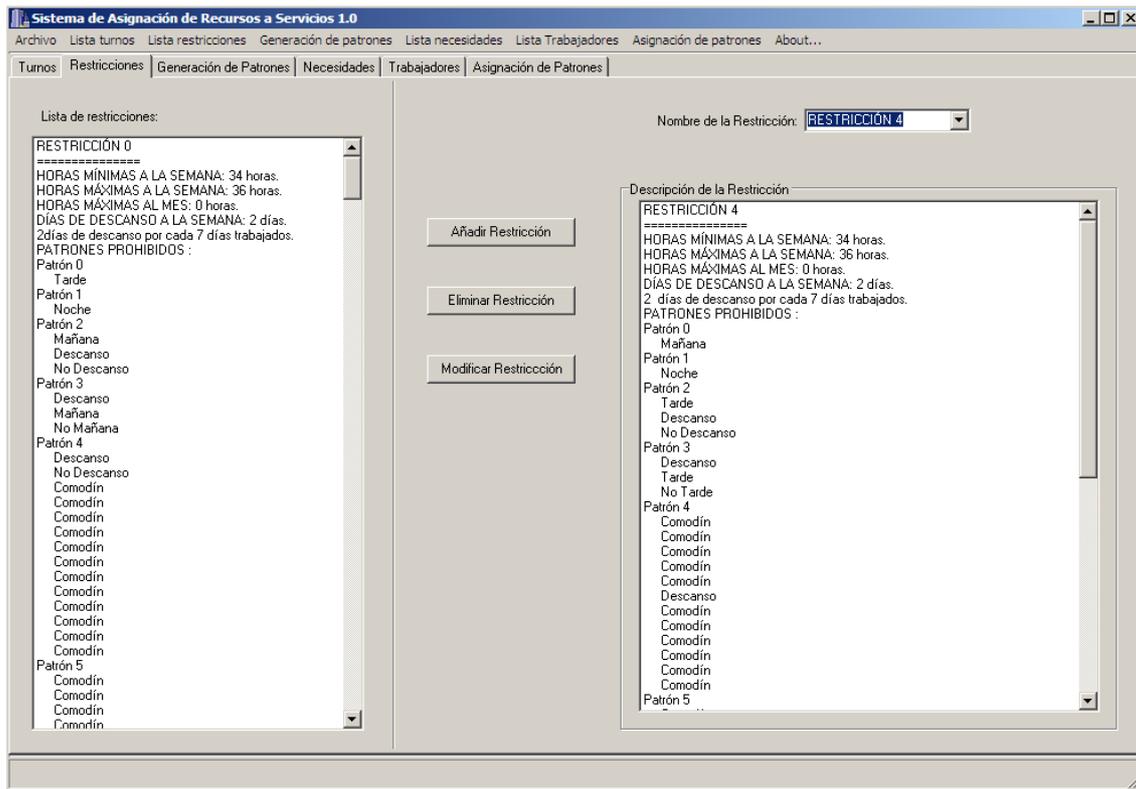


Figura 4-6. Vista principal de la pestaña de restricciones.

Consultando la pestaña de restricciones se pueden ver las restricciones existentes en la lista y actuar sobre cualquiera de ellas sin más que seleccionarla y pulsar el botón deseado de entre los que figuran en el formulario de la figura anterior.

Generación de patrones.

La generación de patrones es una labor sencilla desde el punto de vista de la interfaz del usuario. Simplemente hay que elegir la opción de generar patrones y aparece un formulario donde se configura la generación, véase la Figura 4-7.

Se selecciona la longitud de los patrones a crear y se pulsa el botón de generar patrones. El sistema genera de forma automática un conjunto de patrones válidos para cada una de las restricciones que se han definido anteriormente.

Figura 4-7. Formulario para la generación de patrones válidos.

Una vez generados los patrones, se ofrece la información del número de patrones creados, la restricción asociada y el tiempo invertido en ello para así tomar las decisiones que sean convenientes. Pulsando los botones de anterior y siguiente se muestran en la lista los patrones generados para la siguiente restricción.

Modelado de necesidades.

Para el modelado de necesidades aparece un formulario en el hay que rellenar las necesidades de empleados que tiene la empresa en el horizonte temporal de la planificación.

Necesidades	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mañana	1	2	3	1	3	3	3
Tarde	1	2	3	1	5	3	3
Noche	3	1	3	2	2	4	4
Descanso	3	1	1	3	3	4	4

Figura 4-8. Formulario para introducción de necesidades de trabajadores para un turno y día.

El funcionamiento es muy intuitivo, cada casilla se rellena con el número mínimo de trabajadores necesarios en el turno que indica la columna y en el día que representa la columna. A partir de los valores que quedan indicados en esta matriz, se generan las restricciones oportunas a la hora de generar las asignaciones de patrones a trabajadores.

Modelado de trabajadores.

El modelado de trabajadores es también muy sencillo y simple. Para introducir un trabajador se sigue un proceso similar a los explicados anteriormente. Se muestra un formulario en el cual se introducen los datos del trabajador en cuestión (Figura 4-9).

Figura 4-9. Formulario para el modelado de un trabajador.

El proceso de generación de un trabajador consiste en introducir el código y el nombre del mismo en el lugar correspondiente, y seleccionar la restricción que recoge todas las condiciones laborales que se deben cumplir en el empleado en cuestión. Una vez generado, el trabajador es añadido a una lista de trabajadores para luego proceder a la asignación óptima de patrones.

Asignación de patrones.

La asignación de patrones sigue un proceso muy similar al descrito para la generación de patrones. Previamente a realizar el proceso de asignación, se han debido definir los turnos, restricciones, patrones, necesidades y trabajadores del sistema para el cual se va a realizar la planificación.

Una vez introducidos todos estos datos, se selecciona la pestaña de asignación de patrones del menú principal y se muestra una planilla vacía con todos los trabajadores y los días del horizonte temporal, tal y como se observa en la figura siguiente.

Planilla	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mañana 1	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Mañana 2	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Mañana 3	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Mañana 4	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Mañana 5	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana
Tarde 1	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso
Tarde 2	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde
Tarde 3	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde
Tarde 4	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde
Corretornos	Descanso	Tarde	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana

Figura 4-10. Formulario para la asignación de patrones.

Pulsando el botón de generar patrones, el proceso comienza de forma automática, buscando los patrones adecuados que satisfagan las necesidades antes recogidas. Una vez concluido el proceso, se muestra el número de planificaciones generadas, el coste óptimo de la planificación, el tiempo empleado en ello y se rellena la matriz del formulario de asignación de patrones con la

primera planilla que es solución óptima de todas las planillas encontradas. Pulsando los botones de anterior y siguiente, se van recorriendo las planillas generadas una tras otra.

Entrada y salida de datos en el sistema.

Los datos introducidos y generados en el sistema deben poder almacenarse y cargarse de forma sencilla para estar disponibles en otra ocasión. Cada una de las listas de datos: turnos, restricciones, patrones válidos, necesidades, plantilla y planificaciones obtenidas, se pueden almacenar de forma independiente, pulsando sobre el menú de archivo correspondiente a la lista en cuestión (Figura 4-11).

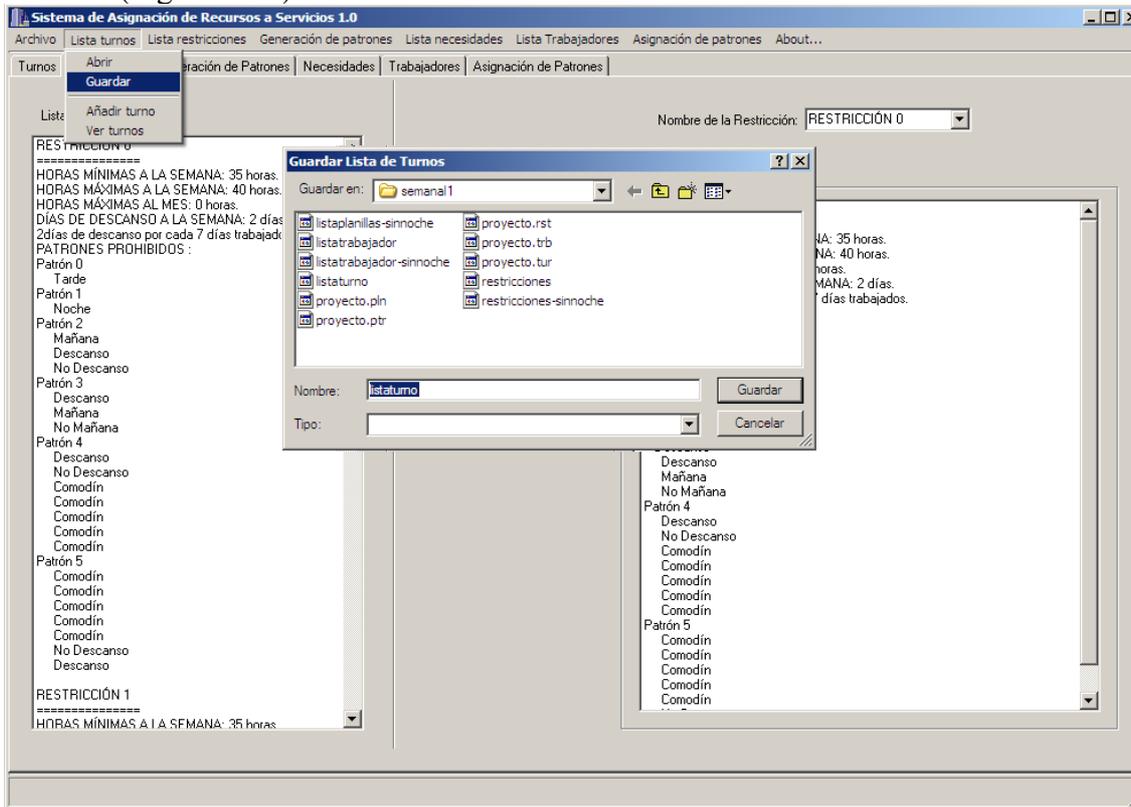


Figura 4-11. Ejemplo de almacén de una lista de turnos.

Si lo que se pretende hacer es almacenar todo el conjunto de datos generados para en el proyecto de planificación, se recurre al menú de archivo y guardar proyecto, de esta forma, se guardan todos los datos del trabajo en curso sin hacerlo de forma individual.

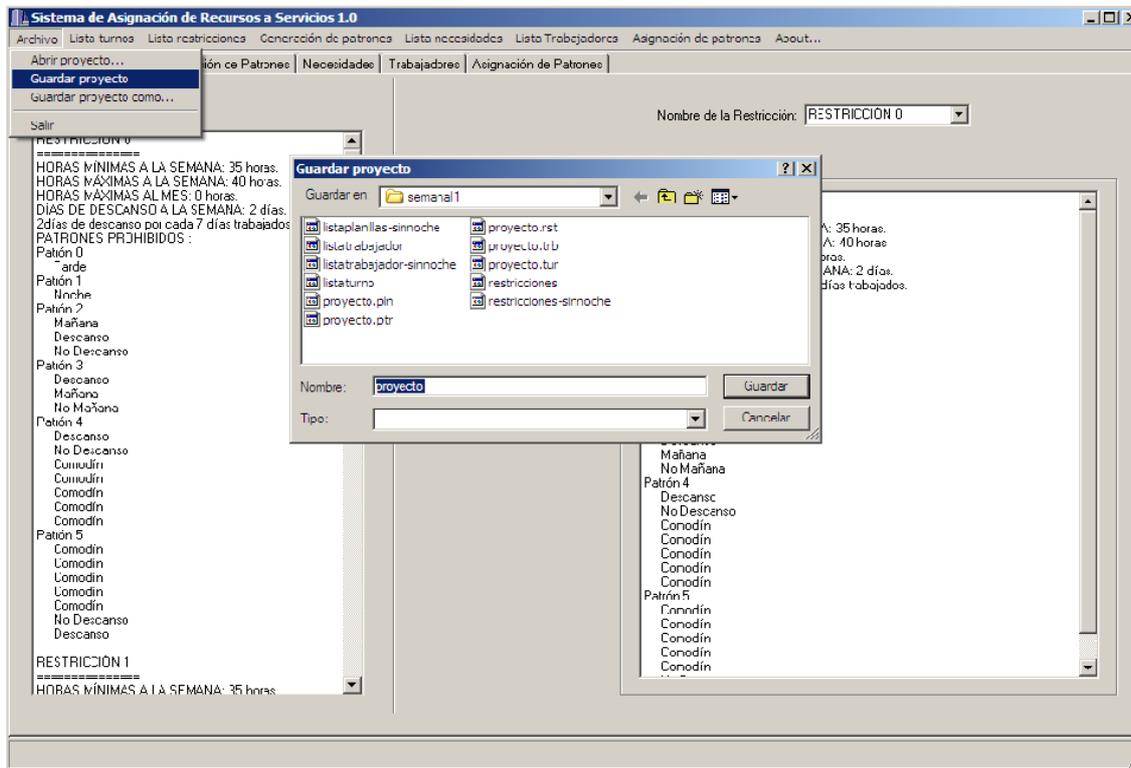


Figura 4-12. Ejemplo de almacén del proyecto de planificación.

Para la carga de los datos, se procede de forma similar según si se quiera cargar todo un proyecto o una lista de datos concreta en la entrada de menú correspondiente a los datos que se quieran cargar.

Pruebas del sistema.

Este capítulo muestra los modelos introducidos como pruebas del sistema y las planificaciones obtenidas como resultado final.

A partir de estas pruebas, se obtienen una serie de conclusiones en diversos aspectos de la aplicación y el procedimiento de diseño, como son:

- Eficiencia de la aplicación.
- Influencia de los parámetros de restricción en cada una de las fases del procedimiento.
- Resultados para una situación real de asignación de trabajadores a servicios.

Para el estudio de todos estos aspectos se han realizado pruebas sobre distintos escenarios.

- Un escenario de prueba que modela una situación ficticia, pero que ayuda a testear el funcionamiento de la planificación.
- Un escenario real, con condiciones de trabajo reales de tamaño medio y de una semana de planificación.
- Un escenario real, con condiciones de trabajo reales de tamaño medio y de un mes de planificación.

Prueba de validación del sistema.

La prueba a la que se somete el sistema consiste en la planificación de los trabajadores en un escenario ficticio muy similar a las condiciones que se dan en la realidad, reducido para agilizar la obtención de resultados. Esta prueba de validación permite corregir errores y mejorar el funcionamiento de la aplicación para su uso en casos reales posteriores. Las características de la prueba, sus resultados y conclusiones se detallan en los siguientes apartados.

Generación de patrones.

Para el caso de prueba se han modelado una serie de restricciones muy sencillas que sirven únicamente para comprobar el funcionamiento correcto de la aplicación. Estas restricciones empleadas así como los patrones y planificaciones generados a partir de éstas se alejan de los casos reales, pero permiten extraer conclusiones acerca de la mejor forma de desarrollar la aplicación.

Horizonte temporal.

La asignación óptima de turnos a trabajadores se realiza para un horizonte temporal de una semana. Este tiempo permite comprobar el correcto funcionamiento del sistema sin incurrir en un elevado coste de tiempo a la hora de ejecutar la aplicación y poder observar los resultados.

Turnos.

Los turnos empleados para la simulación del escenario de prueba son los empleados habitualmente en los hospitales públicos. Todas las características necesarias para la asignación óptima se detallan a continuación.

Turno	Horario	Coste	Duración
Mañana	08:00 – 15:00	7 u.m.	7 horas
Tarde	15:00 – 22:00	7 u.m.	7 horas
Noche	22:00 – 08:00	10 u.m.	10 horas
Descanso	00:00 – 00:00	0 u.m.	0 horas

Tabla 5-1. Definición de turnos para pruebas de validación.

En la primera columna se puede observar el nombre con el que se identifica al turno concreto. En las siguientes columnas se muestran el horario de inicio y fin del turno concreto, así como su coste expresado en unidades monetarias y su duración en horas. El coste se expresa en unidades monetarias y cuenta el coste incremental que supone la realización de cada turno por parte del trabajador sobre el sueldo base que tiene asignado.

Restricciones laborales.

Para esta prueba de validación se definen tres conjuntos de restricciones a los que se asocian los trabajadores concretos que hayan de cumplirlas. Estas restricciones han sido programadas para lograr un número de patrones válidos muy reducido y facilitar así la fase de pruebas de validación del sistema. Las características de cada conjunto se muestran a continuación.

- Restricción 1. Los patrones asociados a esta restricción deben cumplir las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 1 horas.
 - Horas máximas a la semana: 21 horas.
 - 4 descansos cada 7 días.
 - Sólo se trabaja en turno de mañana.
 - Sólo se trabaja los tres primeros días de la semana.

Patrón 5	Descanso	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Patrón 6	Descanso	Tarde	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Patrón 7	Descanso	Descanso	Tarde	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso

Tabla 5-3. Patrones generados para la Restricción 1.

Para la Restricción 2 en la que sólo se puede trabajar de noche se tienen los siguientes patrones.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Patrón 2	Noche	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Patrón 3	Descanso	Noche	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Patrón 4	Descanso	Descanso	Noche	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso

Tabla 5-4. Patrones generados para la Restricción 2.

Tiempo de generación de patrones.

Para comprobar la eficacia de la generación de patrones y observar su comportamiento de forma adecuada, para uso futuro, se recogen los datos del número de patrones generados y el tiempo empleado en ello.

Restricción	Número de turnos	Longitud del patrón	Tamaño del árbol combinatorio	Tiempo de generación
Restricción 1	4	7	16384	15 ms.
Restricción 2	4	7	16384	15 ms.
Restricción 3	4	7	16384	15 ms.

Tabla 5-5. Datos de tiempo de generación de patrones.

El tiempo empleado en la generación de patrones es muy variable y depende de aspectos tales como el número de turnos que existan, las restricciones y el tamaño del árbol combinatorio (dado por el número de turnos existentes y la longitud del patrón). En este caso, el tiempo de generación es similar en todas las restricciones y de valor 15 milisegundos.

Asignación óptima de patrones.

Trabajadores.

La plantilla con la que se cuenta para la prueba de validación del sistema es de 6 trabajadores. Todos están asociados a una restricción concreta, de forma que los turnos que se les pueden asignar vienen dados por los patrones asociados a su correspondiente restricción. La correspondencia de cada uno de los trabajadores con una restricción es la siguiente.

- Trabajador 1 y Trabajador 2. Están asociados a la Restricción 1.
- Trabajador 3 y Trabajador 4. Su restricción es la Restricción 2.
- Trabajador 5 y Trabajador 6. Se corresponden con la Restricción 3.

Necesidades.

Las necesidades de personal se anotan en la matriz de necesidades. Para este test, la matriz de necesidades queda como sigue.

Turnos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mañana	2	2	1	0	0	0	0
Tarde	1	1	2	0	0	0	0
Noche	1	1	1	0	0	0	0
Descanso	2	2	2	6	6	6	6

Tabla 5-6. Matriz de necesidades para la fase de pruebas del sistema.

Planificaciones válidas.

Partiendo de los patrones, la plantilla existente y las necesidades de personal genera las planificaciones válidas. Encuentra todas las planificaciones de mínimo coste que satisfacen las necesidades impuestas, como se muestra a continuación.

- Número de planificaciones encontradas: 16 planificaciones.
- Coste de la planificación: 93 unidades.

Una de las 16 planificaciones obtenidas es la que se muestra a continuación.

Para la Restricción 0 se generan los siguientes patrones.

Trabajador	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Trabajador 1	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Trabajador 2	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Trabajador 3	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Trabajador 4	Mañana	Descanso	Tarde	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Trabajador 5	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso
Trabajador 6	Descanso	Noche	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso

Tabla 5-7. Muestra de una planificación de coste óptimo.

Tiempo de la asignación óptima de patrones.

La obtención de las planificaciones óptimas emplea un tiempo de computación que depende del árbol combinatorio que se genere. Este árbol lo forman los sub-árboles que producen los patrones generados para cada una de las restricciones. En la Tabla 5-8 se muestran las características de los sub-árboles que generan cada una de las restricciones.

Restricción	Número de patrones	Número de trabajadores	Tamaño del sub-árbol.
Restricción 1	7	2	49
Restricción 2	7	2	49
Restricción 3	4	2	16

Tabla 5-8. Sub-árboles combinatorios generados para cada restricción.

Estos datos ayudan a comprender mejor el tiempo transcurrido en la asignación óptima de los patrones a los trabajadores. Los datos más significativos que caben reseñar son:

- Nodos del árbol combinatorio: 6 nodos.

- Tamaño total del árbol combinatorio: 38416.
- Tiempo de asignación óptima de patrones: 2 segundos.

Como se aprecia, el tiempo de asignación es muy pequeño, pues el árbol que tiene que explorar también lo es.

Prueba real del sistema. Planificación semanal.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del sistema con la prueba de validación, se realiza una prueba en un escenario real. Los datos empleados en esta prueba proceden de las planificaciones realizadas en una planta de cardiología de tamaño mediano en un hospital público. Se realizará la planificación para un horizonte temporal de una semana. Cumpliendo las restricciones semanales impuestas, la asignación óptima resultante se puede repetir de forma indefinida a lo largo del tiempo.

Generación de patrones.

Horizonte temporal.

La asignación óptima de turnos a trabajadores se realiza para un horizonte temporal de una semana.

Turnos.

Los turnos que son tenidos en cuenta para la simulación del escenario de prueba se detallan con todas sus características a continuación.

Turno	Horario	Coste	Duración
Mañana	08:00 – 15:00	7 u.m.	7 horas
Tarde	15:00 – 22:00	7 u.m.	7 horas
Noche	22:00 – 08:00	10 u.m.	10 horas
Descanso	00:00 – 00:00	0 u.m.	0 horas

Tabla 5-9. Definición de turnos para la planificación semanal del sistema.

Se observa es similar al caso de prueba de validación del sistema. De nuevo hay que observar que el coste de los turnos está expresado en unidades monetarias (u.m.) de forma general en lugar de un valor en una moneda concreta. Esto no supone ninguna tara para el planteamiento, pues los costes asignados en u.m. conservan la proporción de los costes reales, por lo que el tratamiento de los mismos se hace de igual forma que en la realidad llegando así a un planificación óptima.

Restricciones laborales.

Las restricciones tenidas en cuenta para la planificación óptima se corresponden con las de un trabajador enfermero de la citada planta de un hospital público y se adaptan al horizonte temporal de una semana. A continuación se detallan las características de las restricciones.

- Restricción 1 – *Turno fijo de Mañana*. Los patrones asociados a esta restricción deben cumplir las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 35 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Realiza únicamente los turnos de mañana y descanso.
 - Los descansos de los que el trabajador dispone irán agrupados de dos en dos.
- Restricción 2 – *Turno fijo de Tarde*. Los patrones asociados a esta restricción deben cumplir las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 35 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Sólo realiza los turnos de tarde y descanso.
 - Dispone de dos descansos a la semana que irán agrupados.
- Restricción 3 – *Turno fijo de Noche*. Los patrones asociados a esta restricción deben cumplir las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 30 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Realiza turnos de noche y descanso.
 - Dispone de un mínimo de 3 descansos a la semana.
 - No puede realizar el turno de noche y trabajar al día siguiente.
- Restricción 4 – *Corretornos*. Los patrones asociados a esta restricción deben cumplir las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 28 horas.
 - Horas máximas a la semana: 35 horas.
 - Realiza turnos de mañana, tarde y descanso.
 - Dispone, al menos, de dos turnos de descanso a la semana.
 - Los turnos de mañana y tarde se harán agrupados de dos en dos.
 - El turno de descanso también se agrupará de dos en dos, excepto en los extremos del patrón que podrán ir aislados.

De las restricciones expuestas cabe extraer las siguientes conclusiones.

- Se prefieren trabajadores con un turno fijo y con los descansos agrupados. Esta decisión se toma teniendo en cuenta no sólo el beneficio económico para la empresa, sino también el beneficio que supone la satisfacción

del trabajador cuando tiene una regularidad en los turnos de trabajo.

- Aparece la figura del correturnos para tratar de paliar posibles carencias en la planificación. Este trabajador no tiene una regularidad en sus horarios, pero su existencia es necesaria para lograr que el resto sí la tenga.

Patrones válidos.

Con el conjunto de restricciones descrito, se genera un conjunto de patrones asociados a cada una de ellas. A continuación se muestra unas tablas resumen de los patrones generados para cada restricción.

Para la Restricción 1 – Turno de mañana, se han generado 6 patrones válidos para las características impuestas, que se muestran en la siguiente tabla.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Patrón 2	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana
Patrón 3	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Patrón 4	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana
Patrón 5	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana
Patrón 6	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana

Tabla 5-10. Patrones generados para la Restricción 1 – Turno fijo de Mañana.

Para la Restricción 2 – Turno de tarde, se han generado de forma similar otros 6 patrones válidos, que se exponen en la Tabla 5-11.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso
Patrón 2	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde
Patrón 3	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde
Patrón 4	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde
Patrón 5	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde
Patrón 6	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde

Tabla 5-11. Patrones generados para la Restricción 2 - Turno fijo de Tarde.

Para la Restricción 3 – Turno de noche, se han generado 2 patrones que se ajusten a las características de las restricciones, los cuales se exponen en la siguiente tabla.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche
Patrón 2	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso

Tabla 5-12. Patrones generados para la Restricción 3 – Turno fijo de Noche.

Para la Restricción 4 – Correturnos, el sistema consigue 144 patrones válidos. Por cuestión de espacio, se muestran sólo los más significativos a la hora de confeccionar las asignaciones óptimas a trabajadores.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Patrón 2	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Tarde
Patrón 3	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Tarde	Mañana

Patrón 4	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde
Patrón 5	Mañana	Mañana	Tarde	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Patrón 6	Mañana	Mañana	Tarde	Descanso	Descanso	Mañana	Tarde

Tabla 5-13. Patrones generados para la Restricción 4 – Corretornos.

Tiempo de generación de patrones.

La siguiente tabla recoge los datos del número de patrones generados y el tiempo empleado en ello.

El tiempo empleado se puede comprobar que es similar al de la prueba de validación. Esto es debido a que el número de nodos y el tamaño del árbol combinatorio es el mismo, por lo que, aunque varíen las restricciones, el tiempo de generación de patrones no cambia de forma significativa.

Restricción	Número de turnos	Longitud del patrón	Tamaño del árbol combinatorio	Tiempo de generación
Restricción 1	4	7	16384	<1 seg.
Restricción 2	4	7	16384	<1 seg.
Restricción 3	4	7	16384	<1 seg.
Restricción 4	4	7	16384	4 seg.

Tabla 5-14. Datos de tiempo de generación de patrones para la planificación semanal del sistema.

El tiempo empleado para la generación de patrones válidos en la Restricción 3, es mayor que para el resto. Es la restricción que modela al trabajador Corretornos, que tiene unas condiciones menos restrictivas, generando, por lo tanto, un mayor número de patrones válidos.

Asignación óptima de patrones.

Trabajadores.

La plantilla con la que se cuenta para la prueba de validación del sistema es de 15 trabajadores, asociados a las distintas restricciones según la Tabla 5-15.

Restricción	Restricción 1	Restricción 2	Restricción 3	Restricción 4
Plantilla	5 trabajadores	4 trabajadores	6 trabajadores	1 trabajador

Tabla 5-15. Asociación de trabajadores a restricciones.

Necesidades.

Las necesidades de personal se anotan en la matriz de necesidades, que se muestra en la tabla. Estas necesidades se corresponden con las de una planta de hospital de tamaño mediano, que disminuye su actividad durante el turno de noche. Para este test, la matriz de necesidades queda como sigue.

Turnos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mañana	4	4	4	4	4	4	4
Tarde	3	3	3	3	3	3	3
Noche	3	3	3	3	3	3	3
Descanso	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5-16. Matriz de necesidades para la planificación semanal del sistema.

Cabe resaltar que cada uno de los elementos de la matriz de necesidades indica una cota mínima en los turnos a cubrir a la hora de realizar la asignación de patrones. Esto significa, por

ejemplo, que, al menos, habrá tres trabajadores en turno de mañana el día 1. Si en la solución óptima hay más, no importa, pues es la solución de menor coste y este exceso de personal viene impuesto por la estructura de los patrones. Además, también hay que señalar el hecho de que los turnos de descanso tengan un valor nulo. Tenerlos a cero deja mayor grado de libertad a la hora de hacer la asignación de patrones, pues permite un exceso de trabajadores en otros turnos.

Planificaciones válidas.

Partiendo de los patrones, la plantilla existente y las necesidades de personal genera las planificaciones válidas. Encuentra todas las planificaciones de mínimo coste que satisfacen las necesidades impuestas, como se muestra a continuación.

- Número de planificaciones encontradas: 72.000 planificaciones.
- Coste de la planificación: 560 u.m.

Una de las 3600 planificaciones obtenidas es la que se muestra a continuación.

Para la Restricción 0 se generan los siguientes patrones.

Trabajador	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mañana 1	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Mañana 2	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Mañana 3	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Mañana 4	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Mañana 5	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana
Corretornos	Descanso	Tarde	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana
Tarde 1	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso
Tarde 2	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde
Tarde 3	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde
Tarde 4	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde
Noche 1	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche
Noche 2	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche
Noche 3	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche
Noche 4	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso
Noche 5	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso
Noche 6	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso

Tabla 5-17. Muestra de una planificación de coste óptimo para la planificación semanal del sistema.

Tiempo de la asignación óptima de patrones.

La obtención de las planificaciones óptimas emplea un tiempo de computación que depende del árbol combinatorio que se genere. Este árbol lo forman los sub-árboles que producen los patrones generados para cada una de las restricciones. En la Tabla 5-18 se muestran las características de los sub-árboles que generan cada una de las restricciones.

Restricción	Número de patrones	Número de trabajadores	Tamaño del sub-árbol.
Restricción 0 Turno Mañana	6	5	7776
Restricción 1 Turno Tarde	6	4	1296
Restricción 2 Turno Noche	2	6	64
Restricción 3 Corretornos	144	1	144

Tabla 5-18. Sub-árboles combinatorios generados para cada restricción.

Estos datos ayudan a comprender mejor el tiempo transcurrido en la asignación óptima de los patrones a los trabajadores. Los datos más significativos que caben reseñar son:

- Nodos del árbol combinatorio: 16 nodos (trabajadores).
- Tamaño total del árbol combinatorio: $92.876.046.336 \approx 92.876 \cdot 10^6$.
- Tiempo de asignación óptima de patrones: 7 horas, 05 minutos y 11 segundos.

Como se aprecia, el tiempo de asignación es elevado, sin embargo, la planificación obtenida es aplicable para todas las semanas en las que se mantengan los datos que dan lugar a esta asignación óptima de patrones.

Prueba real del sistema. Planificación quincenal.

Visto el correcto funcionamiento del sistema para una planificación semanal de la plantilla, se realiza una asignación óptima de turnos a empleados para un periodo de dos semanas. una asignación mensual de los turnos de forma óptima. De nuevo los datos empleados proceden de las planificaciones realizadas en una planta de tamaño medio de un hospital público.

Generación de patrones.

Horizonte temporal.

La asignación óptima de turnos a trabajadores se realiza para un horizonte temporal de catorce días.

Turnos.

Los turnos utilizados para la generación de la planificación óptima son los turnos de mañana, tarde, noche y descanso detallados en la Tabla 5-19.

Turno	Horario	Coste	Duración
Mañana	08:00 – 15:00	7 unidades	7 horas
Tarde	15:00 – 22:00	7 unidades	7 horas

Noche	22:00 – 08:00	10 unidades	10 horas
Descanso	00:00 – 00:00	0 unidades	0 horas

Tabla 5-19. Definición de turnos para la planificación mensual del sistema.

En la primera columna figuran los nombres de los turnos, a su lado el horario en el que se desarrollan, el coste en unidades monetarias y su duración en horas. Destaca el hecho de que el coste no esté expresado en una cantidad monetaria concreta, sino en unidades monetarias. Este coste incremental es el coste que cada uno de los turnos supone para la empresa sobre la base salarial fija que tiene un trabajador.

Restricciones laborales.

En la siguiente prueba de asignación mensual de patrones, se definen las restricciones para enmarcar de forma apropiada a los trabajadores de la plantilla en cada una de ellas.

- Restricción 1 – *Turno fijo de Mañana-1*. Los patrones asociados a esta restricción cumplen las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 35 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Realiza los turnos de mañana y descanso.
 - Los turnos de mañana y descanso de los que un trabajador dispone se agrupan, al menos, de dos turnos.
 - El trabajador descansa el primer fin de semana de la planificación.
- Restricción 2 – *Turno fijo de Mañana-2*. Los patrones que esta restricción genera, están sujetos a estas condiciones.
 - Horas mínimas a la semana: 35 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Realiza los turnos de mañana y descanso.
 - Los turnos de mañana y descanso de los que un trabajador dispone se agrupan, al menos, de dos turnos.
 - El trabajador descansa el segundo fin de semana de la planificación.
- Restricción 3 – *Turno fijo de Mañana-3*. Los patrones que esta restricción genera, están sujetos a estas condiciones.
 - Horas mínimas a la semana: 35 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Realiza los turnos de mañana y descanso.
 - Los turnos de mañana y descanso de los que un trabajador dispone se agrupan, al menos, de dos turnos.
 - El trabajador no dispone de ningún fin de semana libre dentro de la planificación.
- Restricción 4 – *Turno fijo de Tarde-1*. Los patrones generados a partir de esta restricción siguen las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 35 horas.

- Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Desempeña los turnos de tarde y descanso.
 - Los turnos de tarde y descanso están asociados, al menos, de dos en dos.
 - Los patrones generados disponen del primer fin de semana libre.
- Restricción 5 – *Turno fijo de Tarde-2*. Los patrones generados a partir de esta restricción siguen las siguientes características.
 - Horas mínimas a la semana: 35 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Desempeña los turnos de tarde y descanso.
 - Los turnos de tarde y descanso se agrupan a lo largo de la planificación, al menos, de dos en dos.
 - Los patrones generados cuentan con descanso el segundo fin de semana de la planificación.
- Restricción 6 – *Turno fijo de Noche*. Los patrones asociados a esta restricción respetan los siguientes requerimientos.
 - Horas mínimas a la semana: 30 horas.
 - Horas máximas a la semana: 40 horas.
 - Realiza los turnos de noche y descanso.
 - Tiene derecho a un mínimo de tres descansos a la semana.
 - No puede realizar el turno de noche y trabajar al día siguiente.
- Restricción 7 – *Corretornos*. Los patrones producidos siguiendo esta restricción, contemplan los siguientes requisitos.
 - Horas mínimas a la semana: 21 horas.
 - Horas máximas a la semana: 28 horas.
 - Realiza los turnos de mañana, tarde y descanso.
 - Tiene derecho a un mínimo de tres descansos a la semana.
 - Realiza los turnos agrupados en conjuntos de dos mañanas o dos tardes.

El corretornos es una figura existente para cubrir las posibles carencias que los trabajadores de turno fijo dejen en la planificación debido a la estructura de sus patrones asociados. Cada trabajador perteneciente a esta restricción trabaja un menor número de horas, combinando turnos distintos. Cabe pensar que el coste de los turnos para estos trabajadores no puede ser el mismo que para los demás, pues están sometidos a peores horarios. Sin embargo, dado que el coste de los turnos tiene un carácter incremental, se deja libre compensar este hecho personalizando el sueldo base.

Patrones válidos.

A partir de las restricciones anteriormente descritas, se componen un conjunto de patrones asociados a cada una de las restricciones. Las siguientes tablas dan una muestra de los patrones generados para cada restricción.

Para la Restricción 1 – *Turno fijo de Mañana-1*, se han generado 3 patrones de acuerdo con las características impuestas, que pueden ser vistos en las siguientes tablas.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Patrón 2	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Patrón 3	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso

Tabla 5-20. Patrones seleccionados para la Restricción 1 – *Turno fijo de Mañana-1*. Semana 1.

Patrones	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Patrón 1	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Patrón 2	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana
Patrón 3	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana

Tabla 5-21. Patrones seleccionados para la Restricción 1 – *Turno fijo de Mañana-1*. Semana 2.

Se observa que los patrones generados cumplen las restricciones impuestas, trabajan las horas indicadas, descansan el primer fin de semana y agrupan los turnos de mañana en parejas.

De igual manera, utilizando la Restricción 2 – *Turno fijo de Mañana-2*, se han generado otros 3 patrones conforme a las restricciones particulares del caso (Tabla 5-22 y Tabla 5-23).

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Patrón 2	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana
Patrón 3	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana

Tabla 5-22. Patrones seleccionados para la Restricción 2 – *Turno fijo de Mañana-2*. Semana 1.

Patrones	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Patrón 1	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Patrón 2	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso
Patrón 3	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso

Tabla 5-23. Patrones seleccionados para la Restricción 2 – *Turno fijo de Mañana-2*. Semana 2.

De nuevo se observa que se cumplen los requisitos impuestos en la Restricción 2. Los trabajadores con estos patrones asociados tendrán el segundo fin de semana libre y trabajarán con los turnos de mañana y descanso asociados, al menos de dos en dos.

Para la tercera restricción, Restricción 3 – *Turno fijo de Mañana-3*, se obtienen 12 patrones, de los que se muestran 3 de ellos en las siguientes tablas.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana
Patrón 2	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana
Patrón 3	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana

Tabla 5-24. Patrones seleccionados para la Restricción 3 – *Turno fijo de Mañana-3*. Semana 1.

Patrones	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Patrón 1	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana
Patrón 2	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana
Patrón 3	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana

Tabla 5-25. Patrones seleccionados para la Restricción 3 – *Turno fijo de Mañana-3*. Semana 2.

Se observa que los trabajadores asociados a esta restricción no descansan los fines de semana y agrupan sus turnos de mañana o descanso, al menos, de dos en dos.

Para la Restricción 4 – *Turno fijo de Tarde-1*, se han generado 3 patrones válidos que se exponen a continuación.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso
Patrón 2	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso
Patrón 3	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso

Tabla 5-26. Patrones seleccionados para la Restricción 4 – *Turno fijo de Tarde-1*. Semana 1.

Patrones	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Patrón 1	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde
Patrón 2	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde
Patrón 3	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde

Tabla 5-27. Patrones seleccionados para la Restricción 4 – *Turno fijo de Tarde-1*. Semana 2.

Se comprueba que se cumplen las condiciones indicadas para esta restricción y se descansa el primer fin de semana de la planificación así como se agrupan los turnos de tarde y descanso, al menos, de dos en dos.

De forma análoga a la anterior restricción, para la Restricción 5 – *Turno fijo de Tarde-2*, también se ha conseguido generar 3 patrones válidos (Tabla 5-28 y Tabla 5-29).

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde
Patrón 2	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde
Patrón 3	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde

Tabla 5-28. Patrones generados para la Restricción 5 – *Turno fijo de Tarde-2*. Semana 1.

Patrones	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Patrón 1	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso
Patrón 2	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso
Patrón 3	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso

Tabla 5-29. Patrones generados para la Restricción 5 – *Turno fijo de Tarde-2*. Semana 2.

De nuevo los valores impuestos en la restricción se cumplen totalmente: se descansa el segundo fin de semana de la planificación y los turnos se agrupan, al menos, de dos en dos.

La Restricción 6 – *Turno fijo de Noche*, genera únicamente 2 patrones posibles ajustados a las restricciones y al horizonte temporal de 14 días. A continuación se muestran éstos.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche
Patrón 2	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso

Tabla 5-30. Patrones generados para la Restricción 6 – Turno de noche. Semana 1.

Patrones	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Patrón 1	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso

Patrón 2	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche	Descanso	Noche
----------	-------	----------	-------	----------	-------	----------	-------

Tabla 5-31. Patrones generados para la Restricción 6 – Turno de noche. Semana 2.

En este caso, las restricciones descritas sólo permiten patrones que dan la alternancia de los turnos noche y descanso un día tras otro.

Para terminar con la descripción de los patrones generados para cada una de las restricciones, faltan los patrones generados para la Restricción 7 – *Corretornos*. Para esta restricción el sistema consigue 168 patrones, de los cuales se exponen 3 de ellos a modo de muestra en la Tabla 5-32 y la Tabla 5-33.

Patrones	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Patrón 1	Descanso	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Tarde	Tarde
Patrón 2	Descanso	Descanso	Descanso	Descanso	Tarde	Mañana	Mañana
Patrón 3	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde

Tabla 5-32. Patrones seleccionados para la Restricción 7 – *Corretornos*. Semana 1.

Patrones	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Patrón 1	Descanso	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Tarde	Tarde
Patrón 2	Descanso	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Mañana	Mañana
Patrón 3	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde

Tabla 5-33. Patrones seleccionados para la Restricción 7 – *Corretornos*. Semana 2.

Tiempo de generación de patrones.

La siguiente tabla recoge los valores correspondientes al número de patrones generados para cada restricción y el tiempo empleado en ello.

Restricción	Número de turnos	Longitud del patrón	Tamaño del árbol combinatorio	Tiempo de generación
Restricción 1	4	14	$264,4 \cdot 10^6$	15 ms.
Restricción 2	4	14	$264,4 \cdot 10^6$	15 ms.
Restricción 3	4	14	$264,4 \cdot 10^6$	15 ms.
Restricción 4	4	14	$264,4 \cdot 10^6$	15 ms.
Restricción 5	4	14	$264,4 \cdot 10^6$	15 ms.
Restricción 6	4	14	$264,4 \cdot 10^6$	15 ms.
Restricción 7	4	14	$264,4 \cdot 10^6$	268 ms.

Tabla 5-34. Datos de tiempo de generación de patrones para la planificación quincenal del sistema.

Observando los resultados de los tiempos de generación se aprecia que éste no depende tanto del tamaño del árbol a explorar como de lo fuertes que sean las restricciones que acotan el espacio de soluciones y el número de soluciones encontradas. Se puede ver que esto sucede en el caso de la Restricción 7, que, pese a tener un árbol combinatorio igual al del resto de restricciones, emplea un mayor tiempo en encontrar las soluciones.

Asignación óptima de patrones.

Trabajadores.

La plantilla disponible para la realización de esta prueba, varía respecto a la empleada en las anteriores. En este caso, para satisfacer las necesidades de la empresa se dispone del siguiente número de empleados asociado a cada restricción.

En la siguiente prueba de asignación mensual de patrones, se definen las restricciones para enmarcar de forma apropiada a los trabajadores de la plantilla en cada una de ellas.

- Restricción 1 – *Turno fijo de Mañana-1*. Cuenta con dos trabajadores para cubrir las necesidades de este turno.

- Restricción 2 – *Turno fijo de Mañana-2*. La plantilla disponible para este turno es de dos trabajadores.
- Restricción 3 – *Turno fijo de Mañana-3*. Tiene asociado un solo trabajador que se encarga de paliar las deficiencias de personal en turno de mañana producida porque los patrones de las restricciones anteriores libran en un fin de semana.
- Restricción 4 – *Turno fijo de Tarde-1*. Asociados a esta restricción hay dos trabajadores.
- Restricción 5 – *Turno fijo de Tarde-2*. La plantilla existente que pertenece a esta restricción es de dos trabajadores.
- Restricción 6 – *Turno fijo de Noche*. Dispone de seis trabajadores asociados a esta restricción para cubrir las necesidades de personal que se planteen en el turno de noche.
- Restricción 7 – *Corretornos*. Existen dos trabajadores de corretornos que se encargarán de cubrir las faltas de personal en los turnos de mañana y tarde.

Las características del personal disponible para realizar la planificación del sistema, queda resumida en la siguiente tabla.

Rest-1	Rest-2	Rest-3	Rest-4	Rest-5	Rest-6	Rest-7
M-1	M-2	M-3	T-1	T-2	N-1	CT
2 trab	2 trab	1 trab	2 trab	2 trab	6 trab	2 trab

Tabla 5-35. Asociación de trabajadores a restricciones para la planificación quincenal.

Necesidades.

Las necesidades de trabajadores en cada puesto y día de la planificación se reflejan en la matriz de necesidades (Tabla 5-36 y Tabla 5-38). Estas necesidades se corresponden con las de una planta de hospital de tamaño mediano, que aumenta su actividad durante el turno de mañana.

Turnos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mañana	4	4	4	4	4	4	4
Tarde	3	3	3	3	3	3	3
Noche	3	3	3	3	3	3	3
Descanso	3	3	3	7	7	7	7

Tabla 5-36. Matriz de necesidades para la planificación quincenal del sistema. Semana 1.

Turnos	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
Mañana	4	4	4	4	4	4	4
Tarde	3	3	3	3	3	3	3
Noche	3	3	3	3	3	3	3
Descanso	3	3	3	7	7	7	7

Tabla 5-37. Matriz de necesidades para la planificación quincenal del sistema. Semana 2.

Es importante reseñar de nuevo que los valores indicados en la matriz reflejan una cota mínima del personal a cubrir en la planificación. A partir de estas necesidades, cuando se desarrolle el árbol combinatorio, se comprobará a cada nodo si la planificación en proyecto puede llegar a cubrir las necesidades. Es por esto, que cuanto más se ajusten los requerimientos de personal al número máximo de trabajadores disponibles en cada turno, más fuertes sean las condiciones de satisfacción del problema y más rápido se logre la solución.

Destaca el hecho de que se ajustan al máximo las restricciones de los turnos desde el día 11

al día 14, definiéndose los turnos para el total de la plantilla. De esta forma, restringe al máximo el espacio de soluciones, aumentando la velocidad a la hora de encontrar las planificaciones óptimas.

Planificaciones válidas.

Con los datos obtenidos de generación de patrones asociados a cada restricción, la plantilla existentes y las necesidades de trabajadores para cada uno de los turnos, se realiza la búsqueda de la planificación óptima que satisfaga todas las restricciones. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

- Número total de planificaciones encontradas: 4.021.920 planificaciones.
- Coste de la planificación: 1.162 u.m.

La planificación mostrada en la siguiente página (Tabla 5-38), ilustra una solución concreta de entre todas las generadas.

Como conclusiones a la hora de mejorar la planificación encontrada, cabe reseñar que la función desempeñada por los correturnos 1 y 2 bien podrían ser desempeñadas por dos trabajadores de turno fijo, uno de mañana y uno de tarde, que no descansen los fines de semana. Esta decisión escapa a las pretensiones del sistema y ha de realizarlas el propio usuario, que valorará, según el caso particular, la conveniencia de añadir un nuevo conjunto de restricciones, desplazar a los trabajadores entre los conjuntos actuales ó contratar un nuevo empleado.

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13
Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana
Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana
Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Descanso						
Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Descanso						
Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Mañana	Mañana
Descanso	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Descanso	Mañana	Mañana	Tarde
Descanso	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Mañana	Mañana	Descanso	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Mañana
Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde
Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde
Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Descanso						
Tarde	Tarde	Tarde	Descanso	Descanso	Tarde	Descanso						
Noche	Descanso	Noche										
Noche	Descanso	Noche										
Noche	Descanso	Noche										
Descanso	Noche	Descanso										
Descanso	Noche	Descanso										
Descanso	Noche	Descanso										

Tabla 5-38. Planificación de coste óptimo para el análisis quincenal del sistema.

Tiempo de la asignación óptima de patrones.

Como queda indicado en anteriores asignaciones, la obtención de las planificaciones óptimas emplea un tiempo de computación variable que depende del tamaño del árbol combinatorio explorado. Para ver la contribución de cada una de las restricciones y los trabajadores al tamaño total del árbol a explorar. Este árbol lo forman los sub-árboles que producen los patrones generados para cada una de las restricciones. En la Tabla 5-18 se muestran las características de los sub-árboles que generan cada una de las restricciones.

Restricción	Número de patrones	Número de trabajadores	Tamaño del sub-árbol.
Restricción 1	3	2	9

Mañana 1			
Restricción 2 Mañana 2	3	2	9
Restricción 3 Mañana 3	12	1	12
Restricción 4 Tarde 1	3	2	9
Restricción 5 Tarde 2	3	2	9
Restricción 6 Noche	2	6	64
Restricción 7 Corretornos	168	2	28224

Tabla 5-39. Sub-árboles combinatorios generados para cada restricción.

El árbol combinatorio resultante del número de patrones y trabajadores para la planificación quincenal tiene las siguientes características. Estos datos ayudan a comprender mejor el tiempo transcurrido en la asignación óptima de los patrones a los trabajadores. Los datos más significativos que caben reseñar son:

- Nodos del árbol combinatorio: 17 nodos (trabajadores).
- Tamaño total del árbol combinatorio: $142.216.445.952 \approx 142.216 \cdot 10^6$.

Ante esta situación de un árbol combinatorio con un espacio de soluciones tan elevado y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la planificación quincenal, se busca otra forma de realizar la simulación sin tener que recurrir a un tiempo de simulación tan elevado como en el caso anterior.

Dado que los turnos de noche se tratan de forma independiente en las restricciones, se ha optado por explorar el árbol combinatorio al que dan lugar por separado del resto de restricciones. Con esta división se reduce el espacio de soluciones, reduciendo el tiempo de búsqueda.

Los datos relativos a la primera agrupación de restricciones son los siguientes.

Restricción	Número de patrones	Número de trabajadores	Tamaño del sub-árbol.
Restricción 1 Mañana 1	3	2	9
Restricción 2 Mañana 2	3	2	9
Restricción 3 Mañana 3	12	1	12
Restricción 4 Tarde 1	3	2	9
Restricción 5 Tarde 2	3	2	9
Restricción 6 Corretornos	168	2	28224

Tabla 5-40. Sub-árboles combinatorios generados para cada restricción.

El árbol combinatorio resultante del número de patrones y trabajadores para la planificación quincenal tiene las siguientes características. Estos datos ayudan a comprender mejor el tiempo transcurrido en la asignación óptima de los patrones a los trabajadores. Los datos más significativos que caben reseñar son:

- Nodos del árbol combinatorio: 11 nodos (trabajadores).
- Tamaño total del árbol combinatorio: $2.222.131.968 \approx 2.222 \cdot 10^6$.
- Tiempo en generar planillas válidas: 2 horas, 5 minutos y 47 segundos.
- Número de planillas válidas generadas: 201.096 planillas.
- Coste óptimo de la planilla: 742 u.m.

Para el tratamiento aparte que se realiza de la restricción asociada al turno de noche se tienen los siguientes resultados.

Restricción	Número de patrones	Número de trabajadores	Tamaño del sub-árbol.
Restricción 6 Noche	2	6	64

Tabla 5-41. Sub-árboles combinatorios generados para cada restricción.

El árbol combinatorio resultante del número de patrones y trabajadores para la planificación quincenal tiene las siguientes características. Estos datos ayudan a comprender mejor el tiempo transcurrido en la asignación óptima de los patrones a los trabajadores. Los datos más significativos que caben reseñar son:

- Nodos del árbol combinatorio: 6 nodos (trabajadores).
- Tamaño total del árbol combinatorio: 64 combinaciones.
- Tiempo en generar planillas válidas: 2 segundos.
- Número de planillas válidas generadas: 20 planillas.
- Coste óptimo de la planilla: 420 u.m.

Con lo que en total, uniendo los resultados para cada uno de los grupos, se tienen los siguientes datos.

- Nodos del árbol combinatorio: 17 nodos (trabajadores).
- Tamaño total del árbol combinatorio: $142.216.445.952 \approx 142.216 \cdot 10^6$.
- Tiempo en generar planillas válidas: 2 horas, 5 minutos y 49 segundos.
- Número de planillas válidas generadas: 4.021.920 planificaciones.
- Coste óptimo de la planilla: 1.162 u.m.

Donde se puede ver que los datos resultantes son suma de los obtenidos para cada uno de los subconjuntos en los que se ha dividido la solución del problema.