

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS Y COMPUTACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

MÁSTER EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL, RECONOCIMIENTO DE
FORMAS E IMAGEN DIGITAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Aplicación de técnicas metaheurísticas para
la asignación de turnos de trabajo

Trabajo Final de Máster - Curso 2014-2015

Tutor: D. Federico Barber Sanchis

Autora: D^a. Ana Virginia Ruescas Nicolau

INDICE GENERAL

1. Introducción	1
2. Métodos de resolución de problemas de optimización combinatoria mediante técnicas metaheurísticas.....	3
2.1. Búsqueda heurística.....	4
2.1.1. Tipos y criterios de diseño de heurísticas.....	5
2.1.2. Estrategias de búsqueda heurística	5
2.1.3. Métodos de búsqueda heurística	6
2.2. Búsqueda metaheurística	7
2.2.1. Métodos metaheurísticos.....	7
2.3. Problemas de optimización combinatoria. Ejemplos clásicos	9
2.3.1. Problema de asignación de turnos de enfermería	10
2.3.2. Problema de programación de tripulaciones	11
3. Análisis del problema de asignación de turnos	13
3.1. Tipología de los datos	14
3.2. Restricciones de asignación	15
3.3. Criterios de optimización	16
3.4. Adaptabilidad de la demanda vs. disponibilidad	18
4. Análisis de sistemas de planificación de personal	19
5. Diseño y desarrollo del método de resolución del problema de asignación de turnos	23
5.1. Esquema general del diseño. Identificación de problemas y subproblemas ..	23
5.2. Problema y subproblemas. Desarrollo y especificaciones del método metaheurístico empleado	26
5.2.1. Problema de asignación de turnos anual	27

5.2.2.	Subproblema de asignación de turnos mensual	28
5.2.3.	Subproblema de asignación de turnos semanal	29
5.2.4.	Subproblema de asignación de turnos diaria	30
5.2.5.	Reglas de transición aplicadas	31
5.3.	Heurísticas aplicadas en la construcción de las soluciones en los subproblemas de asignación de turnos.....	34
5.3.1.	Heurísticas para el equilibrado de turnos	34
5.3.2.	Heurísticas para el equilibrado de días libres en fin de semana	36
5.3.3.	Discusión sobre las optimalidad de las soluciones.....	40
5.4.	Mejora y factibilidad de las soluciones	42
5.4.1.	Mejora de la solución del subproblema de asignación de turnos mensual 42	
5.4.2.	Factibilidad de la solución del problema de asignación de turnos anual.	43
5.5.	Criterios de optimalidad. Evaluación de las soluciones	43
6.	Implementación del método de resolución del problema de asignación de turnos	47
6.1.	Parámetros y datos	51
6.1.1.	Datos generales	51
6.1.2.	Datos asociados a restricciones.....	53
6.1.3.	Datos asociados a los criterios de optimización	57
6.1.4.	Datos de configuración del proceso	58
6.2.	Condiciones previas	59
6.3.	Consideraciones adicionales	60
6.4.	Replanificación	60
7.	Evaluación del método de resolución del problema de asignación de turnos	63
7.1.	Experimentos realizados	63

7.1.1.	Evaluación del problema para diferentes objetivos de optimalidad (%)..	69
7.1.2.	Evaluación del problema con asignaciones preestablecidas y sin ellas ...	71
7.1.3.	Evaluación del problema en función de la disponibilidad de turnos de los trabajadores.....	73
7.1.4.	Evaluación del problema para diferentes tamaños de plantilla	75
7.1.5.	Evaluación del problema para diferentes valores de los coeficientes de la función de evaluación.....	77
7.2.	Evaluación del problema de asignación de turnos anual con el método diseñado vs. asignación manual	79
7.3.	Discusión	81
8.	Conclusiones generales	83
9.	Bibliografía	85
ANEXO I.	Cálculo de los fines de semana libres a partir de la demanda	87
ANEXO II.	Cálculo de los límites óptimos de asignación fines de semana libres y días libres en fin de semana.....	89
ANEXO III.	Cálculo de las desviaciones típicas empleadas en las funciones de evaluación.....	93
ANEXO IV.	Asignación obtenida con el método de resolución diseñado	97

1. Introducción

En este documento se presenta el Trabajo Final de Máster desarrollado para la resolución de problemas de asignación de turnos de mañana, tarde y noche en un año para toda una plantilla de trabajadores mediante la aplicación de técnicas metaheurísticas.

La resolución de este tipo de problemas ha experimentado en los últimos años una creciente importancia puesto que las organizaciones deben satisfacer la demanda de sus clientes de manera rentable, al tiempo que satisfacen otros requisitos tales como acuerdos laborales flexibles, la equidad en la asignación de turnos entre trabajadores, las preferencias del personal o el trabajo a tiempo parcial (Ernst, Jiang, Krishnamoorthy, & Sier, 2004).

Este tipo de problemas se enmarcan dentro de la optimización combinatoria cuya complejidad es exponencial en función del número de restricciones a satisfacer, el número de trabajadores en plantilla, el horizonte temporal en que realizar la asignación y la cantidad de tipos de turno existentes. Por ello, resulta extremadamente complicado encontrar buenas soluciones a este tipo de problemas, pero aún resulta mucho más costoso encontrar soluciones óptimas que minimicen los costes o distribuyan las cargas de trabajo de manera equilibrada, respetando las preferencias o características específicas de cada trabajador y afrontando de manera eficiente situaciones excepcionales.

Tradicionalmente, el personal encargado de la planificación del trabajo de la plantilla realiza esta actividad de modo manual, invirtiendo una gran cantidad de esfuerzo y tiempo en el estudio y ajuste de soluciones aceptables. Además, esta manera de trabajar no garantiza la optimalidad de la solución e incurre en desajustes de equilibrios y falta de uniformidad en la aplicación de criterios entre el personal o los distintos centros de trabajo, entre otros aspectos. Por este motivo, se ha venido demandando en los últimos tiempos la aplicación de sistemas centralizados de asignación de turnos en todos los centros de la empresa, favoreciendo la aparición en el mercado en una amplia variedad de sistemas comerciales que abordan la resolución de este tipo de problemas.

Este trabajo tiene orientación profesional y pretende ampliar el campo de técnicas informáticas inteligentes para la resolución de problemas reales, cumpliendo los objetivos de:

- Contrastar la aplicabilidad de las técnicas informáticas inteligentes.
- Adquirir la capacidad y experiencia en la resolución de esta tipología de problemas de claro componente profesional y aplicado.

Para ello, se abordan tres aspectos fundamentales:

- El análisis del problema.
- El diseño del método de resolución.
- La evaluación del sistema desarrollado a escenarios concretos.

En esta memoria, inicialmente se revisarán los métodos de resolución de problemas de optimización combinatoria mediante técnicas metaheurísticas.

Posteriormente, se analizará detalladamente el problema de asignación de turnos de mañana, tarde y noche en un año para toda una plantilla de trabajadores, y se estudiarán algunos sistemas de asignación de turnos existentes en el mercado.

Se describirá el diseño del método escogido para este trabajo y se explicará la implementación del mismo así como sus utilidades.

Después, se presentará una evaluación del método diseñado mediante la resolución de diferentes casos.

Por último, se realizará una discusión de los resultados obtenidos analizando las ventajas e inconvenientes encontradas y, en su caso, indicando las limitaciones del método y posibles ampliaciones o mejoras futuras.

2. Métodos de resolución de problemas de optimización combinatoria mediante técnicas metaheurísticas

Hay problemas en que no existe o no es viable un método algorítmico o exacto para obtener una solución, sino que ésta debe ser generada y mejorada mediante un proceso de búsqueda.

El proceso general de un sistema de resolución de problemas en inteligencia artificial, se modela generalmente como un proceso de búsqueda a través de un espacio de estados o soluciones.

A la hora de definir un problema es necesario:

- Definir una representación de posibles estados del problema.
- Determinar el estado inicial.
- Determinar explícitamente el estado final meta o las condiciones de un estado final meta.
- Definir las reglas de transición o movimiento que permiten transformar un estado del problema en otro.

El objetivo del proceso de búsqueda es encontrar la secuencia de reglas que, aplicadas a una descripción del problema, lo transformen en otras mediante un proceso de búsqueda en un espacio de estados. Éste último se refiere al conjunto de estados alcanzables a partir del estado inicial que surgen mediante la aplicación de las reglas de transición (Palma & Marín, 2008).

La búsqueda puede ser sin información o informada.

- Búsqueda sin información o ciega: busca la primera solución sin importar cuán óptima sea. No es capaz de encontrar una solución aceptable en caso de que no exista o sea demasiado costoso encontrar la solución óptima.
- Búsqueda informada o heurística: busca soluciones aceptables mediante el guiado eficiente del proceso de búsqueda. Reduce el espacio de búsqueda y es capaz de determinar su proximidad a una solución y la calidad de la misma utilizando conocimiento a priori.

Cada estrategia de búsqueda se caracteriza mediante los siguientes parámetros.

- Completitud: garantía de encontrar una solución si existe.
- Complejidad temporal: tiempo necesario para encontrar una solución.
- Complejidad espacial: memoria necesaria para realizar la búsqueda.
- Admisibilidad: garantía de encontrar la solución de la mayor calidad posible.

El caso particular que nos ocupa puede dar una enorme cantidad de soluciones viables (explosión combinatoria) pero no necesariamente de buena calidad. La complejidad NP-completa en problemas de factibilidad, resulta NP-dura en optimalidad, de modo que no se puede garantizar encontrar la solución óptima en un tiempo computacional razonable. Por ello, se necesitan procedimientos eficientes, heurísticos y metaheurísticos, para encontrar soluciones razonablemente buenas.

Como se comenta en el punto anterior, este tipo de problemas se enmarcan dentro de la optimización combinatoria. Los algoritmos de optimización combinatoria resuelven instancias del problema en cuestión (generalmente difíciles), explorando el espacio de soluciones (usualmente grande) para estas instancias. Para ello emplean la búsqueda informada, que aumenta la eficiencia del proceso reduciendo el tamaño efectivo del espacio de búsqueda a costa de sacrificar completitud. En muchas ocasiones los métodos de búsqueda empleados son algoritmos heurísticos y metaheurísticos.

En este punto, nos centraremos fundamentalmente en la categorización de estrategias y métodos de búsqueda informada heurísticos y metaheurísticos.

2.1. Búsqueda heurística

La búsqueda heurística implementa técnicas e ideas aplicadas a la resolución de problemas complejos que se espera obtengan una buena solución, aunque no sea la óptima, de un modo sencillo y rápido.

Se trata de métodos de resolución aproximados que generalmente son específicos para cada tipo de problema. Esta especificidad se debe a que el método de búsqueda aplica el conocimiento específico del problema, que en muchas ocasiones no es generalizable. Además, el conocimiento no es generado por un análisis formal, más bien es un conocimiento intuitivo, experimental, práctico o de experto.

2.1.1. Tipos y criterios de diseño de heurísticas

Las heurísticas se pueden estructurar en generales o dependientes del problema.

- Heurísticas generales: son más simples adaptables y robustas.
- Heurísticas dependientes del problema: diseñadas específicamente para cada problema, lo que las hace más eficientes pero dependen del tipo de problema y son difícilmente generalizables.

Algunas técnicas para el diseño de heurísticas se listan a continuación.

- Técnicas de relajación: la heurística persigue la relajación, flexibilización o disminución de las restricciones del problema. De este modo se obtiene otro problema que se resuelve con una complejidad menor que la del problema inicial. Es la técnica más comúnmente empleada.
- Técnicas inductivas: se pretende con ellas captar la información obtenida a partir de la generalización de versiones sencillas del problema.
- Técnicas de descomposición: estas heurísticas se diseñan para su aplicación en subproblemas más sencillos de resolver derivados de la descomposición del problema original.
- Técnicas de reducción: pretenden identificar las propiedades que cumplen mayoritariamente las buenas soluciones para introducirlas como restricciones del problema.
- Técnicas de abstracción: abstracción de estados distintos del problema.

2.1.2. Estrategias de búsqueda heurística

Se consideran dos estrategias o criterios para la determinación del siguiente estado de la búsqueda.

- Búsqueda local: en cada iteración del proceso de búsqueda, sólo se busca en el entorno del estado actual, que es el único que se mantiene en memoria. Por este motivo tiene la ventaja de emplear poca memoria (baja complejidad espacial) y es usualmente empleada para la generación o mejora de una solución. Por el contrario, tiene el inconveniente de poder quedar estancado en máximos locales generando soluciones de baja calidad. Además este tipo de búsqueda ni es completa ni es admisible.

- **Búsqueda global:** esta estrategia busca todas las alternativas posibles a partir del estado actual y las mantiene en memoria, lo que supone un gran inconveniente (gran complejidad espacial). Sin embargo, esta búsqueda proporciona resultados de mayor optimalidad que la búsqueda local, siendo ventajosa en este sentido. Se emplea en la generación de soluciones más en que los métodos de mejora y puede ser completa y admisible.

En cualquier caso, estos tipos de búsqueda resultan inadecuados para la aplicación de problemas complejos, que son la mayoría de los problemas reales que se pueden encontrar.

De ahí que surja el concepto de búsqueda metaheurística, que combina las ventajas de la búsqueda local con las ventajas de la búsqueda global, y que se presenta más adelante en “2.2 Búsqueda metaheurística”.

2.1.3. Métodos de búsqueda heurística

Se refieren a los procesos de búsqueda en el espacio de estados o soluciones para la obtención de buenas soluciones.

- **Métodos constructivos:** construyen paso a paso una solución. No requieren de una solución inicial, sino que en cada iteración del proceso de búsqueda en el espacio de estados, que puede ser local o global, se realiza una elección heurística del siguiente elemento de la solución. Suelen emplear una heurística $h(n)$ para estimar la bondad de cada estado o solución parcial. La ramificación es baja, lo que implica que las alternativas existentes para la elección heurística son reducidas. Esta característica los hace especialmente útiles en problemas de factibilidad, en los que la dificultad radica en obtener una solución.
- **Métodos de mejora:** a diferencia de los métodos constructivos, se requiere de una solución inicial. En cada iteración del proceso de búsqueda, que se realiza en el espacio de soluciones, se elige heurísticamente una nueva solución cercana a la actual que la mejore. El espacio de búsqueda es grande lo que implica una alta ramificación, por lo que es habitual emplear estrategias de búsqueda local. Para obtener un indicativo de la bondad de la solución, se emplea una función de evaluación de soluciones $f(n)$.

- Métodos evolutivos o poblacionales: requieren de un conjunto de soluciones denominadas población que se seleccionan, recombinan y modifican para obtener un nuevo conjunto de soluciones o nueva población. La mejora de las poblaciones se obtiene utilizando información implícita en la población previa. Como en los métodos de mejora, la calidad de las soluciones se obtiene mediante una función de evaluación $f(n)$.
- Métodos híbridos: combinan métodos constructivos, de mejora y evolutivos.

2.2. Búsqueda metaheurística

La idea básica de la metaheurística es la de mejorar la búsqueda local incorporando ideas de la búsqueda global, minimizando la probabilidad de quedarse el proceso de búsqueda atrapado en óptimos locales a través de la introducción de componentes de decisión estocásticos y métodos bio-inspirados.

2.2.1. Métodos metaheurísticos

Son métodos aproximados diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria en los que los métodos heurísticos clásicos no son efectivos.

Se sitúan conceptualmente por encima de los heurísticos y son procedimientos iterativos que modifican o modulan la decisión heurística subordinada durante el proceso de búsqueda para producir eficientemente soluciones de alta calidad. Estas características hacen que los métodos metaheurísticos:

- Utilicen poca memoria.
- Sean capaces de obtener respuestas iniciales rápidamente que continúan optimizándose.
- Mejoren la búsqueda local sin la complejidad espacial y temporal de la búsqueda global.
- Sean de fácil implementación.

La dificultad en este caso radica en el diseño de la heurística empleada y en el ajuste de los parámetros.

En este apartado se presenta una posible clasificación de las metaheurísticas, puesto que no hay una única.

-
- Metaheurísticas de relajación: emplean relajaciones del problema original con la finalidad de obtener soluciones más fácilmente y que puedan servir para resolver el problema original. El diseño de las heurísticas que emplean es por relación de restricciones o de la función objetivo.
 - Metaheurísticas constructivas: permiten ir construyendo iterativamente la solución en un espacio de estados, que son soluciones parciales, a base de incorporar elementos de la misma. Emplean criterios heurísticos para seleccionar los componentes de la buena solución. Un ejemplo de ellas es la Greedy Randomized Adaptive Search Procedure en su primer a fase (GRASP).
 - Metaheurísticas evolutivas o poblacionales: parte de un conjunto de soluciones que van mejorando a medida que evolucionan y se reconstruyen o recombinan. La estrategia heurística consiste en generar, seleccionar, combinar y reemplazar un conjunto de soluciones. Los algoritmos genéticos, meméticos y la búsqueda dispersa forman parte de este grupo.
 - Metaheurísticas de mejora: requieren de una solución existente de partida que se intenta mejorar. Durante la búsqueda, se recorre un espacio de soluciones transformando iterativamente la solución de partida. La idea que subyace es la de mejorar iterativamente la solución actual mediante búsqueda local incorporando una estrategia de búsqueda global para escapar de óptimos locales de baja calidad. Algunas de ellas son las metaheurísticas de arranque múltiple (backjumping), de entorno variable (búsqueda tabú y búsqueda en haz) y de búsqueda no monótona (simulated annealing).
 - Metaheurísticas de enjambre: se inspiran en el comportamiento de sociedades de hormigas, pájaros o peces y pueden clasificarse también como metaheurísticas de mejora. Se basa en una población de agentes individuales, auto-organizados y sin control centralizado. Los individuos interactúan entre sí y con el entorno, de forma localizada y siguiendo reglas muy simples. Hay un cierto seguimiento al líder, a los exploradores o a la costumbre social que induce una cierta inteligencia colectiva. La respuesta como colectivo es robusta, flexible y adaptativa con respecto a los cambios en el entorno. Las principales variantes de este método son los algoritmos de las hormigas, de colonia de abejas, la bandada de pájaros y los bancos de peces.

- Metaheurísticas híbridas: se realiza la búsqueda de la solución en un espacio de estados añadiendo iterativamente elementos a la solución. En cada iteración, siempre se da una fase de construcción (búsqueda mediante una heurística constructiva) y otra de mejora de la solución (mediante algoritmos de búsqueda local). De entre ellas, destaca la Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP).

2.3. Problemas de optimización combinatoria. Ejemplos clásicos

El proceso de resolución de un problema de optimización requiere de, a partir de un problema real, la obtención un modelo que posibilite la resolución del mismo.



Figura 1. Proceso de resolución de un problema de optimización

El modelo contempla fundamentalmente:

- La formulación matemática del problema o del sistema real.
- Elementos:
 - Variables: elementos que adoptan un valor, de entre las alternativas existentes, en la solución.
 - Restricciones entre variables (ecuaciones e inecuaciones).
 - Función objetivo: proporciona una evaluación cuantitativa de la solución.

La solución es el resultado de la asignación de valor a las variables que cumplan con todas las restricciones, para que sea una solución válida o factible, y a la vez optimice lo máximo posible la función objetivo.

En los problemas de optimización combinatoria, los posibles valores que puede adoptar una variable son discretos. Esto supone que el aumento del número de variables y/o del número de posibles valores que puede tomar redunde en un aumento de la complejidad del problema.

Los métodos de optimización más comunes para la resolución de este tipo de problemas son matemáticos, en particular la programación entera-mixta, y aproximados. Éstos últimos emplean la búsqueda heurística y metaheurística y se han presentado en esta memoria anteriormente.

Son varios los problemas de optimización combinatoria que han estudiado tiempo atrás. Aunque el tipo de área de los métodos de resolución de problemas de optimización combinatoria es generalista, los problemas clásicos de los que se habla corresponden a generalizaciones de problemas más realistas y de escenarios particulares. Muchos de ellos se refieren a la asignación y planificación de turnos de trabajo.

Por su similitud con este trabajo, se van a presentar brevemente los más significativos para la comunidad científica.

2.3.1. Problema de asignación de turnos de enfermería

El problema de programación de turnos de enfermería o Nurse Scheduling Problem (NSP), es un problema típico de la investigación operativa que consiste en la asignación de turnos y festivos a cada enfermera de una manera óptima. Se ha estudiado desde antes de 1969 y se conoce que es NP-duro.

Generalmente, las soluciones válidas de la asignación deben satisfacer una serie de restricciones imprescindibles. Otro conjunto de restricciones más suaves son las que definen la calidad relativa de soluciones válidas.

Cada enfermera tiene sus propias preferencias y restricciones, al igual que el hospital. El problema reside en cómo establecer la asignación de turnos en el horario que respete tanto las limitaciones de las enfermeras como cumpla con los objetivos del hospital.

Convencionalmente un profesional de enfermería puede trabajar tres tipos de turno diferentes: turno de mañana, de tarde o de noche. La asignación de ellos no es arbitraria, y debe satisfacer restricciones como, por ejemplo, las que se indican a continuación.

- Una enfermera no puede trabajar el turno de mañana, de tarde y de noche en el mismo día.
- Una enfermera de vacaciones no puede trabajar durante este tiempo.
- Una enfermera no puede realizar un turno de mañana inmediatamente después de haber realizado el turno de noche.

Se han empleado numerosas técnicas para la resolución del problema de asignación de turnos de enfermería, tanto soluciones matemáticamente exactas como soluciones mediante búsqueda heurística. Algunos ejemplos de éstas utilizan técnicas de descomposición, computación paralela, optimización estocástica, algoritmos genéticos, optimización de colonias, recocido simulado o búsqueda tabú, entre otras.

Las soluciones al problema de programación de turnos de enfermería pueden aplicarse a problemas de programación restringidos en otros campos.

2.3.2. Problema de programación de tripulaciones

La programación de la tripulación es el proceso de asignación de tripulaciones para operar los sistemas de transporte, como líneas de ferrocarril o aviones.

Es un problema que maneja múltiples variables como, por ejemplo, una ubicación concreta, una habilitación específica del personal, un turno de trabajo y la rotación de turnos. En las industrias como el ferrocarril y especialmente en el transporte aéreo, estas variables se vuelven muy complejas (consideraciones legales, habilitaciones del personal, convenios colectivos, etc.)

Adicionalmente, el consumo de combustible de los aviones u otros vehículos es también una consideración importante y es importante encontrar la ruta más eficiente.

En resumidas cuentas, la solución de este problema debe, dentro de un marco legal, realizar la rotación adecuada de las tripulaciones habilitadas, de lugar en lugar con la menor cantidad de personal y medios de transportes, en el menor tiempo posible.

La mayoría de las compañías de transporte utilizan un software para gestionar el proceso de programación de la tripulación.

El problema de programación de tripulaciones es computacionalmente difícil y hay métodos matemáticos muy competitivos para resolver el problema. No obstante, estos problemas deben hacer frente a situaciones no planificadas como alteraciones de los horarios por motivos meteorológicos o retrasos derivados del control del tráfico. Por este motivo, los métodos y aplicaciones para resolver este problema tipo de problemas sigue siendo un área de investigación en curso.

3. Análisis del problema de asignación de turnos

En este apartado, se realiza el análisis del problema concreto de asignación de turnos que se aborda en este trabajo.

El problema consiste en la asignación de turnos de mañana (M), tarde (T) y noche (N) a los trabajadores de la plantilla, asegurando el cubrimiento de la demanda diaria de cada turno todos los días del año, y satisfaciendo las restricciones dadas.

La disposición de los tipos de turnos M, T y N en el horizonte temporal de la asignación para cada trabajador consiste en el agrupamiento en secuencias de cada tipo de turno. Además, dichas secuencias deben estar separadas entre ellas por secuencias de descansos (-), puentes (P) o vacaciones (V) como se muestra en la figura.

Trabajador	Tipo	Enero					...	Diciembre				
		M	X	J	V	S	S	D	L	M	X	
		1	2	3	4	5	27	28	29	30	31	
		AN1						NA	NA		AN2	
1	MTN	-	-	M	M	M		T	-	-	-	
2	MTN	N	-	-	T	T		N	N	N	N	
3	M	-	-	-	-	M	...	-	M	M	-	
4	T	T	T	T	T	-		T	-	-	T	
5	MTN	P	N	N	-	-		T	-	-	T	
⋮	⋮											
70	MTN	T	T	-	-	M		-	T	T	-	
71	MTN	P	-	M	M	-	...	M	M	-	N	
72	MTN	N	-	-	T	T		T	-	-	T	
73	MTN	P	T	T	-	-		P	P	-	-	
74	MTN	T	-	-	T	T		N	-	-	M	
	DIFERENCIAS	-	0	0	0	0		0	0	0	0	
	DEMANDA-	M	0	0	0	0	...	0	0	0	0	
	ASIGNACION	T	0	0	0	0		0	0	0	0	
		N	0	0	0	0		0	0	0	0	

Figura 2. Ejemplo de asignación de turnos para los empleados en un año

La asignación (solución) que se realice debe ser factible y lo más óptima posible.

El concepto de factibilidad se refiere al cumplimiento de las restricciones del problema, mientras que la optimalidad es el grado de bondad de una solución en referencia a los criterios que tendría la mejor de las soluciones para dicho problema.

A continuación, se detalla la tipología de los datos existentes así como las restricciones a cumplir y los criterios de optimalidad en el problema de asignación de turnos.

3.1. Tipología de los datos

- Calendario laboral: determina qué meses son los vacacionales y qué días se establecen como laborables, festivos o puentes.
- Turnos:
 - A asignar: mañana (M), tarde (T), noche (N).
 - De descanso: descanso (-), que se asignan como consecuencia de la separación entre secuencias de turnos a asignar (M, T y N).
 - Preestablecidos: mañana (M), tarde (T), noche (N), descanso (-), puentes (P) y vacaciones (V). Se pueden encontrar turnos de M, T, N, -, P y V que ya estén asignados con anterioridad al inicio del proceso de resolución del problema.
- Empleados: de todos los empleados en plantilla, algunos pueden tener turnos obligados o excluidos de asignación. En base a esto, los tipos de empleados pueden ser:
 - Empleado M: trabajador al que sólo pueden asignársele turnos de M.
 - Empleado T: trabajador al que sólo pueden asignársele turnos de T.
 - Empleado N: trabajador al que sólo pueden asignársele turnos de N.
 - Empleado MT: trabajador al que no pueden asignársele turnos de N.
 - Empleado MN: trabajador al que no pueden asignársele turnos de T.
 - Empleado TN: trabajador al que no pueden asignársele turnos de M.
 - Empleado MTN: trabajador al que pueden asignársele turnos de M, T, N.

También se les relaciona en qué mes tienen las vacaciones y qué puentes se les garantiza disfrutar. En el caso de los puentes, comentar que, dependiendo de las condiciones de asignación y la demanda, también es posible que puentes no garantizados para un trabajador finalmente se les puedan conceder.

- Demanda diaria por defecto: cantidad de turnos de M, T y N a cubrir en un día concreto. Se distinguen por:
 - Laborables en meses no vacacionales y vacacionales.
 - Sábados y previos a puentes en meses no vacacionales y vacacionales.
 - Domingos y festivos en meses no vacacionales y vacacionales.

3.2. Restricciones de asignación

Son aquéllas condiciones cuyo cumplimiento es requisito indispensable para la validez de la solución.

En los diversos escenarios de aplicación de este tipo de sistemas, existen restricciones muy particulares que tienen en cuenta la tipología concreta de los trabajadores, de las tareas o servicios a realizar, etc.

En esta aplicación, se reflejan restricciones suficientemente generalistas y correspondientes a un servicio que se ofrece las 24 horas del día de todos los días del año. Con las modificaciones correspondientes en el proceso de asignación, podrían ser consideradas modificaciones de éstas o nuevas restricciones adicionales.

Sin pérdida de generalidad, estas restricciones permiten el desarrollo de un sistema altamente complejo y realista. Se listan a continuación.

- Demanda diaria específica: el número de turnos de M, T y N requerido en cada día del horizonte temporal. Es un dato que viene impuesto previo al proceso de asignación de turnos a cada trabajador.
- Disponibilidad de turnos trabajados en el año: cada trabajador debe tener asignados exactamente un número de turnos en el horizonte temporal del año.
- Rango de turnos mínimo/máximo trabajados por mes: cada trabajador tendrá asignados un mínimo y un máximo número de turnos en cada mes.
- Número de fines de semana libres mínimos asignados en un mes: cada trabajador tendrá asignados un número mínimo de fines de semana libres en cada mes. El concepto de fin de semana libre es aquel en el que sábado y domingo se disfruta de descanso y el viernes no tiene asignado un turno N.
- Longitud mínima de la secuencia para cada tipo de turno: una vez asignado un turno a un trabajador como mínimo tendrá asignado ese tipo de turno al menos tantos días consecutivos como indique esta variable.
- Longitud máxima de la secuencia para cada tipo de turno: una vez iniciada una secuencia de un tipo de turno, como máximo tendrá asignado ese tipo de turno tantos días consecutivos como indique esta variable.

- Permisi3n entre secuencias: indica qu3 tipo de turnos puede ir en una secuencia posterior a otra secuencia de un tipo de turno dado.
- Descansos m3nimos entre secuencias: quedan regulados los d3as de descanso m3nimos que deben asignarse a cada trabajador una vez finalizada una secuencia de un tipo de turno y la siguiente.
- Asignaciones preestablecidas: implica no modificar las vacaciones, puentes o solicitudes concretas de un trabajador que hayan sido espec3ficamente asignadas antes de iniciar el proceso general de asignaci3n.
- D3as de inicio de secuencias: puede darse el caso en que quede prohibido comenzar una nueva secuencia de turnos en domingo. Esto tambi3n implica no comenzar una secuencia de turnos N en s3bado.
- D3as de finalizaci3n de secuencias: puede estar prohibido finalizar una secuencia de turnos N en viernes. De hecho, si a un viernes se le asigna un turno N, obligatoriamente el s3bado y el domingo tambi3n se les asignar3 turno N.

3.3. Criterios de optimizaci3n

Los criterios de optimizaci3n son directrices que determinan la calidad u optimalidad de las soluciones. Consisten en un conjunto de estimaciones o funciones que evalúan el grado de cumplimiento de los mismos y son un indicativo de la calidad de la misma. Una soluci3n con un elevado grado de cumplimiento de éstas se identificar3 como una mejor soluci3n respecto de otras cuyo grado de cumplimiento sea inferior. El incumplimiento de los criterios de optimizaci3n no invalida la soluci3n.

Los criterios de optimizaci3n de este problema se contextualizan en aplicaciones de servicios o tareas las 24 horas del d3a de todos los d3as del ańo. Con el fin de no perder generalidad para permitir el desarrollo de un sistema complejo y realista, se consideran los criterios listados a continuaci3n, aunque con las modificaciones correspondientes en el proceso de asignaci3n, podr3an ser considerados modificaciones de éstos o nuevos criterios adicionales.

- Equilibrios en la asignación de tipos de turno M, T y N para cada trabajador: parece adecuado que no haya diferencias muy significativas entre la asignación de un determinado tipo de turno entre dos o más trabajadores. Esto se tiene en cuenta a nivel mensual y anual. Se pretende evitar que un trabajador A tenga asignados, por ejemplo, un único turno N en un mes, mientras que un trabajador B tenga ocho turnos N asignados en el mismo mes.
- Equilibrios en la asignación del conjunto de tipos de turno para cada trabajador en un mes: aunque ya hay establecidas unas restricciones de factibilidad en cuanto a la cantidad de turnos mínima y máxima trabajados por mes, se intentará minimizar las diferencias entre la cantidad total de turnos asignados entre trabajadores.
- Equilibrios entre la asignación de días de descanso en fin de semana: este criterio desde el punto de vista del trabajador es de los más importantes. La mayor parte de actividades sociales tienen lugar en fin de semana por lo que trabajar en este periodo les resulta muy poco atractivo (van der Veen, Hans, Post, & Veltman, 2015). De ese modo, se debe repartir de la manera más equitativa posible los descansos en sábado y domingo y los fines de semana libres disponibles. Se atenderá a este criterio tanto a nivel mensual como anual.
- Equilibrios en la asignación de puentes: por los mismos motivos alegados en el reparto equitativo de fines de semana libres y de días libres en fin de semana, los puentes también son objeto de optimización.

3.4. Adaptabilidad de la demanda vs. disponibilidad

Hay ocasiones en las que sucede que la demanda total de asignación de turnos en el año y la disponibilidad total de turnos para la plantilla de trabajadores no son iguales.

Dado el caso, se prevén distintas alternativas para que la solución se adapte a las consecuencias derivadas de esta situación.

- La demanda es inferior a la disponibilidad: en este caso, la solución del problema de asignación de la demanda es correcta. Sin embargo, quedaría una parte de la plantilla con un número inferior de turnos asignados que la otra parte. En este caso, se brindan dos opciones a elegir por el usuario:
 - Cubrir el exceso de turnos: consiste en sobrepasar la demanda en uno o más días del año con el fin de que todos los trabajadores estén en igualdad de condiciones.
 - Generar turnos de guardia: que servirían para cubrir la demanda de un día en el que suceda algún imprevisto que vulnere la planificación establecida (bajas laborales, etc.)

- La demanda es superior a la disponibilidad: significa que hay demasiada demanda presupuestada para la plantilla existente. También se brindan un par de alternativas:
 - Ampliar el número máximo de turnos que puede hacer un trabajador en el año, lo que generaría el cubrimiento completo de la demanda. Esto provocaría un exceso de asignación de algunos trabajadores que se compensaría a criterio de la empresa.
 - Dejar la demanda de algunos días sin cubrir garantizando que a los trabajadores no se les planifiquen más turnos que el máximo de disponibilidad que tenían.

Con esta consideración, no sólo se consigue resolver el problema de la optimización, sino que también se incluye en el método una operatividad más realista para el usuario.

4. Análisis de sistemas de planificación de personal

Se han encontrado varias aplicaciones o plataformas comerciales de planificación de personal.

En este apartado, comentaremos cuáles son y sus características más destacables, y así poder detectar las características comunes entre ellos y las carencias que presentan. Esta información resulta muy útil para confirmar cuáles son las demandas del mercado actual y qué tipo de algoritmos se están empleando para la resolución de problemas de planificación del personal (en los que se incluye el problema de asignación de turnos).

➤ **BOLD WorkPlanner**

Es un programa de planificación de recursos humanos de la compañía española GPS.

El motor algorítmico genera en segundos propuestas automáticas de planificación en base a un completo modelo orientado a cobertura de la demanda/puestos de trabajo contemplando competencias, gestión de incidencias y absentismos, presencia, criterios de convenio, organizativos, económicos y sociales.

Además, los usuarios realizan modificaciones en la aplicación como si fuera un Excel y pueden reflejar cualquier incidencia o situación que ocurra en el día a día.

Permite:

- Dimensionar de forma adecuada las plantillas.
- La automatización y eliminación de papel.
- La mejora de la gestión de incidencias y absentismos.
- Mejorar en la explotación de datos a todos los niveles y varios tipos de informes (coberturas, contadores, incidencias, actividades, movilidad, planillas, costes).
- Verificar decisiones adoptadas para evitar errores que afectan a las personas.

➤ **OptQuest**

Optek es programa de la empresa estadounidense Optek Systems Inc., que utiliza técnicas avanzadas en el campo de la optimización metaheurística, incluyendo la búsqueda tabú, la búsqueda dispersa, la programación lineal e integral y las redes neuronales.

Su módulo de optimización OptQuest, está diseñado para facilitar su integración en aplicaciones que requieren de la optimización de sistemas de alta complejidad, ya sea que éstos utilicen simulación o no.

Está desarrollado en abierto y los usuarios pueden escribir sus propias aplicaciones y comunicarlas con el módulo de OptQuest. Además, se puede emplear en diferentes plataformas y lenguajes de programación.

Fundamentalmente se orienta a la resolución optimizada de problemas de decisión y planificación como la planificación de la producción, diseño de procesos y optimización de la fuerza laboral.

➤ **OptaPlanner**

OptaPlanner es un motor de planificación integrable cuya finalidad es la de asignar de manera optimizada un conjunto limitado de recursos (empleados, activos, tiempo y dinero) y satisfacer las demandas de productos o servicios a los clientes. Los casos de uso incluyen enrutamiento de vehículos, problemas de rostering (asignación de turnos), planificación del trabajo y otros tantos.

Es un software libre escrito al 100% en Java y permite el uso con fines comerciales, pero también es una buena base para la investigación en metaheurísticas.

Permite a los programadores resolver problemas de optimización de manera eficiente. Las restricciones se aplican en los objetos del dominio por lo que permite la reutilización del código existente.

El software combina sofisticadas heurísticas y metaheurísticas (como la búsqueda tabú o el recocido simulado) proporcionando resultados muy eficientes.

➤ Workforce Scheduler

Es un software para la planificación de empleados de la empresa estadounidense Kronos.

Esta aplicación permite la automatización de la planificación del trabajo en base a una demanda anticipada, a la vez que satisface todas las políticas de planificación de la empresa y las relacionadas con la legalidad vigente de una forma sistemática.

Aunque no planifica la resolución de los imprevistos, sí dispone de herramientas para la mitigación de los problemas que de ellos se derivan.

Otra aplicación interesante de esta compañía es Workforce Forecast Manager. Ésta utiliza algoritmos predictivos sofisticados para generar la previsión laboral mediante la estimación del número y el tipo de empleados necesarios para satisfacer la demanda anticipada.

➤ Comparativa

Se puede comprobar que algunos de ellos son más específicos que otros en cuanto al tratamiento del problema de asignación o planificación de los recursos humanos.

El siguiente cuadro comparativo muestra las características más destacables recogidas.

	BOLD WorkPlanner	OptQuest	OptaPlanner	Workforce Scheduler
Autogestión por parte del trabajador	<input checked="" type="checkbox"/>			
Código abierto		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Gestión de incidencias que vulneran la validez de asignación	<input checked="" type="checkbox"/>			
Simulación / Predicción de la asignación / Dimensionamiento de la plantilla	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Uso de técnicas metaheurísticas		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Verificación modificaciones en asignación	<input checked="" type="checkbox"/>			

Como se puede observar, hay una característica de los programas que es común en todos ellos, y es el empleo en simulación que permite la predicción en la asignación, el dimensionamiento de las plantillas y proporcionan información útil para la toma de decisiones.

También se ve que es muy común el empleo de técnicas metaheurísticas para la resolución de este tipo de problemas, sobre todo en aquellas disponibles en código abierto. Éstas, no obstante, están más enfocadas a la resolución de problemas concretos y la investigación que a la gestión integrada en el día a día de la empresa.

Es llamativo que sólo una de ellas haga verificaciones en la validez de soluciones propuestas por el usuario así como gestiones de las incidencias; pero también lo es que ninguna busque soluciones en base al preestablecimiento de turnos en la asignación.

Además, se observa que ninguna garantiza la optimalidad en algún aspecto concreto definido en los criterios de optimización.

Todas estas cuestiones hacen pensar que las soluciones existentes están bastante particularizadas en función de los sectores empresariales en los que se apliquen. Esto puede suceder por la difícil generalización que las heurísticas necesitan para un rendimiento eficaz en cualquier contexto.

Por ello, un sistema comercial puede que no sea adecuado para una compañía si no está pensado para satisfacer sus necesidades concretas. Así mismo, el coste de licencias de este tipo de software suele ser muy elevado y no todas las organizaciones tienen la posibilidad de adquirirlos. En consecuencia, resulta de elevado interés para las empresas contar con profesionales que conozcan y tengan experiencia en la resolución de este tipo de problemas.

5. Diseño y desarrollo del método de resolución del problema de asignación de turnos

5.1. Esquema general del diseño. Identificación de problemas y subproblemas

Al final del proceso de búsqueda de la solución del problema que se plantea, se debe haber conseguido el doble objetivo de cubrir la demanda de turnos para todos días del año y la asignación factible más optimizada posible para toda la plantilla.

Los objetivos que debe tener la solución del problema atañen a dos dimensiones interrelacionadas, día y trabajador.

Por una parte, existe el requisito imprescindible de generar asignaciones en un día para cubrir exactamente la demanda de turnos. De este modo, la resolución del problema en la dimensión día no se puede plantear formalmente como un problema de optimización.

Por otra, se necesita que la asignación mensual de cada trabajador respete un mínimo de fines de semana libres y un número de turnos asignados acotados en un rango. Adicionalmente, cada trabajador debe presentar un número concreto de turnos asignados en el año. Todo ello intentando la mayor equidad del reparto de turnos, fines de semana libres y días libres en fin de semana y puentes entre los trabajadores. En esta dimensión es en la que se pueden plantear métodos de resolución para problemas de optimización combinatoria.

No obstante, la asignación de un turno a un trabajador en un día condiciona el resultado de la asignación total de turnos en el día y viceversa, sobre todo cuando hay asignaciones preestablecidas como puentes o vacaciones. En consecuencia, la resolución del problema en la dimensión día será la entrada al proceso de resolución en la dimensión trabajador, y viceversa.

Como se ha indicado en “3.2 Restricciones de asignación”, hay restricciones en la dimensión trabajador del problema global tanto a nivel anual como mensual. Esta característica hace que realmente se pueda interpretar el problema inicial de asignación de turnos en un año como el conjunto de problemas de asignación de turnos para los trabajadores en cada mes del año.

Siguiendo un razonamiento análogo, el problema de asignación de turnos en un mes equivale al conjunto de problemas de asignación de turnos en cada semana del mes para cada trabajador. Esta conceptualización del problema arroja la ventaja de que se puede acotar el espacio de soluciones “semana” para cada trabajador en función del reparto de fines de semana libres y días libres en fin de semana, pudiéndose conseguir por tanto la optimalidad en este aspecto.

Por último, comentar que el problema a resolver requiere de la construcción de la solución (asignación de turnos). Por ello, se ha diseñado un método metaheurístico híbrido basado en el método “Greedy Randomized Adaptative Search” (GRASP), el cual, realiza la búsqueda de la solución en un espacio de estados añadiendo iterativamente elementos a la solución. En cada iteración se tiene una fase de construcción de la solución y otra de mejora de la solución. El procedimiento general de este método se muestra a continuación.

```

Mientras no se cumpla la condición de parada o l iteraciones
{
  Iteración = i
  Mejor solución = Sol(i-j)
  Fase constructiva:
    Obtención de elementos candidatos
    Selección de una lista restringida de los mejores candidatos
    Selección aleatoria de un elemento de la lista restringida
    Obtención de una solución (Soli)
  Fase de mejora:
    Búsqueda local a partir de la solución construida (Soli)
  Actualización de la mejor solución encontrada:
    Mejor solución = Mejor (Mejor solución, Soli)
}
∀i ∈ [0, ..., l), ∀j ∈ [1, ..., l-1)

```

Se puede observar un esquema de la estrategia seguida en la Figura 3 de la página siguiente.

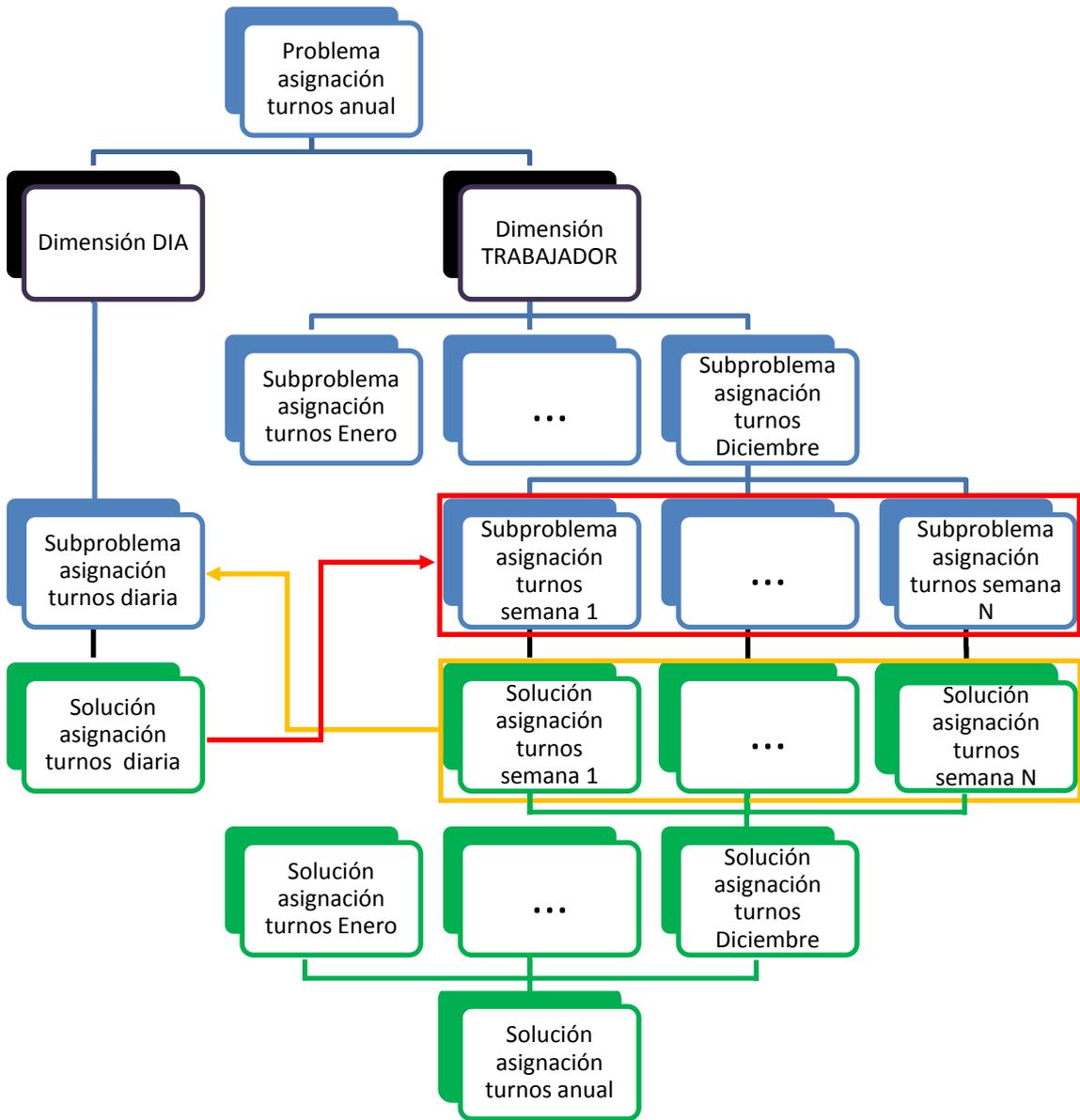


Figura 3. Esquema de la estrategia para la resolución del problema de asignación de turnos

5.2. Problema y subproblemas. Desarrollo y especificaciones del método metaheurístico empleado

Al disponer de varios subproblemas de asignación de turnos, el procedimiento GRASP mostrado anteriormente necesita varias modificaciones. De hecho, cada problema indicado (diario en la dimensión día / semana, mes y año para cada trabajador) se resuelve con procedimientos muy similares al GRASP indicado previamente.

Se puede ver, por tanto, que la anidación de procedimientos GRASP contribuyen a la resolución del problema de asignación de turnos anual.

Del mismo modo, los distintos problemas con sus respectivos subproblemas tendrán unas especificaciones, que como se verá a continuación, serán diferentes. Estas especificaciones definen los posibles estados del problema, el estado inicial y meta, los elementos que configuran la solución y las reglas de transición. Obsérvese cómo éstos cambian en función del problema que se vaya a abordar (asignación anual, mensual, semanal y diario).

5.2.1. Problema de asignación de turnos anual

Es el problema global al que se hace referencia en este trabajo. Todos los días del año deben quedar con su demanda cubierta y todos los trabajadores deben tener asignados los turnos correspondientes a su disponibilidad. Todo ello con el mayor equilibrio posible en el número de tipos de turnos, el total de turnos, fines de semana libre y días libres en fin de semana y puentes asignados entre trabajadores.

El procedimiento empleado para abordar el problema de asignación de turnos anual es:

Mientras no se cumpla la condición de parada o l iteraciones

{

Iteración = i, Mejor solución = Sol_(i-j)

Fase constructiva:

Para cada mes m en el año

Resolver el subproblema de asignación de turnos mensual

Postproceso:

Revisión de la solución construida para garantizar la factibilidad (Sol_i)

Actualización de la mejor solución encontrada:

Mejor solución = Mejor (Mejor solución, Sol_i)

}

$\forall i \in [0, \dots, l), \forall j \in [1, \dots, l-1)$

Especificaciones para el problema de asignación de turnos anual	
Estado inicial (E ₀)	$E_0 \in \{A_\emptyset, A_0\}$ A _∅ : Año vacío A ₀ : Año con asignaciones preestablecidas
Estado final o meta (E _f)	$E_f = A_r$ A _r : Año con exacto cubrimiento de la demanda diaria y con idéntica asignación de turnos de los trabajadores.
Espacio de estados (E _i) del problema (Ω _E)	$E_i \in \Omega_E$ Ω _E : E ₀ + los estados alcanzables con las reglas de transición
Conjunto de elementos (e _i) de la solución (Ω _e)	$e_i \in \Omega_e$ Ω _e = { SolProbAsig _{Mes1} , ..., SolProbAsig _{MesN} }
Conjunto de reglas (T _i) de transición (Ω _t)	$T_i \in \Omega_t$ Como el subproblema asignación semanal

5.2.2. Subproblema de asignación de turnos mensual

Resultado de la descomposición del problema de asignación anual, el subproblema de asignación de turnos mensual consiste en cubrir la demanda de todos los días del mes, asignando a todos los empleados un mínimo de fines de semana libre y una asignación de tipos de turno y del total de turnos contenida en un rango. Siempre, consiguiendo la mayor optimalidad posible. El procedimiento empleado es:

Mientras no se cumpla la condición de parada o l iteraciones

{

Iteración = i, Mejor solución = Sol_(i-j)

Fase constructiva: Aplicación de heurísticas $h_{i_mes}(\mathbf{n})$, $h_{t_mes}(\mathbf{n})$, $h_{A_mes}(\mathbf{n})$ y $h_{FL_mes}(\mathbf{n})$.

Para cada semana s del mes

Resolver el subproblema de asignación de turnos semanal

Fase de mejora problema mes:

Búsqueda local a partir de la solución construida (Sol_i)

Actualización de la mejor solución encontrada:

Mejor solución = Mejor (Mejor solución, Sol_i)

}

$\forall i \in [0, \dots, l), \forall j \in [1, \dots, l-1)$

Especificaciones del subproblema de asignación de turnos mensual		
Estado inicial (E ₀)	$E_0 \in \{M_\emptyset, M_0\}$	M _∅ : Mes vacío M ₀ : Mes asignaciones preestablecidas
Estado final o meta (E _f)	$E_f = M_r$	M _r : Mes con cubrimiento de la demanda diaria y asignación fines de semana libres mínimos, tipos de turno y total de turnos acotados para cada trabajador
Espacio de estados (E _i) del problema (Ω _E)	$E_i \in \Omega_E$	Ω _E : E ₀ + los estados alcanzables con las reglas de transición
Conjunto de elementos (e _i) de la solución (Ω _e)	$e_i \in \Omega_e$	Ω _e = { SolProbAsig _{Sem1} , ..., SolProbAsig _{SemN} }
Conjunto de reglas (T _i) de transición (Ω _t)	$T_i \in \Omega_t$	Como el subproblema asignación semanal

5.2.3. Subproblema de asignación de turnos semanal

Para cada subproblema de asignación de turnos mensual, se resuelven previamente varios subproblemas de asignación semanal. Como en los casos anteriores, los días de la semana deben quedar con la demanda diaria cubierta. La optimalidad de las soluciones está en relación con distribución de fines de semana libres y días libres en fin de semana y puentes, y en el equilibrio de los tipos de turno y del total de turnos asignados a cada trabajador.

Fase constructiva:

Para cada trabajador t de la plantilla

{

1. *Obtención de semanas candidatas (compatibles¹ con las asignaciones anteriores establecidas)*
2. *Selección de una lista restringida de las mejores semanas. Aplicación de heurísticas $h_{i_sem}(\mathbf{n})$, $h_{t_sem}(\mathbf{n})$, $h_{A_sem}(\mathbf{n})$ y $h_{FL_sem}(\mathbf{n})$.*

}

Para cada día de la semana

Resolver el subproblema de asignación de turnos diario

Especificaciones del subproblema de asignación de turnos semanal (para cada trabajador)		
Estado inicial (E_0)	$E_0 \in \{S_\emptyset, S_0\}$	S_\emptyset : Semana vacía S_0 : Semana asignaciones preestablecidas
Estado final o meta (E_f)	$E_f = S_r$	S_r : Semana que cumple con las restricciones necesarias ¹
Espacio de estados (E_i) del problema (Ω_E)	$E_i \in \Omega_E$	Ω_E : E_0 + los estados alcanzables con las reglas de transición
Conjunto de elementos (e_i) de la solución (Ω_S)	$e_i \in \Omega_{Sr}$	Ω_{Sr} : { M, T, N, -, P, V }
Conjunto de reglas (T_i) de transición (Ω_t)	$T_i \in \Omega_t$	Descritas en las páginas siguientes

¹ Son restricciones para la optimalidad en la distribución de fines de semana libres y días libres en fin de semana entre trabajadores y en el equilibrio de turnos y total de turnos asignados.

5.2.4. Subproblema de asignación de turnos diaria

Por último, el subproblema de asignación diaria tiene por solución el cubrimiento de la demanda total en el día.

Fase constructiva:

1. Para cada trabajador t de la plantilla
 - {
 - Obtención** de los turnos candidatos en un día para el trabajador a partir de las semanas candidatas. Esta ya es la **lista restringida**.
 - Selección aleatoria** de un **turno** para el trabajador de la lista restringida.
 - }
2. **Obtención de una solución para el día.**
3. **Actualización de las semanas candidatas** (sólo las compatibles con las asignaciones establecidas en la solución de la asignación del día anterior).

Especificaciones del subproblema de asignación de turnos diaria (para todos los trabajadores)	
Estado inicial (E_0)	$E_0 \in \{D_\emptyset, D_0\}$ <ul style="list-style-type: none"> D_\emptyset : Vector² de días vacíos D_0 : Vector de días con asignación preestablecida
Estado final o meta (E_f)	$E_f = D_r$ <ul style="list-style-type: none"> D_r : Vector de días con asignación que cubre completamente la demanda
Espacio de estados (E_i) del problema (Ω_E)	$E_i \in \Omega_E$ <ul style="list-style-type: none"> Ω_E : E_0 + los estados alcanzables con las reglas de transición
Conjunto de elementos (e_i) de la solución (Ω_S)	$e_i \in \Omega_{Sr}$ <ul style="list-style-type: none"> Ω_{Sr} : { M, T, N, -, P, V }
Conjunto de reglas (T_i) de transición (Ω_t)	$T_i \in \Omega_t$ <ul style="list-style-type: none"> No aplica

² Se detallará en “5.3.3 Discusión sobre las optimalidad de las soluciones”.

5.2.5. Reglas de transición aplicadas

Las reglas de transición se aplican a la descripción del subproblema de asignación de turnos semanal, para pasar de un estado a otro; en este caso para construir la solución “semana” a cada uno de los trabajadores.

Se ven a continuación las reglas de transición aplicables T_1 , T_2 , T_3 y T_4 .

T_1 : indica los turnos alternativos que se pueden asignar en un día cuando la asignación del día anterior es turno de trabajo M, T o N.	
Si asignación(d_a) $\neq \emptyset$	No hay turno asignado en el día
Si turno(s_a) = $i \in \{M, T, N\}$	La secuencia es de M, T, N
Si long(s_a) < sec_min ³ → asignación(d_a) = asignación($d_{(a-1)}$) Si no	Como longitud de la secuencia es inferior a la mínima, se completa
Si long(s_a) = sec_max ⁴ → asignación(d_a) = ‘-’ turno(s_a) = ‘-’ Si no	Como la longitud de la secuencia es máxima, se inicia secuencia de descanso Longitud de la secuencia entre el mínimo y el máximo
Si turno(s_a) = ‘N’ Aplicar T_2 Si no Posibilidades asignación(d_a) = { -, i }	La secuencia actual es de N Se aplica la regla 2 La secuencia actual no es de N Descansar o continuar la secuencia
Con d_a : día de la semana actual $d_{(a-1)}$: día precedente al actual s_a : secuencia actual $s_{(a-1)}$: secuencia precedente a la actual	

3 Longitud mínima de la secuencia para cada tipo de turno.

4 Longitud máxima de la secuencia para cada tipo de turno.

<p>T_2 : indica los turnos alternativos que se pueden asignar en un día cuando la asignación del día anterior es turno de trabajo N y el tamaño de la secuencia del turno es inferior a la máxima y superior o igual a la mínima.</p>	
<p>Si no se puede terminar secuencia N en viernes</p>	
<p>Si $Es_sábado(d_a)$ o $Es_domingo(d_a)$ \rightarrow asignación(d_a) = 'N'</p>	<p>Si el día a asignar es sábado o domingo, se asigna N</p>
<p>Si no $dia_fin = sec_max - long(s_a) + d_a$</p>	<p>No es sábado ni domingo Se calcula hasta dónde llegaría la secuencia máxima</p>
<p>Si $Es_viernes(dia_fin)$ o $Es_sábado(dia_fin)$ \rightarrow asignación(d_a) = '-' turno(s_a) = '-'</p>	<p>Si el día de fin es viernes o sábado, se descansa</p>
<p>Si no \rightarrow Posibilidades asignación(d_a) = { -, N }</p>	<p>Se puede terminar una secuencia de N en viernes o sábado</p>
<p>Con d_a : día de la semana actual s_a : secuencia actual dia_fin: día en que finalizaría la secuencia si alcanzara el tamaño máximo</p>	

<p>T_3 : indica los turnos alternativos que se pueden asignar en un día cuando la asignación del día anterior es descanso -, puente P o vacaciones V.</p>	
<p>Si asignación(d_a) $\neq \emptyset$ Si turno(s_a) $\in \{-, P, V\}$⁵ $\forall s_i$ con $i \in \{M, T, N\}$ Si permitido($s_{(a-1)} \rightarrow s_i$)⁶</p>	<p>No hay turno asignado en el día La secuencia es de descanso La secuencia de turnos previa permite iniciar secuencia de M o T o N</p>
<p>Si long(s_a) < desc_min($s_{(a-1)} \rightarrow s_i$)⁷ \rightarrow asignación(d_a) = '-' Si no Posibilidades asignación(d_a) = { - } Aplicar T_4</p>	<p>No hay los descansos mínimos entre secuencias consecutivas, se descansa Se permite asignar descanso y se aplica la regla 4</p>
<p>Con d_a : día de la semana actual s_a : secuencia actual s_i : secuencias permitidas tras la secuencia s_a $s_{(a-1)}$: secuencia precedente a la actual</p>	

<p>T_4 : indica los turnos alternativos que se pueden dar en el día si éste es domingo y el día anterior tiene asignado descanso -, puente P o vacaciones V.</p>	
<p>Si no se puede iniciar secuencia en domingo</p>	
<p>Si Es_domingo(d_a) \rightarrow asignación(d_a) = '-'</p>	<p>El día a asignar turno es domingo Se asigna descanso</p>
<p>Si turno(s_i) = N Es_sabado(d_a) \rightarrow asignación(d_a) = '-'</p>	<p>Si la secuencia a empezar es de N y es sábado, se asigna descanso</p>
<p>Si no Posibilidades asignación(d_a) = {Posibilidades asignación(d_a), i}</p>	
<p>Con d_a : día de la semana actual s_a : secuencia actual s_i : secuencias permitidas tras la secuencia s_a</p>	

5 La secuencia actual también puede ser la unión de secuencias de -, P o V que sean consecutivas.

6 Permisi3n entre secuencias.

7 Descansos m3nimos entre secuencias.

5.3. Heurísticas aplicadas en la construcción de las soluciones en los subproblemas de asignación de turnos

Se han empleado fundamentalmente heurísticas dependientes del problema, aplicando técnicas de relajación, de descomposición y de reducción.

5.3.1. Heurísticas para el equilibrado de turnos

Se emplean en los subproblemas de asignación mensual y semanal. Éstas persiguen la equidad en la asignación de turnos para cada trabajador y asegurar la factibilidad de la solución.

- Subproblema de asignación de turnos mensual.

Empleo en la fase de construcción de la solución del subproblema de asignación de turnos mensual. Aplicación a cada trabajador de la plantilla.

$$h_{i_mes}(n) = (K_r * media_{i_mes} - i_{asignados} + C) \geq 0; \forall i \in \{M, T, N, -\}$$

$$h_{t_mes}(n) = (media_{t_mes} - t_{asignados} + C) \geq 0;$$

$$t_{asignados} = \sum_i^N i_{asignados} \forall i \in \{M, T, N\}$$

$$h_{A_mes}(n) = (t_{asignados} + C_r) \in [Min_{turnos_{mes}}, Max_{turnos_{mes}}]$$

donde $h_{i_mes}(n)$ es la heurística para la asignación equilibrada por tipo de turno en el mes.

$media_{i_mes}$ es la media por trabajador del total de la demanda del tipo de turno i en el mes.

K_r es un parámetro para la relajación de las condiciones de optimalidad (entre 1 y 2).

$i_{asignados}$ es el número total del tipo de turno i asignados al trabajador hasta un determinado día del mes.

$C = 1$ si la media no es un valor entero (0 en caso contrario).

$h_{t_mes}(n)$ es la heurística para la asignación equilibrada del total de turnos en el mes.

$media_{t_mes}$ es la media por trabajador del total demandado en el mes.

$t_{asignados}$ es el total de turnos de todos los tipos asignados al trabajador hasta un determinado día.

$h_{A_mes}(n)$ es la heurística para la asignación factible del total de turnos en el mes por trabajador.

$Min_{turnos_{mes}}$ es la cantidad mínima de turnos a asignar al trabajador para obtener la factibilidad de la solución.

$Max_{turnos_{mes}}$ es la cantidad máxima de turnos a asignar al trabajador para obtener la factibilidad de la solución.

C_r es un parámetro para la relajación de las restricciones del problema y la disminución de su complejidad.

- Subproblema de asignación de turnos semanal: empleo de técnicas de descomposición basadas en el subproblema de asignación de turnos mensual.

Empleo en la fase de construcción de la solución del subproblema de asignación de turnos semanal. Aplicación a cada trabajador de la plantilla cuando se realiza la selección de la lista restringida de las mejores semanas.

$$h_{i_sem}(n) = (K_r * media_{i_mes} + C) \leq i_{asignados}; \forall i \in \{M, T, N, -\}$$

$$h_{A_sem}(n) = (Max_{turnos_{mes}} - t_{asignados} + C_r) \geq 0$$

donde $h_{i_sem}(n)$ es la heurística para la asignación equilibrada por tipo de turno en la semana.

$media_{i_mes}$ es la media por trabajador del total de la demanda del tipo de turno i del mes.

K_r es un parámetro para la relajación de las condiciones de optimalidad (entre 1 y 2).

$i_{asignados}$ es el número total del tipo de turno i asignados al trabajador hasta un determinado día del mes.

$C = 1$ si la media no es un valor entero (0 en caso contrario).

$h_{A_sem}(n)$ es la heurística para la asignación factible del total de turnos en el mes por trabajador.

$t_{asignados}$ es el total de turnos de todos los tipos asignados al trabajador hasta un determinado día.

$Max_{turnos_{mes}}$ es la cantidad máxima de turnos total a asignar al trabajador para obtener la factibilidad de la solución.

C_r es un parámetro para la relajación de las restricciones del problema y la disminución de su complejidad.

5.3.2. Heurísticas para el equilibrado de días libres en fin de semana

Dado que se disponen de los datos de demanda por día, es posible calcular cuál es la mejor distribución de fines de semana libres y días libres en fin de semana para cada trabajador en cada mes.

Como se comentaba en “3.3 Criterios de optimización”, librar el máximo posible en fines de semana es una de las características más valoradas para el trabajador.

Sirve como otra condición más en la selección de la lista restringida de las mejores semanas en el subproblema de asignación de turnos semanal.

Dada una demanda concreta, el cálculo de fines de semana libres máximos y sábado y domingos libres que se pueden conseguir se indica en el “ANEXO I. Cálculo de los fines de semana libres a partir de la demanda”.

- Subproblema de asignación de turnos mensual.

Para encontrar la optimalidad en la asignación de fines de semana libres en el mes, la asignación de los mismos se encontrará contenido en:

$$h_{F_{trab}} = (F_{trab_{mes}} \in [F_{min_mes}, F_{max_mes}]^8) \forall trab \in \{Plantilla\}.$$

donde $h_{F_{trab}} = \text{true/false}$

F_{min_mes} es el número de fines de semana libres mínimo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

F_{max_mes} es el número de fines de semana libres máximo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

$F_{trab_{mes}}$ es la cantidad de fines de semana libres asignados al trabajador en el mes.

⁸ Los valores de los límites presentados se establecen como se indica en el “ANEXO II. Cálculo de los límites óptimos de asignación fines de semana libres y días libres en fin de semana”.

Sin embargo, a la hora de distribuir de manera equitativa los días libres en fin de semana, se deja de lado el concepto de fin de semana y se suma la existencia de sábados y domingos libres que proporciona la demanda a cubrir como si fueran independientes entre sí. Por ello, la distribución óptima a cada trabajador se encontrará en un rango de valores:

$$h_{L_{trab}} = (L_{trab_mes} \in [L_{min_mes}, L_{max_mes}]^8) \forall trab \in \{Plantilla\}$$

donde $h_{L_{trab}} = \text{true/false}$

L_{min_mes} es el número de días libres mínimo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

L_{max_mes} es el número de días libres máximo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

L_{trab_mes} es la cantidad de días libres mínimos en fin de semana (formen o no fin de semana libre) asignados al trabajador hasta un determinado día del mes.

De este modo, el reparto de sábados o domingos libres queda supeditado al reparto principal de fines de semana. Estos son aquellos días libres demandados que no pueden formar fin de semana libre. Estarán acotados en:

$$h_{SD_{trab}} = SD_{trab_mes} \in [SD_{min_mes}, SD_{max_mes}]^8 \forall trab \in \{Plantilla\}$$

donde $h_{SD_{trab}} = \text{true/false}$

SD_{min_mes} es el número de días libres mínimo en fin de semana (que no pueden formar fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

SD_{max_mes} es el número de días libres máximo en fin de semana (que no pueden formar fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

SD_{trab_mes} es la cantidad de días libres mínimos en fin de semana (que no pueden formar fin de semana libre) asignados al trabajador hasta un determinado día del mes.

Finalmente, la heurística queda como:

$$h_{FL_trab_mes}(n) = h_{F_trab} \cdot h_{L_trab} \cdot h_{SD_trab}$$

$$\forall trab \in \{Plantilla\}.$$

Y se aplica en la fase de construcción de la solución en el subproblema de asignación de turnos mensual.

➤ Subproblema de asignación de turnos semanal.

En este caso, se aplica una técnica de descomposición para la heurística. Como en el caso anterior,

$$h_{FL_trab_sem}(n) = h_{F_trab} \cdot h_{L_trab} \cdot h_{SD_trab}$$

$$\forall trab \in \{Plantilla\}.$$

Y se aplica en la selección de las semanas de la lista restringida de la fase de construcción de la solución en el subproblema de asignación de turnos semanal.

En este caso, tiene que cumplir:

$$h_{F_trab} = (F_{trab_mes} \leq F_{max_mes} - F_{min_mes} + C_i)$$

$$\text{con } C_i = Semana_final_mes - i$$

$$\forall trab \in \{Plantilla\}; \forall i \in \{1, \dots, Semana_final_mes\}$$

donde $h_{F_trab} = \text{true/false}$

F_{trab_mes} es la cantidad de fines de semana libres asignados al trabajador hasta un determinado día del mes.

F_{max_mes} es el número de fines de semana libres máximo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

F_{min_mes} es el número de fines de semana libres mínimo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

C_i es el número de fines de semana no asignados en el mes.

$$h_{SD_trab} = (SD_{trab_mes} \leq SD_{max_mes} - SD_{min_mes} + C_i)$$

$$\text{con } C_i = Semana_final_mes - i$$

$$\forall trab \in \{ Plantilla \}; \forall i \in \{ 1, \dots, Semana_final_mes \}$$

donde $h_{SD_trab} = \text{true/false}$

SD_{trab_mes} son los días libres en fin de semana (que no forman fin de semana libre) asignados al trabajador hasta un determinado día del mes.

SD_{max_mes} son los máximos días libres en fin de semana (que no forman fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

SD_{min_mes} son los mínimos días libres en fin de semana (que no forman fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

C_i es el número de fines de semana no asignados en el mes.

$$h_{L_trab} = (L_{trab_mes} \leq L_{max_mes} - L_{min_mes} + 2 \cdot F_i + SD_i)$$

$$\forall trab \in \{ Plantilla \}; i = Semana \text{ actual}$$

donde $h_{L_trab} = \text{true/false}$

L_{trab_mes} es la cantidad de días libres mínimos en fin de semana (formen o no fin de semana libre) asignados al trabajador hasta un determinado día del mes.

L_{max_mes} es el número de días libres máximo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

L_{min_mes} es el número de días libres mínimo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

F_i es el número de fines de semana libres que tiene la semana generada para el trabajador.

SD_i son los días libres en fin de semana (que no forman fin de semana libre) que tiene la semana generada para el trabajador.

5.3.3. Discusión sobre las optimalidad de las soluciones

La optimalidad de la solución del problema de asignación anual se realiza a través a través de la optimización de los subproblemas de asignación mensual. Sólo se realiza un postproceso de la solución del problema de asignación de turnos anual para garantizar la factibilidad de la solución.

En el proceso de asignación realizado en este trabajo no se considera el equilibrio en la asignación de puentes indicado en “3.3 Criterios de optimización”. Por una parte, los puentes se asignan previamente al inicio proceso de resolución, y el usuario ya ha tenido en cuenta el equilibrio o compensación con la asignación real que se ha realizado el año anterior (equilibrando de un año a otro). Realmente, incluir una nueva heurística en el proceso afectaría en el cómputo global a las otras, y es posible que no aportase mejores soluciones que al hacerlo manualmente de un año a otro. Por otra parte, y desde el punto de vista académico, el diseño de la heurística correspondiente, sería análogo al de la heurística empleada para equilibrar los fines de semana libres, no aportando un nuevo know-how.

Queda por tanto, detallar la generación de la lista restringida de candidatos en el subproblema de asignación de turnos diaria.

Téngase en cuenta que el momento de realizar ésta ya se dispone de las listas restringidas de las semanas candidatas para cada trabajador, que se obtienen en la fase de construcción del subproblema de asignación de turnos semanal. Por tanto, de estas listas es de donde se extrae la información necesaria.

Cada trabajador en el mismo día de todas las semanas candidatas puede tener asignados diferentes turnos. Todos ellos, formarán la lista restringida de candidatos (turno M, T, N o -) en el subproblema de asignación diaria.

Acabada la asignación del primer día de la semana, la lista restringida de las mejores semanas se reduce, dejando sólo disponibles aquéllas cuyo día anterior asignado corresponda con la asignación resultado de la resolución del subproblema de asignación diaria. Un ejemplo de esto se indica a continuación.

Ejemplo: generación de la lista restringida de candidatos para la resolución del subproblema de asignación diaria.

1. Generación de la lista de la lista de candidatos para el lunes.

Lista restringida semanas trabajador A

L	M	XJVS	D
M	M	...	-
T	-	...	N
-	N	...	M

Lista restringida semanas trabajador J

L	M	XJVS	D
-	T	...	M
N	N	...	T
-	M	...	-

Lista restringida para el lunes

Trab. A	Trab. J
MT-	-N

2. Resolución de la asignación diaria para el lunes:

Trab. A	Trab. J
M	-

3. Actualización de las listas restringidas de las mejores semanas para cada trabajador.

Lista restringida semanas trabajador A

L	M	XJVS	D
M	M	...	-

Lista restringida semanas trabajador J

L	M	XJVS	D
-	T	...	M
-	M	...	-

4. Generación de la lista de la lista de candidatos para el martes.

Lista restringida para el martes

Trab. A	Trab. J
M	TM

5. Volver al paso 2 hasta asignar el último día de la semana.

5.4. Mejora y factibilidad de las soluciones

Una vez finalizada la construcción de las soluciones en el problema de asignación de turnos anual y subproblema de asignación de turnos mensual, se inicia un proceso de mejora de la solución y de verificación del cumplimiento de las restricciones.

Se trata de una búsqueda local que afina la asignación generada en la fase previa del método escogido.

Seguidamente, se detallan los métodos seleccionados para la consecución de la mejora de la solución.

5.4.1. Mejora de la solución del subproblema de asignación de turnos mensual

El método escogido para la mejora de la solución está inspirado en la investigación y experiencia de la alumna.

Básicamente consiste en un proceso iterativo que, en primer lugar, excede el cubrimiento la demanda diaria específica y posteriormente la vuelve a restaurar conforme a los valores que debe tener.

En cada iteración, el exceso de cubrimiento se genera asignando a los trabajadores con déficit de algún tipo de turno, más asignaciones de ese tipo de turno si se puede. Esto es, respetando las reglas de transición. En ningún caso, se modificará el cubrimiento en sábados y domingos o en viernes sólo se le puede asignar o ya tiene asignado el tipo de turno N.

A continuación se buscan los trabajadores con exceso de carga de un tipo de turno (seleccionando primero los más críticos) y se comprueba que tengan asignados ese tipo de turno en los días en los que se ha conseguido exceder el cubrimiento de la demanda. Si es así, y eliminar la asignación del turno asignado no vulnera las reglas de transición, se elimina.

Este proceso se realiza para todos los tipos de turno en cada iteración.

Se calcula el fitness de la solución modificada en la iteración actual y si no mejora respecto del valor del fitness de la última iteración, se finaliza la mejora. En caso contrario, se inicia una nueva iteración.

Finalmente se comprueba que se cumplen las restricciones impuestas para la solución y si es posible, se equilibra la asignación total (suma de asignaciones por trabajador de cada tipo de turno).

5.4.2. Factibilidad de la solución del problema de asignación de turnos anual

Como se ha comentado anteriormente, se realiza un postproceso de la solución cuyo objetivo es conseguir que la asignación del total de turnos en el año para cada trabajador se corresponda con el valor de disponibilidad.

Para ello, se buscan posibles permutaciones “tipo de turno – descanso” entre trabajadores con exceso de asignación (por encima de la disponibilidad) y trabajadores con déficit de asignación, en el mismo día del horizonte temporal del problema.

Siempre se verificará que las restricciones impuestas no son violadas en la solución propuesta.

5.5. Criterios de optimalidad. Evaluación de las soluciones

Se requiere de una evaluación de las soluciones que sea indicativa de la adecuación o fitness de las mismas. Para ello, se construye una función de evaluación multiobjetivo cuyas variables independientes se referirán a cada uno de los criterios de optimalidad pretendidos en la asignación indicados en “3.3 Criterios de optimización”.

Se recuerda que los criterios de optimización se establecen a nivel anual y mensual. Por tanto, tanto el problema de asignación de turnos anual, como los subproblemas de asignación mensual serán evaluados con su respectiva función de evaluación.

Todos los criterios descritos se refieren al equilibrio en la asignación de algún tipo (M, T, N, M+T+N, fines de semana libres y días libres en fin de semana) para los trabajadores. De hecho, las heurísticas empleadas pretenden conseguir asignaciones limitadas en rangos que eviten grandes discrepancias entre trabajadores.

Los valores de todos trabajadores para un tipo de asignación concreta son una distribución, cuya dispersión o centrado (mayor optimalidad), se puede calcular con la desviación típica poblacional de la misma.

Para cada criterio de optimalidad, se empleará la desviación típica poblacional de la distribución conveniente. Éstas se indican a continuación.

- Equilibrios en la asignación de tipos de turno M, T y N para cada trabajador: la variable que emplearemos es la desviación típica poblacional de la distribución de asignación de turnos de M, T o N en un mes o en el año para los trabajadores.

Uso de variables⁹ $\sigma_i^k \forall i \in \{M, T, N\}, \forall k \in \{Enero, \dots, Diciembre\} \cup \{Año\}$

- Equilibrios en la asignación del conjunto de tipos de turno para cada trabajador en un mes: la variable que emplearemos es la desviación típica poblacional en la asignación total (M + T + N) de turnos en un mes. En el año no se evaluará puesto que una de las condiciones para la factibilidad de la solución establece una asignación concreta e igual para todos los trabajadores en año. De este modo, la desviación típica en este aspecto para el problema de asignación anual es cero.

Uso de variables⁹ $\sigma_t^k \forall k \in \{Enero, \dots, Diciembre\} \cup \{Año\}$

- Equilibrios entre la asignación de días de descanso en fin de semana: como en los criterios anteriores, se empleará la desviación típica poblacional. Como se ha comentado anteriormente, para optimizar el reparto de libres en fin de semana se han establecido dos objetivos particulares. Estos son que tanto los fines de semana libres como los libres en fin de semana (formen o no fin de semana) estén contenidos en sus respectivos rangos. De este modo, este criterio contiene dos variables a introducir en la función.

Uso de variables⁹ $\sigma_F^k \forall k \in \{Enero, \dots, Diciembre\} \cup \{Año\}$

Uso de variables⁹ $\sigma_L^k \forall k \in \{Enero, \dots, Diciembre\} \cup \{Año\}$

- Equilibrios en la asignación de puentes: como se ha justificado en “5.3.3 Discusión sobre las optimalidad de las soluciones”, no se emplea este criterio de optimización en la función de evaluación.

⁹ Su cálculo se muestra en el “ANEXO III. Cálculo de las desviaciones típicas empleadas en las funciones de evaluación”.

Presentadas las variables necesarias, las funciones de evaluación multiobjetivo para cada problema y subproblema se indican a continuación.

➤ Problema de asignación de turnos anual

$$fitness_{año} = \sum_k fitness_k + \sum_i (K_i \cdot \sigma_i^{año}) + K_F \cdot \sigma_F^{año} + K_L \cdot \sigma_L^{año}$$

$$\forall i \in \{M, T, N\} \quad \forall k \in \{Enero, \dots, Diciembre\}$$

donde K_j es el coeficiente de ponderación $\forall j \in \{M, T, N, F, L\}$.

$fitness_k$ es el resultado de la adecuación de la solución del problema de asignación mensual en el mes k .

$\sigma_i^{año}$ es la desviación típica poblacional para cada tipo de turno i asignado a los trabajadores en el año.

$\sigma_F^{año}$ es la desviación típica poblacional del total de fines de semanas libres asignados a los trabajadores en el año.

$\sigma_L^{año}$ es la desviación típica poblacional del total de días libres en fin de semana (formen o no fin de semana libre) asignados a los trabajadores en el año.

➤ Subproblema de asignación de turnos mensual

$$fitness_k = \sum_i (K_i \cdot \sigma_i^k) + K_t \cdot \sigma_t^k + K_F \cdot \sigma_F^k + K_L \cdot \sigma_L^k$$

$$\forall i \in \{M, T, N\} \quad \forall k \in \{Enero, \dots, Diciembre\}$$

donde K_j es el coeficiente de ponderación $\forall j \in \{M, T, N, F, L\}$.

σ_i^k es la desviación típica poblacional para cada turno i asignado a los trabajadores en el mes k .

σ_t^k es la desviación típica poblacional del total de turnos asignados a los trabajadores en el mes k .

σ_F^k es la desviación típica poblacional del total de fines de semanas libres asignados a los trabajadores en el mes k .

σ_L^k es la desviación típica poblacional del total de días libres en fin de semana (formen o no fin de semana libre) asignados a los trabajadores en el mes k .

6. Implementación del método de resolución del problema de asignación de turnos

La implementación del método de resolución del problema sobre el que versa este trabajo se ha realizado en Visual Studio .NET en C#.

Se trata de una aplicación para Windows que se comunica con un documento de Excel específicamente preparado para este problema. Dicho fichero, además de disponer de parámetros y datos necesarios para la resolución del problema que deben ser leídos, al final del proceso, recoge los resultados de la resolución del problema.

El esquema general de la implementación se sigue en la siguiente figura.

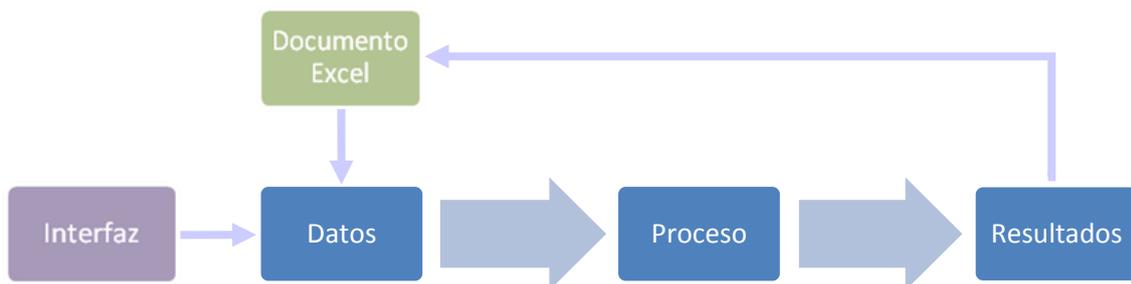


Figura 4. Esquema general de la implementación del método de resolución del problema de asignación de turnos

A continuación, se muestra la interfaz de la aplicación en la Figura 5 y se detalla el contenido de la misma.

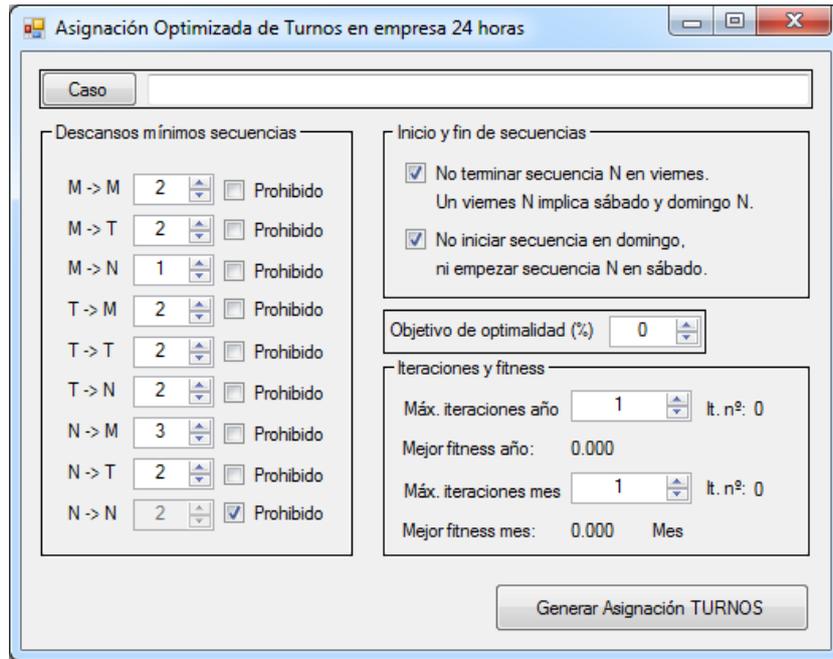
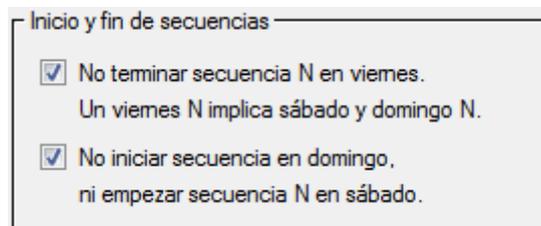


Figura 5. Interfaz del programa que implementa el método de resolución del problema de asignación de turnos



donde **Caso**: indicación de la ruta en la que se encuentra el fichero Excel del caso.

Inicio y fin de secuencias



donde **No terminar secuencia N viernes**: marcar esta opción inhabilita la posibilidad de finalizar secuencias de turno N en viernes. En caso de haber asignado un turno N en viernes, obliga a asignar turno N en sábado y domingo.

No iniciar secuencia domingo: marcar esta opción inhabilita la posibilidad de iniciar una secuencia de cualquier tipo de turno en domingo. Si el tipo de turno es N, la secuencia tampoco se puede iniciar en sábado.

Descansos mínimos secuencias

Descansos mínimos secuencias		
M -> M	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
M -> T	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
M -> N	1	<input type="checkbox"/> Prohibido
T -> M	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
T -> T	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
T -> N	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
N -> M	3	<input type="checkbox"/> Prohibido
N -> T	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
N -> N	2	<input checked="" type="checkbox"/> Prohibido

donde **M -> M**: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de M y M y si está o no prohibida iniciar una secuencia M tras haber realizado una secuencia M.
M -> T: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de M y T y si está o no prohibida iniciar una secuencia T tras haber realizado una secuencia M.
M -> N: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de M y N y si está o no prohibida iniciar una secuencia N tras haber realizado una secuencia M.
T -> M: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de T y M y si está o no prohibida iniciar una secuencia M tras haber realizado una secuencia T.
T -> T: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de T y T y si está o no prohibida iniciar una secuencia T tras haber realizado una secuencia T.
T -> N: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de T y N y si está o no prohibida iniciar una secuencia N tras haber realizado una secuencia T.
N -> M: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de N y M y si está o no prohibida iniciar una secuencia M tras haber realizado una secuencia N.
N -> T: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de N y T y si está o no prohibida iniciar una secuencia T tras haber realizado una secuencia N.
N -> N: descansos mínimos entre secuencias consecutivas de N y N y si está o no prohibida iniciar una secuencia N tras haber realizado una secuencia N.

Objetivo de optimalidad

Objetivo de optimalidad (%)	0
-----------------------------	---

donde **Objetivo de optimalidad (%)**: parámetro para el ajuste de la heurística de asignación de turnos de M, T, N. Acotado entre 0 y 100% (0 es equilibrio en los turnos poco prioritario – 100 es muy prioritario).

Iteraciones y fitness

Iteraciones y fitness

Máx. iteraciones año: It. nº: 0

Mejor fitness año: 0.000

Máx. iteraciones mes: It. nº: 0

Mejor fitness mes: 0.000 Mes

donde **Máx. iteraciones año**: número máximo de iteraciones permitidas para el problema de asignación anual.

It. nº (a la derecha de Máx. iteraciones año): iteración actual de cálculo para el problema de asignación del año.

Mejor fitness año: valor del fitness para la mejor solución encontrada para el problema de asignación anual hasta el momento.

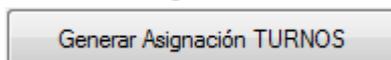
Máx. iteraciones mes: número máximo de iteraciones permitidas para el subproblema de asignación mensual.

It. nº (a la derecha de Máx. iteraciones mes): iteración actual de cálculo para el subproblema de asignación del mes.

Mejor fitness mes: valor del fitness para la mejor solución encontrada para el subproblema de asignación mensual hasta el momento.

Mes: nombre del mes correspondiente al subproblema de asignación mensual actual de cómputo.

Generar Asignación TURNOS



donde **Generar Asignación TURNOS**: arranque proceso de resolución del problema.

6.1. Parámetros y datos

Los parámetros definidos para el proceso de resolución abarcan variables relativas a la tipología de los datos, definidos en “3.1 Tipología de los datos”, a las restricciones de factibilidad de la solución de “3.2 Restricciones de asignación”, a los “3.3 Criterios de optimización” y al diseño particular del método de resolución presentado en “5. Diseño y desarrollo del método de resolución del problema de asignación de turnos”.

Algunos de ellos se han definido en la propia interfaz de la solución y otros están disponibles en el fichero de Excel del que se ha hablado en el punto anterior.

Por motivos de claridad, se reflejan datos de una situación concreta, pero el sistema es aplicable a cualquier escenario que cumpla con las condiciones de especificación del problema comentadas en el primer párrafo.

6.1.1. Datos generales

- Calendario laboral: se encuentran en la hoja “General” del fichero de Excel.
 - Año de asignación (por ejemplo, 2008 - bisiesto - o 2015 - no bisiesto -).
 - Día de inicio del año (lunes, martes, ...)
 - Meses de vacaciones (por ejemplo, julio).
 - Puentes (por ejemplo, el puente de San Vicente - SV -, que es en el mes de enero y abarca desde el día 19 hasta el 22 del mes).

2008	Enero	martes	
Trabajador	Vacaciones		
1	Julio		
...	...		
74	Septiembre		

Mes	Puente	Inicio	Fin	Puente	Inicio	Fin	Puente	Inicio	Fin
Enero	AN1	1	1	SV	19	22			
Febrero									
Marzo	SJ	18	19	SS	20	24	PA	29	31
Abril									
Mayo	TR	1	4						
Junio									
Julio									
Agosto	VA	15	17						
Septiembre									
Octubre	PI	9	12						
Noviembre	TS	1	2						
Diciembre	CO	6	8	NA	24	28	AN2	31	31

Figura 6. Parámetros y datos relativos al calendario laboral

- Turnos asignables: se encuentran en la hoja “General” del fichero de Excel.
 - Denominación de los turnos a asignar (M, T, N, -).
 - Denominación de turnos preestablecidos (P, V).

A asignar		Preestablecidos	
Mañana	M	Vacaciones	V
Tarde	T	Puentes	P
Noche	N		
Descanso	-		

Figura 7. Parámetros y datos relativos a los turnos asignables

- Trabajadores: se encuentran en la hoja “General” del fichero de Excel.
 - Tamaño de la plantilla (por ejemplo 74 trabajadores).
 - Tipo de turnos que puede trabajar cada empleado¹⁰ (por ejemplo el trabajador 3 sólo puede trabajar turnos de mañana).
 - Meses de vacaciones que le corresponde a cada trabajador¹⁰ (por ejemplo, el trabajador 1 tiene vacaciones en julio).
 - Puentes preasignados a cada trabajador¹⁰ (por ejemplo, el trabajador 1 disfrutará de los puentes SV, SS, TR y AN2). El hecho de que exista esta asignación preestablecida no implica que al trabajador en cuestión no se le puedan conceder otros puentes no establecidos de antemano. Esto dependerá de las condiciones de asignación y de la demanda.

Plantilla		74												
Trabajador	Turnos	Vacaciones	AN1	SV	SJ	SS	PA	TR	VA	PI	TS	CO	NA	AN2
1	MTN	Julio		X		X		X						X
...	
74	MTN	Septiembre					X		X		X		X	

Figura 8. Parámetros y datos relativos los trabajadores

¹⁰ Información completa en Figura 21

- Demanda diaria por defecto: número de turnos de cada tipo a cubrir en cada día. Todos ellos se encuentran en la hoja “General” del fichero de Excel.
 - Laborables en meses no vacacionales y vacacionales (por ejemplo, en los lunes deben cubrirse 16 mañanas en meses no vacacionales y 13 en vacacionales).
 - Sábados y previos a puentes en meses no vacacionales y vacacionales (por ejemplo, en los sábados deben cubrirse 16 mañanas en meses no vacacionales y 13 en vacacionales).
 - Domingos y festivos en meses no vacacionales y vacacionales (por ejemplo, en los domingos deben cubrirse 12 mañanas en meses no vacacionales y 9 en vacacionales).

	No vacacional		
	M	T	N
L-M-X-J-V	16	16	11
S y antes P	16	16	11
D y P	12	12	11

	Vacacional		
	M	T	N
L-M-X-J-V	13	13	9
S y antes P	13	13	9
D y P	9	9	9

Figura 9. Parámetros y datos relativos la Demanda diaria por defecto

6.1.2. Datos asociados a restricciones

- Demanda diaria específica: en general, son como los relativos a la demanda diaria por defecto. No obstante, en las hojas del Excel denominadas con el nombre de cada mes, los datos generales del demanda se pueden cambiar introduciendo pequeñas modificaciones en una zona denominada ajuste.

Por ejemplo, en el mes de enero (hoja “Enero”), al primer jueves del mes se le incrementa la demanda de mañanas en tres. La demanda real de mañanas, por tanto, pasa de tener un valor de 16 a 19, como se ve en la figura siguiente.

		Enero																																						
		M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	
DEMANDA REAL	-	14	31	31	31	14	14	14	14	31	28	31	31	39	31	31	31	31	31	31	39	31	31	31	31	12	12	12	12	12	12	31	31	31	31	39	31	31	31	
	M	12	16	16	16	12	12	12	12	16	19	16	16	12	16	16	16	16	16	12	16	16	16	16	12	12	12	12	16	16	16	16	12	12	12	16	16	16	16	16
	T	12	16	16	16	12	12	12	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	12	16	16	16	16	12	12	12	12	16	16	16	16	12	12	12	16	16	16	16	16
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
P	25	0	0	0	25	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AJUSTE	M	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FDSL	132				16	58							31																											
SDL	24				0	8	66						8																											

Figura 10. Parámetros relativos al ajuste de la Demanda diaria específica

- Disponibilidad de turnos trabajados en el año: definido en la hoja “General” del documento de Excel, como “Días_trabajo_año”. Por ejemplo, se deben asignar 194 turnos de mañana y/o tarde y/o noche a cada trabajador en el año.

Días_trabajo_año	194
------------------	-----

Figura 11. Parámetro y dato de Disponibilidad de turnos trabajados en el año

- Rango de turnos mínimo/máximo trabajados por mes: definido en la hoja “General” del Excel. Los límites del rango se denominan como “Min_turnos_mes” y “Max_turnos_mes”. Por ejemplo, entre 16 y 22 turnos de mañana y/o tarde y/o noche se asignarán a cada trabajador en el mes.

Min_turnos_mes	16
Max_turnos_mes	22

Figura 12. Parámetros y dato de Rango de turnos mínimo/máximo trabajados por mes

- Número de fines de semana libres mínimos asignados en un mes: definido en la hoja “General” del Excel (“Min dfsL_mes”). Por ejemplo, como mínimo, cada trabajador tendrá un fin de semana libre al mes.

Min dfsL_mes	1
--------------	---

Figura 13. Parámetro y dato de Número de fines de semana libres mínimos asignados en un mes

- Longitud mínima de la secuencia para cada tipo de turno: definido en la hoja "General" del Excel ("Secuencia min").
- Longitud máxima de la secuencia para cada tipo de turno: definido en la hoja "General" del Excel ("Secuencia max").

Por ejemplo, las secuencias válidas de asignación de turnos no tendrán una longitud menos de 2 días ni mayor de 5.

Secuencia min	2
Secuencia máx	5

Figura 14. Parámetros y datos de Longitud mínima de la secuencia para cada tipo de turno y Longitud máxima de la secuencia para cada tipo de turno

- Permisi3n entre secuencias: este dato est1 definido en la interfaz de la aplicaci3n (Figura 5). Por ejemplo, no se puede iniciar una secuencia de noches, tras haber trabajado inmediatamente antes una secuencia de noches.
- Descansos m3nimos entre secuencias: este dato est1 definido en la interfaz de la aplicaci3n (Figura 5). Por ejemplo, se puede iniciar una secuencia de mañanas tras haber realizado una de tardes ("T -> M") y dejando dos d3as de descanso como m3nimo entre ambas.

Descansos m3nimos secuencias

M -> M	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
M -> T	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
M -> N	1	<input type="checkbox"/> Prohibido
T -> M	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
T -> T	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
T -> N	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
N -> M	3	<input type="checkbox"/> Prohibido
N -> T	2	<input type="checkbox"/> Prohibido
N -> N	2	<input checked="" type="checkbox"/> Prohibido

Figura 15. Parámetros y datos de Permisi3n entre secuencias y Descansos m3nimos entre secuencias

- Asignaciones preestablecidas: en hojas del Excel denominadas con el nombre del mes, el espacio reservado para volcar la asignación de turnos resultado, puede tener asignaciones preestablecidas que hay que respetar en el proceso de asignación.

Como ejemplo, se pueden dar casos en que haya un trabajador (como el 1) que disfrute de un puente. O que se le obligue a un trabajador a descansar un domingo en un fin de semana, como el trabajador 2 en el segundo fin de semana de Enero.

		Enero																															
		M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Trabajador	Turnos	ANI																															
1	MTN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
2	MTN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
3	M	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
4	T	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
5	MTN	P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
...																																	
70	MTN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
71	MTN	P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
72	MTN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
73	MTN	P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
74	MTN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Figura 16. Parámetros y datos de Asignaciones preestablecidas

- Días de inicio de secuencias: este dato está definido en la interfaz de la aplicación (Figura 5). Si está habilitado el parámetro “No iniciar secuencia domingo”, no se podrán iniciar secuencias de M, T y N en domingo ni tampoco secuencias de N en sábado.
- Días de finalización de secuencias: definidas en la interfaz de la aplicación (Figura 5). Si está habilitado el parámetro “No terminar secuencia N viernes”, no se podrá finalizar una secuencia N en viernes. En este caso, obligatoriamente un viernes con turno de N asignado obliga a asignar al sábado y domingo consecutivos turno de N.

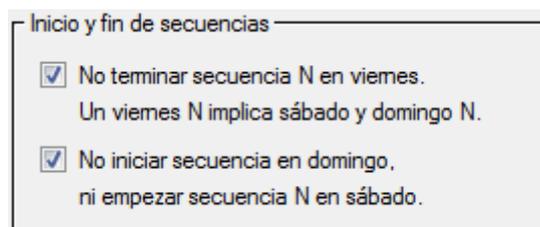


Figura 17. Parámetros y datos de Días de inicio de secuencias y Días de finalización de secuencias

6.1.3. Datos asociados a los criterios de optimización

Estos criterios están definidos todos ellos en la hoja “General” del documento Excel. Son los coeficientes de ponderación empleados en las funciones de evaluación del problema de asignación de turnos anual y subproblemas de asignación de turnos mensual.

- Equilibrios en la asignación de tipos de turno M, T y N para cada trabajador: parámetros “Equilibrios M (%)”, “Equilibrios T (%)” y “Equilibrios N (%)”.

Por ejemplo, Equilibrios M (%) = 7,5 , Equilibrios T (%) = 7,5 y Equilibrios N (%) = 25 significa que los equilibrios en asignación de mañanas y tardes son igualmente importantes y que el equilibrio en la asignación de noches es más importante que los dos anteriores.

- Equilibrios en la asignación del conjunto de tipos de turno para cada trabajador en un mes: parámetro “Equilibrios Total (%)”.
- Equilibrios entre la asignación de días de descanso en fin de semana: se emplean los parámetros “Equilibrios FDSL (%)” y “Equilibrios L en FDS (%)”. Los “Equilibrios FDSL (%)” indican la importancia del reparto equitativo de fines de semana libres disponibles en el mes o en el año, mientras que “Equilibrios L en FDS (%)” indica la importancia en el equilibrio del total de días libres en fin de semana (formen o no fin de semana libre).

Por ejemplo, un valor de 30 en “Equilibrios FDSL (%)” frente a un valor de 20 para “Equilibrios L en FDS (%)” indica que el equilibrio en el reparto de los fines de semana libres entre trabajadores es prioritario.

Coeficientes de ponderación	
Equilibrios M (%)	7,5
Equilibrios T (%)	7,5
Equilibrios N (%)	25
Equilibrios Total (%)	10
Equilibrios FDSL (%)	30
Equilibrios L en FDS (%)	20

Figura 18. Parámetros y datos de Equilibrios en la asignación de tipos de turno M, T y N para cada trabajador, Equilibrios en la asignación del conjunto de tipos de turno para cada trabajador en un mes y Equilibrios entre la asignación de días de descanso en fin de semana

6.1.4. Datos de configuración del proceso

Son parámetros derivados del diseño del método de resolución. Los valores que adoptan se definen desde la interfaz de la aplicación (Figura 5).

- Objetivo de optimalidad (%): el valor de este parámetro tiene relación directa con la constante K_r empleada en las Heurísticas para el equilibrado de turnos en los subproblemas de asignación mensual y semanal en sus fases de construcción de la solución. Al estar definido como porcentaje, los valores se limitan al rango [0,100].



Figura 19. Parámetro y dato de Objetivo de optimalidad

Esta relación se rige por la función: $K_r = 2 - \left(\frac{\text{Objetivo de optimalidad (\%)}}{100} \right)$

K_r pondera el valor de la media de los turnos que les corresponde a cada trabajador para obtener la optimalidad. Se recuerda a continuación la heurística empleada en el subproblema de asignación mensual.

$$h_{i_{mes}}(n) = (K_r * media_{i_{mes}} - i_{asignados} + C) \geq 0$$

$$\forall i \in \{M, T, N, -\} \text{ y } K_r \in [1, 2]$$

Según esto, la interpretación queda como sigue:

Objetivo de optimalidad (%) = 0 $\rightarrow K_r = 2 \rightarrow$ mayor dispersión/poco equilibrio
 Objetivo de optimalidad (%) = 100 $\rightarrow K_r = 1 \rightarrow$ mayor uniformidad/equilibrado

- Máx. iteraciones año: el número máximo de iteraciones empleado en el problema de asignación de turnos anual. Por ejemplo, una iteración.
- Máx. iteraciones mes: el número máximo de iteraciones empleado en el subproblema de asignación de turnos mensual. Por ejemplo, una iteración.

Figura 20. Parámetros de iteraciones máximas permitidas en el problema de asignación de turnos anual y en el subproblema de asignación de turnos mensual.

6.2. Condiciones previas

Para el correcto arranque del sistema, es necesario disponer de las últimas secuencias establecidas a cada trabajador en el mes anterior. De modo contrario, las reglas de transición para la generación de soluciones no se podrían aplicar. Éstas deben figurar en la hoja “Diciembre” del documento Excel.

El sistema espera que las vacaciones de los empleados sean de un mes natural entero, pudiendo no interpretar correctamente asignaciones de vacaciones repartidas en diferentes puntos del horizonte temporal.

La permisión entre secuencias que se establece en la interfaz de la aplicación tiene carácter general para los empleados que se les puede asignar dos o tres tipos de turnos. Esto no implica que la prohibición (de carácter general) de iniciar una secuencia de un tipo de turno T_i ($\forall i \in \{M, T, N\}$) tras haber asignado una secuencia previa del mismo tipo de turno T_i se respete cuando a un trabajador sólo pueden asignársele el tipo de turno T_i . Para adecuar estos casos excepcionales, se debe proceder como se muestra en el ejemplo siguiente.

- 1) Deshabilitar la prohibición ($N \rightarrow N$) si está habilitada.

N -> N 2 Prohibido → N -> N 2 Prohibido

- 2) Modificar el valor de días de descansos mínimos entre secuencias ($N \rightarrow N$)

N -> N 2 Prohibido → N -> N 3 Prohibido

- 3) Habilitar de nuevo la prohibición ($N \rightarrow N$)

N -> N 3 Prohibido → N -> N 3 Prohibido

6.3. Consideraciones adicionales

El sistema se ejecuta asignando turnos en un horizonte temporal anual desde el primer día del año hasta el último. Por este motivo es difícil saber si un fin de semana es libre, ocupado o con algún día libre hasta que no se ha asignado el domingo.

La consideración que se ha hecho es la de contar que un mes tiene tantas semanas como número de domingos. De tal manera, un mes cuyo inicio se da en domingo, tiene su primer fin de semana en esa posición, aunque el sábado sea el último día del mes anterior.

Además, es posible finalizar la ejecución del proceso en cualquier momento (any-time). De esta manera, los resultados que proporciona el sistema son los mejores obtenidos hasta el momento de la interrupción del proceso.

6.4. Replanificación

El sistema de asignación de turnos desarrollado en este trabajo tiene un horizonte de asignación anual. Pero hay que tener en cuenta que es previsible que existan incidencias, alteraciones o modificaciones en las condiciones de trabajo (disponibilidad del personal, cambios en la demanda, cambios de vacaciones, etc). Ello hace que una planificación anual pueda no ser aplicable a partir de un cierto cambio de escenario.

El proceso desarrollado permite realizar una replanificación de turnos en cualquier momento durante su horizonte de aplicación. Esta funcionalidad está basada en la particularidad del sistema de admitir una asignación preestablecida de los turnos de trabajo. De esta forma, si durante el tiempo de aplicación de una planificación anual se producen cambios que requieren una replanificación desde un momento (D) hasta el final del horizonte temporal de asignación, se puede abordar con el proceso desarrollado realizando los siguientes pasos:

1. Establecer la asignación desde el inicio del horizonte temporal hasta (D).
2. Ejecutar el proceso de asignación con las modificaciones pertinentes. Este nuevo proceso respeta las asignaciones preestablecidas en 1. El resultado proporciona una nueva propuesta de asignación desde el momento (D) hasta el final del horizonte temporal.

En la página siguiente, se muestra un ejemplo.

En esta replanificación, como en otras situaciones, es posible también la asignación de turnos preestablecidos en los días y para los trabajadores que el usuario considere estratégicos o necesarios desde el momento (D) hasta el final del horizonte temporal de asignación.

Los cambios admisibles en la replanificación pueden ser cambios en las asignaciones preestablecidas de turnos, cambios en la disponibilidad de turnos de los trabajadores (incluyendo bajas), cambios de demanda de turnos, y cambios en los datos y parámetros de optimización indicados en “6.1 Parámetros y datos”.

Ejemplo: Cambio de convenio laboral en mayo. El tamaño máximo de las secuencias es de 6 días y los descansos mínimos entre secuencias son de tres días en todos los casos.

1. Se establece la asignación desde enero hasta abril en el fichero de Excel.

(D)

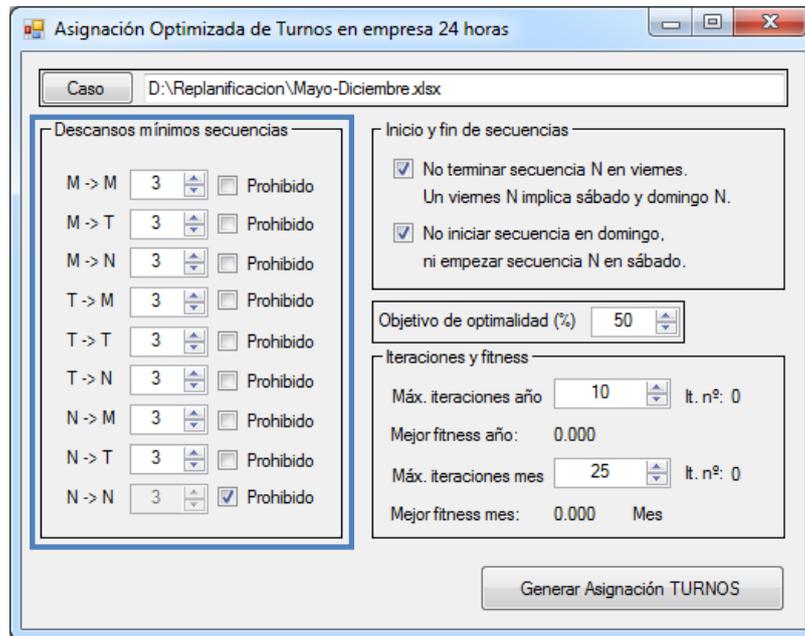
Trabajador	Turnos	Enero							Abril							Mayo							Diciembre							
		M	X	J	V	S	D	L	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X		
		1	2	3	4	5	6	7	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	25	26	27	28	29	30	31		
1	MTN	M	-	-	-	T	T	T	M	M	-	N	N	N	P	P	P	P									P			
2	MTN	N	-	-	T	-	-	T	T	-	-	M	M													P	P	P	P	
3	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	M	M													P	P	P	P
...	...																													
72	MTN	N	-	-	T	T	-	T	T	T	-	-	-	P	P	P	P									P				
73	MTN	P	-	M	M	M	M	M	-	-	-	T	T	T																
74	MTN	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T													P	P	P	P	

2. Realización modificaciones pertinentes y ejecución del sistema.

- En el fichero Excel de la hoja “General” se modifica el valor de “Secuencia máx”

Secuencia min	2
Secuencia máx	6

- En la interfaz del sistema, se modifican los valores de descansos mínimos entre secuencias.



- Se inicia el proceso de replanificación (“Generar Asignación TURNOS”) y se obtiene la replanificación.

Trabajador	Turnos	Enero							Abril							Mayo							Diciembre						
		M	X	J	V	S	D	L	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	
		1	2	3	4	5	6	7	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	25	26	27	28	29	30	31	
1	MTN	M	-	-	-	T	T	T	M	M	-	N	N	N	P	P	P	P	T	T	T	N	N	N	N	N	-	P	
2	MTN	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	M	M	-	-	-	P	P	P	P	N	N	N	
3	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	
72	MTN	N	-	-	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	P	P	P	P	M	M	M	N	N	N	N	N	-	P	
73	MTN	P	-	-	M	M	M	M	M	-	-	-	T	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	M	
74	MTN	-	-	M	M	-	-	-	T	T	-	-	T	T	T	T	T	T	-	-	-	P	P	P	P	-	T	T	

7. Evaluación del método de resolución del problema de asignación de turnos

En primer lugar, en este capítulo se presentan diferentes experimentos realizados para estudiar el comportamiento del método frente a diferentes casos.

Tras ellos, se presenta también los resultados obtenidos para la resolución del problema de asignación de turnos anual y se compara con la asignación real del mismo problema elaborado por una empresa.

7.1. Experimentos realizados

Con carácter general, los valores de los parámetros que se han empleado se listan a continuación.

➤ Calendario laboral:

- Año de asignación = 2008 (año bisiesto).
- Día de inicio del año = martes.
- Meses de vacaciones = julio, agosto y septiembre.
- Puentes:
 - Año nuevo = del 1 al 1 de enero.
 - San Vicente Mártir = del 19 al 22 de enero.
 - San José = del 18 al 19 de marzo.
 - Semana Santa = del 20 al 24 de marzo.
 - San Vicente Ferrer = del 29 al 31 de marzo.
 - Día del trabajador = del 1 al 4 de mayo.
 - Virgen de Agosto = del 15 al 17 de agosto.
 - Día de la Comunidad Valenciana = del 9 al 12 de octubre.
 - Día de Todos los Santos = del 1 al 2 de noviembre.
 - Día de la Constitución – Inmaculada Concepción = del 6 al 8 de diciembre.
 - Navidad = del 24 al 28 de diciembre.
 - Año nuevo siguiente = del 31 al 31 de diciembre.

- Turnos asignables:
 - Denominación de los turnos a asignar:
 - Turno de mañana = M.
 - Turnos de tarde = T.
 - Turno de noche = N.
 - Denominación de otros:
 - Puentes = P.
 - Vacaciones = V.
 - Descansos = -.

- Trabajadores:
 - Tamaño de la plantilla = 74 trabajadores.
 - Tipo de turnos que puede trabajar cada empleado:
 - Trabajador 3 = turnos M.
 - Trabajador 4 = turnos T.
 - Trabajador 9 = turnos de M y T.
 - Resto de trabajadores = turnos de M, T y N.
 - Meses de vacaciones que le corresponde a cada trabajador: indicados en la Figura 21.
 - Puentes que le corresponde a cada trabajador: indicados en Figura 21.

- Demanda diaria por defecto:
 - Laborables en meses:

	M	T	N
No vacacionales	16	16	11
Vacacionales	13	13	9

- Sábados y previos a puentes en meses:

	M	T	N
No vacacionales	16	16	11
Vacacionales	13	13	9

- Domingos y festivos en meses:

	M	T	N
No vacacionales	12	12	11
Vacacionales	9	9	9

Trabajador	Turnos	Vacaciones	AN1	SV	SI	SS	PA	TR	VA	PI	TS	CO	NA	AN2
1	MTN	Julio		X		X		X						X
2	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
3	M	Septiembre					X		X		X		X	
4	T	Julio		X		X		X						X
5	MTN	Agosto	X		X					X		X		
6	MTN	Agosto	X		X					X		X		
7	MTN	Agosto	X		X					X		X		
8	MTN	Agosto	X		X					X		X		
9	MT	Septiembre		X			X				X		X	
10	MTN	Julio		X		X		X						X
11	MTN	Julio		X		X		X						X
12	MTN	Julio		X		X		X						X
13	MTN	Agosto	X		X					X		X		
14	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
15	MTN	Agosto	X		X					X		X		
16	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
17	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
18	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
19	MTN	Julio		X		X		X						X
20	MTN	Julio		X		X		X						X
21	MTN	Agosto	X		X					X		X		
22	MTN	Septiembre		X			X				X		X	
23	MTN	Julio		X		X		X						X
24	MTN	Julio		X		X		X						X
25	MTN	Julio		X		X		X						X
26	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
27	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
28	MTN	Agosto	X		X					X		X		
29	MTN	Julio		X		X		X						X
30	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
31	MTN	Agosto	X		X					X		X		
32	MTN	Septiembre					X	X			X		X	
33	MTN	Agosto	X		X					X		X		
34	MTN	Agosto	X		X					X		X		
35	MTN	Agosto	X		X					X		X		
36	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
37	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
38	MTN	Julio		X		X		X						X
39	MTN	Julio		X		X		X						X
40	MTN	Agosto	X		X					X		X		
41	MTN	Julio		X		X		X						X
42	MTN	Septiembre					X	X			X		X	
43	MTN	Agosto	X		X					X		X		
44	MTN	Julio		X		X		X						X
45	MTN	Agosto	X		X					X		X		
46	MTN	Agosto	X		X					X		X		
47	MTN	Julio		X		X		X						X
48	MTN	Julio		X		X		X						X
49	MTN	Julio		X		X		X						X
50	MTN	Agosto	X		X					X		X		
51	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
52	MTN	Agosto	X		X					X		X		
53	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
54	MTN	Agosto	X		X					X		X		
55	MTN	Julio		X		X		X						X
56	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
57	MTN	Julio		X		X		X						X
58	MTN	Agosto	X		X					X		X		
59	MTN	Julio		X		X		X						X
60	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
61	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
62	MTN	Agosto	X		X					X		X		
63	MTN	Julio		X		X		X						X
64	MTN	Agosto	X		X					X		X		
65	MTN	Agosto	X		X					X		X		
66	MTN	Julio		X		X		X						X
67	MTN	Septiembre					X	X			X		X	
68	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
69	MTN	Julio		X		X		X						X
70	MTN	Septiembre					X		X		X		X	
71	MTN	Agosto	X		X					X		X		
72	MTN	Julio		X		X		X						X
73	MTN	Agosto	X		X					X		X		
74	MTN	Septiembre					X		X		X		X	

Figura 21. Parámetros relativos los tipos, vacaciones y puentes correspondientes a los trabajadores

➤ Datos asociados a restricciones:

- Demanda diaria específica: con carácter general, son iguales a los relativos a la demanda diaria. Sólo en días concretos la demanda aumenta o disminuye en un turno de M o T.
- Disponibilidad de turnos trabajados en el año = 194.
- Rango de turnos mínimo/máximo trabajados por mes = [16, 22] turnos.
- Número de fines de semana libres mínimos asignados en un mes = 1.
- Longitud mínima de la secuencia para cada tipo de turno = 2.
- Longitud máxima de la secuencia para cada tipo de turno = 5.
- Permisi3n entre secuencias: definidas en la interfaz de la aplicaci3n:

Posterior Anterior	M	T	N
M	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
T	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
N	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Descansos m3nimos entre secuencias:

Posterior Anterior	M	T	N
M	2	2	1
T	2	2	2
N	3	2	No aplica

- Asignaciones preestablecidas: se consideran s3lo la reserva de puentes para cada trabajador.
- D3as de inicio de secuencias: “No iniciar secuencia domingo” habilitado.
- D3as de finalizaci3n de secuencias: “No terminar secuencia N viernes” habilitado.

- Datos asociados a los criterios de optimización: son iguales tanto para la evaluación del problema anual como para el subproblema de asignación mensual.
 - Equilibrios en la asignación de tipos de turno M, T y N para cada trabajador:
 - Equilibrios M (%) - $K_M^{11} = 7,5$.
 - Equilibrios T (%) - $K_T^{11} = 7,5$.
 - Equilibrios N (%) - $K_N^{11} = 25$.
 - Equilibrios en la asignación del conjunto de tipos de turno para cada trabajador:
 - Equilibrios Total (%) - $K_t^{11} = 10$.
 - Equilibrios entre la asignación de días de descanso en fin de semana:
 - Equilibrios FDSL (%) - $K_F^{11} = 30$.
 - Equilibrios L en FDS (%) - $K_L^{11} = 20$.

- Datos de configuración del proceso.
 - Objetivo de optimalidad (%) = 0%.
 - Máx. iteraciones año = 1.
 - Máx. iteraciones mes = 100.

11 Coeficiente empleado en la función de evaluación de las soluciones

Los experimentos planteados consisten en la determinación de cómo afecta la variación de los datos de algunos parámetros a la evolución y los valores del fitness y al tiempo computacional que requieren.

Se recuerda que el fitness se calcula teniendo en cuenta la desviación típica poblacional de las distribuciones representativas de cada criterio de optimalidad. Por ello, un bajo valor del fitness es indicativo de menores discrepancias y por lo tanto de mayores equilibrios, que es objetivo perseguido.

Los parámetros y datos cuyos valores se han modificado en los experimentos son:

- Experimento 1. Objetivo de optimalidad (%): 0%, 25%, 50% y 75%.
- Experimento 2. Asignaciones preestablecidas: con y sin ellas para los valores de Objetivos de optimalidad considerados en el experimento 1 y con Máx. iteraciones mes = 50.
- Experimento 3. Disponibilidad de turnos trabajados en el año: con valores de disponibilidad de 184, 194 y 204.
- Experimento 4. Tamaño de la plantilla: con valores de tamaño de la plantilla de 50, 74 y 100.
- Experimento 5. Datos asociados a los criterios de optimización con el valor del objetivo de optimalidad (%) = 75%.
 - Equilibrios M (%) = 100 y el resto sin modificar.
 - Equilibrios T (%) = 100 y el resto sin modificar.
 - Equilibrios N (%) = 100 y el resto sin modificar.
 - Equilibrios Total (%) = 100 y el resto sin modificar.
 - Equilibrios FDSL (%) = 100 y el resto sin modificar.
 - Equilibrios L en FDS = 100 y el resto sin modificar.

En los apartados siguientes se detallan los experimentos y se muestra los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

7.1.1. Evaluación del problema para diferentes objetivos de optimalidad (%)

En esta prueba se evalúa la evolución y valores del fitness con diferentes valores del parámetro de optimalidad (%) que se introduce desde la interfaz del sistema. Se toma como referencia de la evolución del fitness el tiempo computacional y el número de iteraciones, presentando ambas gráficas e indicando el caso que proporciona mayor optimalidad (MEJOR).

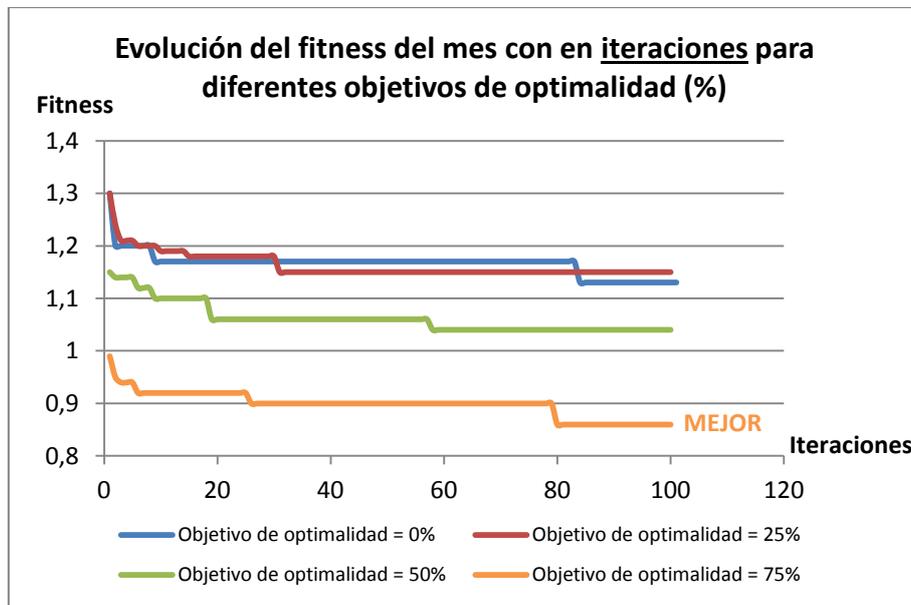
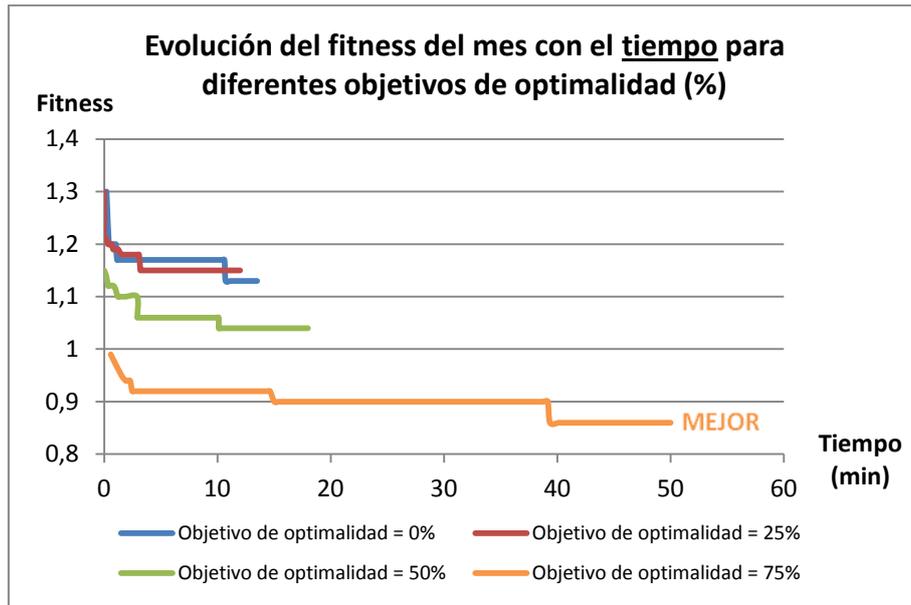
El objetivo de optimalidad (%) se relaciona con la constante K_r presente en las Heurísticas para el equilibrado de turnos, tanto en el subproblema de asignación mensual como en el subproblema de asignación semanal. Se recuerda a continuación, la heurística empleada en el subproblema de asignación mensual.

$$h_{i_mes}(n) = (K_r * media_{i_mes} - i_{asignados} + C) \geq 0$$
$$\forall i \in \{M, T, N, -\} \text{ y } K_r \in [1,2]$$

Los valores empleados para el objetivo de optimalidad (%) con los que se ha realizado el experimento y los correspondientes valores de K_r que se obtienen a partir de ellos, se listan a continuación.

- Objetivo de optimalidad (%) = 0% → $K_r = 2$
- Objetivo de optimalidad (%) = 25% → $K_r = 1,75$
- Objetivo de optimalidad (%) = 50% → $K_r = 1,5$
- Objetivo de optimalidad (%) = 75% → $K_r = 1,25$

No ha sido posible presentar los resultados obtenidos al establecer el objetivo de optimalidad (%) al 100% por el coste computacional requerido. A modo de referencia se puede decir que la iteración que se completó tuvo una duración de 50 minutos y un valor de fitness de 0,37.



En estas gráficas se puede observar cómo el valor de fitness disminuye conforme aumenta el valor del objetivo de optimalidad (%).

Por lo general con valores bajos del objetivo de optimalidad (%) se encuentran soluciones más rápidamente. Además, también es bastante general que cuantas más iteraciones pueda hacer el algoritmo, mejores valores de fitness se podrán obtener.

7.1.2. Evaluación del problema con asignaciones preestablecidas y sin ellas

Otro aspecto importante es conocer cómo se comporta el proceso frente a problemas que tienen la restricción adicional (y muy habitual en escenarios reales) de presentar asignaciones preestablecidas.

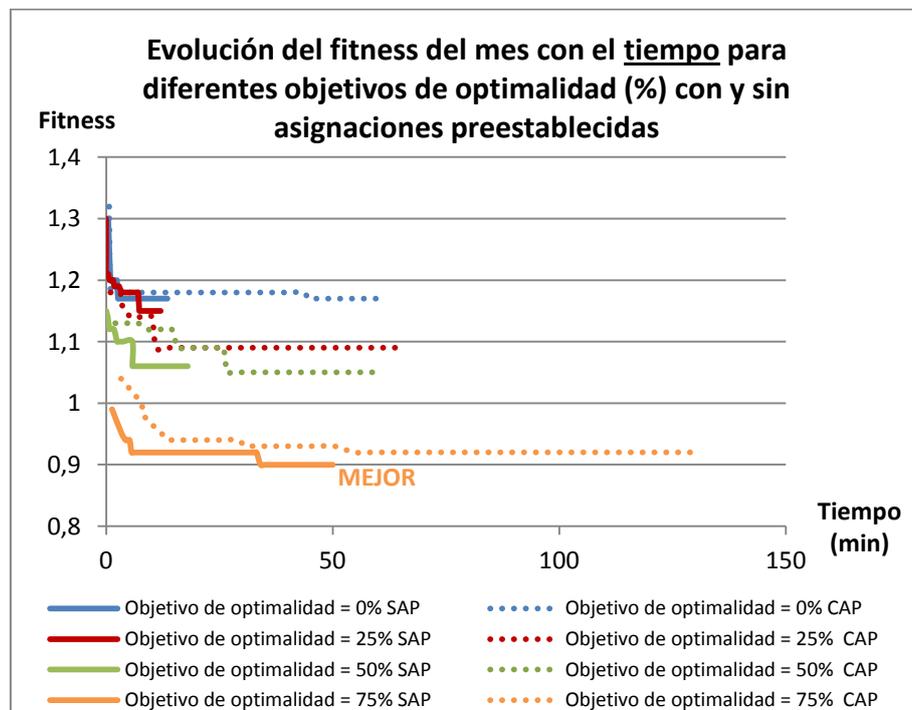
Por ello, en este experimento se ha ejecutado un proceso para un problema en el que existen asignaciones preestablecidas, particularmente puentes.

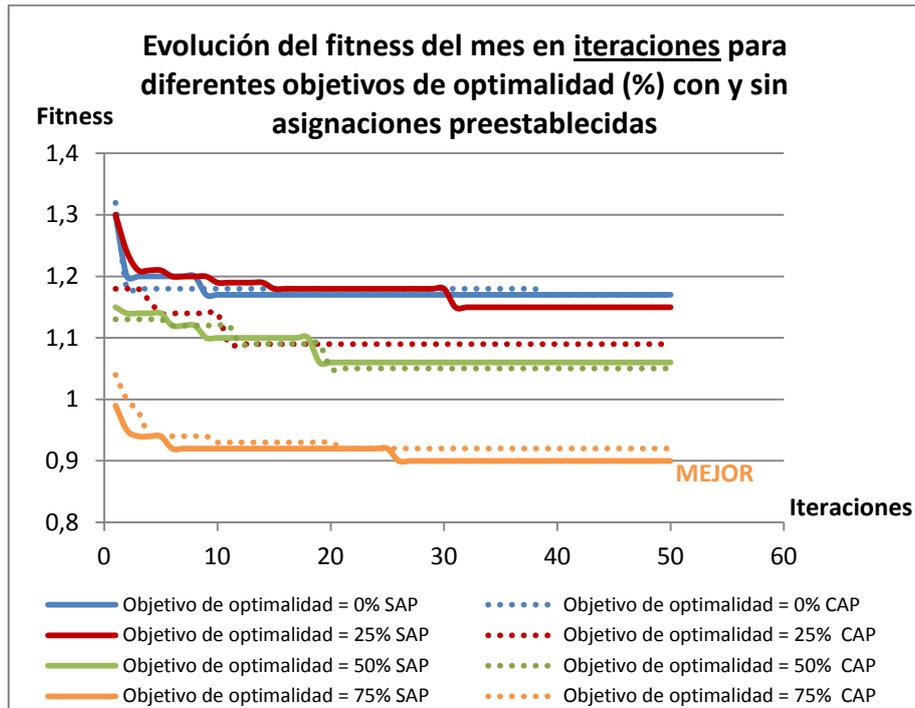
Por disponer de más datos comparativos, también se realizó con diferentes valores del objetivo de optimalidad (%).

En este caso, también se ha modificado el valor del parámetro “Máx. iteraciones mes” estableciéndose en 50 iteraciones.

Se muestran a continuación las gráficas obtenidas. Nótese que las siglas:

- CAP: significa con asignaciones preestablecidas.
- SAP: significa sin asignaciones preestablecidas.





La observación más llamativa que encontramos es la gran diferencia de tiempo de cómputo, que en los casos con asignaciones preestablecidas es más del doble que en los casos sin asignaciones preestablecidas.

A excepción del caso en que el objetivo de optimalidad (%) = 25%, los valores de fitness cuando el problema presenta asignaciones preestablecidas y cuando no lo hace, son del mismo orden de magnitud (transcurridas un número de iteraciones adecuado).

7.1.3. Evaluación del problema en función de la disponibilidad de turnos de los trabajadores

El número de turnos que a un trabajador se le puede asignar al cabo del año (disponibilidad), tiene un efecto directo sobre la demanda diaria máxima que una empresa puede asumir. A mayor disponibilidad, mayor demanda diaria se puede establecer.

Recuérdese que, para que el sistema proporcione soluciones válidas, el cubrimiento de la demanda diaria para todos los días del horizonte temporal debe quedar satisfecho.

Esta prueba, por tanto, tiene como objetivo conocer y evaluar el comportamiento y evolución del fitness cuando se enfrenta a problemas con distintos valores de la disponibilidad de los trabajadores.

En particular, se aborda para tres valores concretos: 184 turnos, 194 turnos (es el valor de disponibilidad empleado en los experimentos con carácter general) y 204 turnos.

Las demandas diarias por defecto¹² quedan:

➤ Disponibilidad = 184

- Laborables en meses:

	M	T	N
No vacacionales	15	15	11
Vacacionales	11	11	8

- Sábados y previos a puentes en meses:

	M	T	N
No vacacionales	15	15	11
Vacacionales	11	11	8

- Domingos y festivos en meses:

	M	T	N
No vacacionales	11	11	11
Vacacionales	8	8	8

➤ Disponibilidad = 204

- Laborables en meses:

	M	T	N
No vacacionales	17	17	12
Vacacionales	13	13	9

- Sábados y previos a puentes en meses:

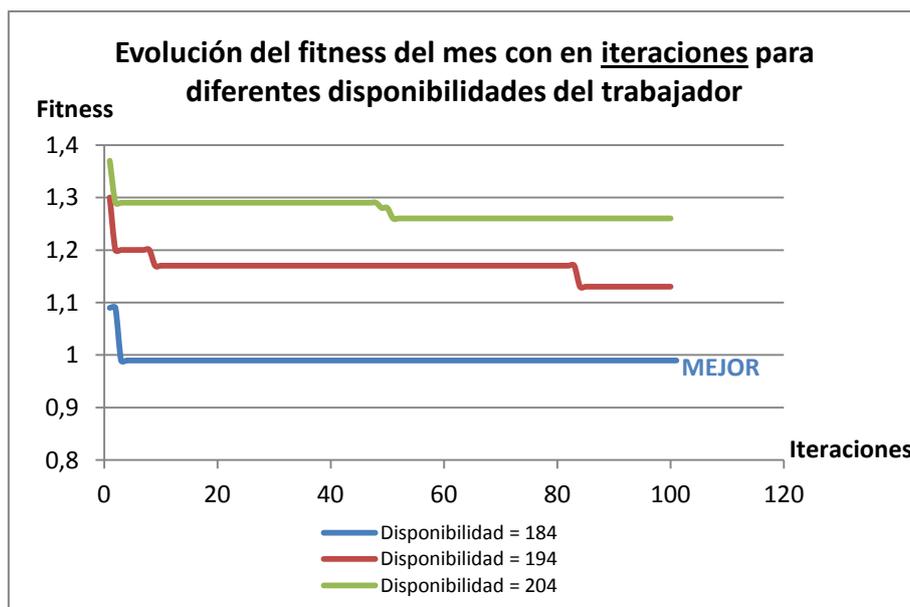
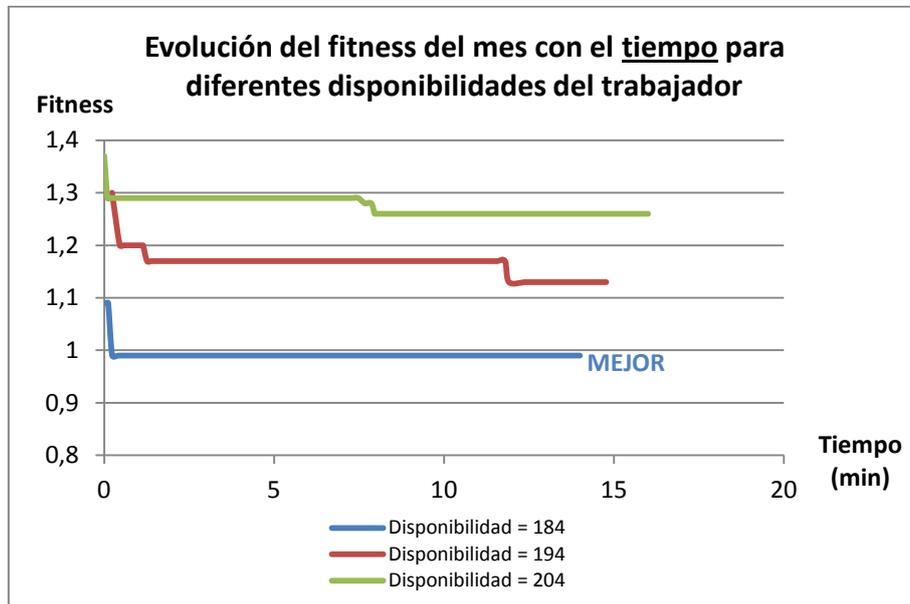
	M	T	N
No vacacionales	15	15	12
Vacacionales	11	11	9

- Domingos y festivos en meses:

	M	T	N
No vacacionales	12	12	12
Vacacionales	9	9	9

¹² Se puede consultar la demanda diaria por defecto cuando la disponibilidad es 194 en la página 58.

Una observación interesante es que, en base a los valores aplicados con carácter general (siendo la plantilla de 74 trabajadores), disminuir/aumentar la disponibilidad del trabajador en 10 días tiene como consecuencia a nivel anual una reducción/aumento de 740 turnos. Estos 740 turnos es lo que trabajan al año más de tres empleados de la plantilla cuando su disponibilidad es igual a 194.

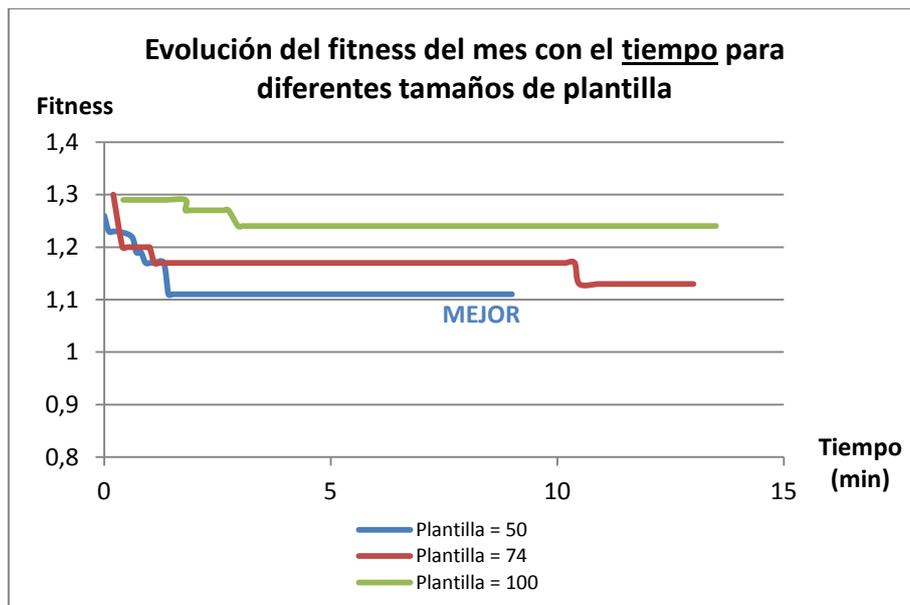


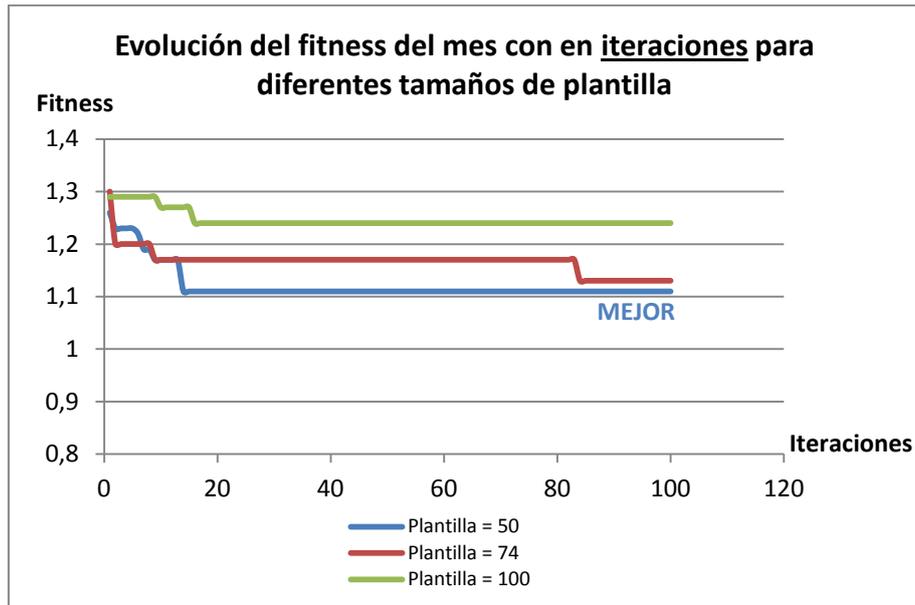
En las gráficas se evidencia que los valores de disponibilidad más bajos proporcionan valores más bajos de fitness, a la vez que tiempos computacionales un poco menores.

7.1.4. Evaluación del problema para diferentes tamaños de plantilla

Una pregunta a la que se considera importante responder es la capacidad del proceso de enfrentarse a escenarios con diferentes niveles de complejidad. Indudablemente, el tamaño de la plantilla de trabajadores es un factor importante que influye en este aspecto.

Para poder valorar la efectividad del sistema, se ha realizado un experimento para diferentes valores de plantilla: plantilla con 50 empleados, plantilla con 74 turnos (es el valor del tamaño de la plantilla empleado en los experimentos con carácter general) y una plantilla de 100 trabajadores.





Se observa que los valores de tamaño de plantilla más bajos proporcionan valores más bajos de fitness. También son los que obtienen soluciones con menor tiempo de cálculo.

7.1.5. Evaluación del problema para diferentes valores de los coeficientes de la función de evaluación

Cuando se realiza un experimento, para evaluar la solución que genera, se emplea la función de evaluación.

En este caso, dicha función de evaluación es la suma ponderada de las desviaciones típicas poblacionales de diferentes distribuciones de datos. Las ponderaciones que se aplican deben ser a consideración del usuario, quien otorga mayor o menor importancia a cada criterio de optimización.

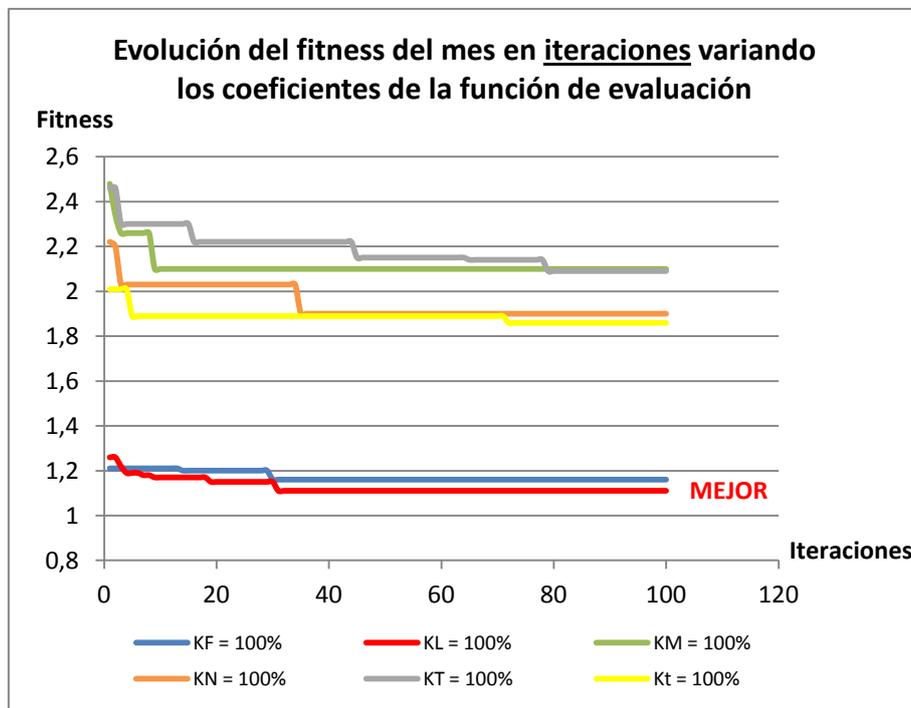
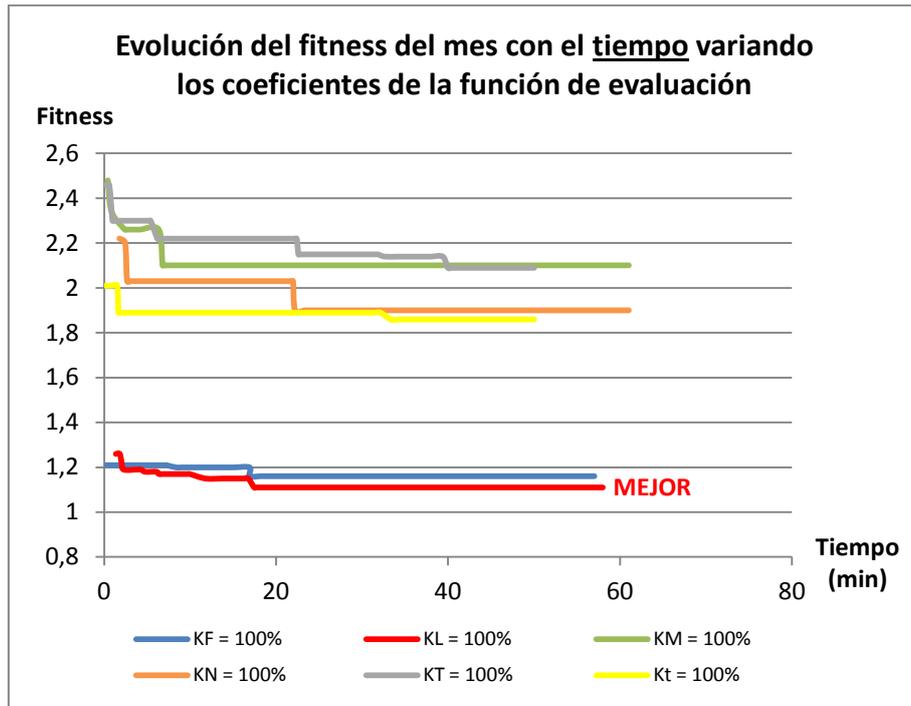
Esta prueba consiste en hacer mucho más prioritario un criterio de optimalidad que el resto de criterios para observar la influencia que tiene en la evolución y valores del fitness.

El valor del parámetro objetivo de optimalidad (%) se ha establecido en 75%, ya que según se ha visto en el experimento “Evaluación del problema para diferentes objetivos de optimalidad (%)”, este valor favorecía la generación de las mejores soluciones.

Los datos asociados a los criterios de optimización adoptan, en cada curva de las gráficas, los siguientes valores:

- Equilibrios M (%) = $K_M = 100$ y el resto con los valores empleados en los experimentos con carácter general.
- Equilibrios T (%) = $K_T = 100$ y el resto con los valores empleados en los experimentos con carácter general.
- Equilibrios N (%) = $K_N = 100$ y el resto con los valores empleados en los experimentos con carácter general.
- Equilibrios Total (%) = $K_t = 100$ y el resto con los valores empleados en los experimentos con carácter general.
- Equilibrios FDSL (%) = $K_F = 100$ y el resto con los valores empleados en los experimentos con carácter general.
- Equilibrios L en FDS (%) = $K_L = 100$ y el resto con los valores empleados en los experimentos con carácter general.

Las gráficas de este experimento, se muestran en la página siguiente.



Se observa un par de comportamientos diferentes, en función de si la prioridad se concede a la consecución del equilibrio en fines de semana libres y días libres en fin de semana (K_F y K_L) o al resto de criterios (K_M, K_T, K_N y K_t).

Para el primer grupo de curvas (K_F y K_L), se observa que los valores de fitness son mucho más bajos que para las otras y con el tiempo proporciona pocas soluciones mucho mejores que las que genera inicialmente.

Dar un mayor peso a los equilibrios de asignación de turnos (curvas K_M, K_T, K_N y K_t), genera una evolución del fitness que disminuye su valor conforme se van realizando iteraciones y son bastante más elevados que los valores para las curvas (K_F y K_L).

Este resultado certifica que la heurística empleada para conseguir el equilibrio en fines de semana libres y días libres en fin de semana, está siendo de gran utilidad.

7.2. Evaluación del problema de asignación de turnos anual con el método diseñado vs. asignación manual

La evaluación de un sistema más completa que se puede hacer, consiste en comparar la solución que genera con una solución realizada mediante otros procedimientos válidos.

En este caso, se ha podido disponer de una solución elaborada manualmente que se ha aplicado en un entorno laboral real.

Los valores de los parámetros y datos empleados en el proceso de resolución corresponden a los que se indica, con carácter general, en “7.1 Experimentos realizados”, a excepción de:

- Objetivo de optimalidad (%) = 75%
- Máx. iteraciones mes = 25.

El tiempo de cómputo consumido en la obtención de la solución mediante el método diseñado asciende a los 524 minutos con un procesador Intel(R) Core(TM) i5 CPU 750 @ 2.67GHz 2.66GHz y RAM 4GB.

La solución completa obtenida con el sistema implementado se puede ver en “ANEXO IV. Asignación obtenida con el método de resolución diseñado”.

A continuación, se presentan los valores de fitness obtenidos para las soluciones a comparar.

Problema/ Subproblema	Valores del fitness	
	Solución método manual	Solución método implementado
Enero	1,51	1,12
Febrero	1,27	0,94
Marzo	1,58	1,15
Abril	1,32	0,93
Mayo	1,55	1,04
Junio	1,39	1,11
Julio	1,26	0,90
Agosto	1,35	1,03
Septiembre	1,25	1,01
Octubre	1,52	1,09
Noviembre	1,33	1,12
Diciembre	1,70	1,13
Anual	19,78	15,25

Se puede observar que, en todos los casos, los valores de fitness de las soluciones conseguidas con el método diseñado para este trabajo son inferiores que sus correspondientes obtenidas de modo manual.

Cabe indicar, que el tiempo computacional empleado de 524 minutos (8 horas y 44 minutos) es un tiempo razonable de cómputo dada la complejidad del problema a resolver.

Además, en este caso, se aporta la ventaja de que es un proceso automático que libera a la persona encargada de la realización de las asignaciones manualmente para poder invertir su tiempo en otras actividades.

7.3. Discusión

Se procede a realizar una recopilación de las observaciones realizadas en los experimentos vistos previamente.

Para empezar, los valores bajos del objetivo de optimalidad (%) proporcionan valores de fitness más elevados (menos óptimas), pero encuentran más rápidamente una solución. Por el contrario, los valores de fitness más bajos (indicativo de menores desviaciones típicas y mejores soluciones), requieren de mayores tiempos de cómputo.

De hecho, cuando el objetivo de optimalidad (%) es del 100%, se obtienen soluciones muy optimizadas (fitness = 0,37). Lamentablemente, en el experimento, sólo se consiguió completar una iteración como se ha comentado. Esto indica que no siempre el proceso podría finalizar si se establece un espacio de búsqueda tan reducido y por tanto, no se recomendaría el uso de este valor del objetivo de optimalidad (%).

El número de iteraciones a introducir dependerá del valor del objetivo de optimalidad (%) escogido y de la necesidad que se tenga de obtener soluciones muy optimizadas o del tiempo disponible para obtenerlas, lo que se puede interpretar como una ventaja que ofrece el sistema al usuario.

Salvo cuando el objetivo de optimalidad (%) = 25% con y sin asignaciones preestablecidas, se puede observar que las discrepancias en el valor de fitness entre ambos casos no son muy elevadas, proporcionando la utilidad para el usuario de incluir sus propias restricciones y poder conseguir buenas soluciones igualmente. No obstante, abordar problemas con restricciones preestablecidas requiere de mayor tiempo computacional para conseguir buenos resultados en la asignación.

El valor de fitness aumenta conforme lo hace la disponibilidad del trabajador. Este aumento provoca que el programa se enfrente a una mayor demanda diaria que cubrir y dificulta la asignación optimizada de los turnos. Se observa que para las disponibilidades más bajas, el tiempo de cómputo es menor así como el valor del fitness.

También se observa que el valor de fitness aumenta conforme aumenta el número de empleados en plantilla. Aunque en todos los casos la disponibilidad es la misma para el trabajador, tener más empleados implica mayor complejidad combinatoria. De hecho, tamaños menores de plantilla facilitan la consecución de resultados más optimizados en menores tiempos.

Por último, se observa que la evaluación del fitness al cambiar los coeficientes de ponderación también varía siguiendo dos modelos de comportamiento diferentes.

Por una parte, está el modelo de evolución del grupo de casos correspondiente a los cambios en los coeficientes que ponderan las desviaciones típicas de la asignación de turnos (tanto si son de turnos concretos como si es de la suma de todos ellos). Por otra, los correspondientes a la ponderación de las desviaciones típicas en la asignación de fines de semana libres y días libres en fin de semana.

Dar un mayor peso a los equilibrios de asignación de turnos, genera una evolución del fitness que disminuye su valor conforme se van realizando iteraciones. Los valores de fitness son bastante más elevados que los que proporcionan los casos en los que se mayoran los coeficientes que ponderan los equilibrios en días libres en fin de semana y fines de semana libres. Estos últimos evolucionan poco conforme se va iterando y los valores de fitness que proporcionan son bajos desde el primer momento.

Este resultado certifica que la heurística empleada para conseguir el equilibrio en fines de semana libres y días libres en fin de semana, está siendo de gran utilidad.

Se aporta una tabla resumen de lo comentado.

Parámetro / Dato	Menor fitness (Mayor optimalidad)	Rapidez computacional	Observaciones
Objetivo de optimalidad (%)	Valores altos	Valores bajos	No recomendable el empleo del 100%
Asignaciones preestablecidas		Sin asignaciones preestablecidas	Los valores del fitness con y sin asignaciones preestablecidas, del mismo orden de magnitud
Disponibilidad del trabajador	Valores bajos	Valores bajos	
Tamaño de la plantilla	Valores bajos	Valores bajos	
Equilibrios M (%) K_M	Valores bajos		
Equilibrios T (%) K_T	Valores bajos		
Equilibrios N (%) K_N	Valores bajos		
Equilibrios Total (%) K_t	Valores bajos		
Equilibrios FDSL (%) K_F	Valores altos		
Equilibrios L en FDS (%) K_L	Valores altos		

8. Conclusiones generales

En este Trabajo Final de Máster, se ha analizado el problema de la asignación de turnos en escenarios laborales con actividad las 24 horas del día y todos los días del año.

Se han analizado sistemas y técnicas relacionadas y se ha propuesto, mediante la realización de un diseño, desarrollo, implementación y evaluación, un método metaheurístico para la resolución de este tipo de problemas.

Gracias a la experimentación realizada, se ha comprendido mejor el comportamiento del método diseñado y los aspectos que lo caracterizan. Con esto, se ha podido proceder en buenas condiciones a la resolución de un problema real de asignación de turnos que desde el principio motivó este Trabajo Final de Máster.

Dado que se disponía de una solución que una empresa habido elaborado de modo manual, se ha podido comparar la evaluación de las dos soluciones. La solución que ha proporcionado la implementación del método diseñado posee mayor optimalidad que la realizada manualmente y, claro está, de manera automática.

Una particularidad del método implementado, en comparación con los sistemas comerciales, es que el tiempo computacional requerido para la resolución del problema, ha resultado más elevado. Afortunadamente, las nuevas tecnologías y las mejoras de los equipos informáticos facilitan que, cada vez más, los tiempos de cómputo no supongan una barrera infranqueable. Además, también es importante tener en cuenta que el tiempo invertido en la resolución es asumible, ya que se trata de un problema de asignación de alta complejidad en un horizonte temporal anual.

A pesar de todo, disminuir los tiempos de cálculo siempre es una mejora a tener en cuenta de cara al futuro.

Otra característica detectada es que, el método desarrollado, requiere que las vacaciones de los trabajadores sean de un mes natural entero. Esto se ha hecho así por la influencia que tiene la disposición de las vacaciones a la hora de calcular los rangos de optimalidad de asignación de fines de semana libres y de las medias de los turnos.

Una posible mejora de flexibilidad, sería la de poder reconocer las vacaciones en cualquier mes o fracción de mes evolucionando las heurísticas para que sean aplicables a situaciones más generales.

Una cuestión fundamental es que la metodología aplicada, pese a que en la implementación soporta un número concreto de tipos de turnos, permite la escalabilidad. Por lo tanto, el número de tipos turnos no supone ninguna limitación para su correcto funcionamiento.

En resumen, el método propuesto posee una serie de ventajas como las que siguen:

- Automatización del proceso: la asignación de turnos elaborada de manera manual es tediosa y poco productiva en algunos casos.
- Optimalidad de la solución: teniendo en cuenta que se debe garantizar el cubrimiento completo de la demanda, además proporciona optimalidad en el reparto de fines de semana libres y días libres en fin de semana.
- Elevado grado de flexibilidad: mediante el uso de parámetros que el usuario establece a conveniencia. Por ejemplo, el hecho de generar soluciones en base a las circunstancias del usuario (más o menos óptimo modificando el valor del Objetivo de optimalidad (%), por ejemplo).
- Utilidades adicionales:
 - Dimensionado de la plantilla para una demanda dada. Al igual que otros sistemas, el método propuesto permite dimensionar la plantilla sin límite prefijado (salvo detalles de la implementación concreta).
 - Replanificación y resolución de incidencias. De manera sencilla: se elimina la parte de la asignación en conflicto y se lanza de ejecución (funcionamiento en base a asignaciones preestablecidas).

Para finalizar, se debe decir que el trabajo desarrollado ha sido realmente intenso, ya que consistía fundamentalmente en contrastar la aplicabilidad de las técnicas informáticas inteligentes para la resolución de problemas reales.

Afortunadamente, también ha resultado muy interesante de realizar y ha contribuido en el desarrollo de la alumna de su capacidad y experiencia en la resolución de esta tipología de problemas de claro componente profesional y aplicado.

Por ello, se pueden dar los objetivos de este Trabajo Final de Máster como conseguidos.

9. Bibliografía

Álvarez, D., Toro, E. M., & Gallego, R. A. (2010). Multiskilled Workforce Scheduling for Business with Variable Demand Using the Grasp Algorithm. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* , 2 (16), 85-92.

Crew scheduling. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2015, de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Crew_scheduling

Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research* (153), 3-27.

GPS Company. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2015, de http://www.gps-plan.com/BOLD_WorkPlanner.html

Kronos. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.kronos.com/scheduling-software/employee-scheduling-software.aspx>

OptaPlanner. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.optaplanner.org/>

Optek Systems, INC. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.opttek.com/OptQuest>

Palma, & Marín. (2008). *Inteligencia Artificial. Técnicas, Métodos y Aplicaciones*. McGraw Hill.

Russell, S., & Norving, P. (2009). *Inteligencia Artificial . Un enfoque moderno*. Prentice Hall.

van der Veen, E., Hans, E. W., Post, G. F., & Veltman, B. (2015). Shift rostering using decomposition: assign weekend shifts first. *Journal of scheduling* , 1 (18), 29-43.

ANEXO I. Cálculo de los fines de semana libres a partir de la demanda

Cálculo de fines de semana en una semana

$$F_{sem} = \min(S_L + S_P, D_L + D_P) - \sum_i \max(0, D_i - S_i) - \max(0, V_N - S_N)$$

$$\forall i \in \{M, T, N\}$$

$$SD_{sem} = S_L + S_P + D_L + D_P - 2F$$

donde F_{sem} es el máximo número de fines de semana libres que se pueden conseguir en una semana.

S_L es la demanda de días libres en el sábado de la semana.

S_P es la asignación de días de puente en el sábado de la semana.

D_L es la demanda de días libres en el domingo de la semana.

D_P es la asignación de días de puente en el domingo de la semana.

S_i es la demanda de días con turno i en el sábado de la semana.

D_i es la demanda de días con turno i en el domingo de la semana.

V_N es la demanda de días con turno N en el viernes de la semana.

S_N es la demanda de días con turno N en el sábado de la semana.

SD_{sem} es el mínimo número de días libres en fin de semana que pueden conseguir en una semana.

Cálculo de fines de semana en un mes

$$F_{mes} = \sum F_i \quad \forall i \in [0, \dots, N] \quad SD_{mes} = \sum SD_i \quad \forall i \in [0, \dots, N]$$

donde F_{mes} es el número de fines de semana libres total que se pueden conseguir en el mes.

F_i es el número máximo de fines de semana libres que se pueden conseguir en la semana i .

N es el número total de semana en el mes.

SD_{mes} el mínimo número de días libres en fin de semana que pueden conseguir en el mes.

SD_i es el número mínimo de días libres en fin de semana que se pueden conseguir en la semana i .

Cálculo de fines de semana en un año

$$F_{año} = \sum F_i \quad \forall i \in [0, \dots, M] \quad SD_{año} = \sum SD_i \quad \forall i \in [0, \dots, M]$$

donde $F_{año}$ fines de semana libres totales que se pueden conseguir en el año.

F_i máximo número de fines de semana libres que se pueden conseguir en el mes i .

N es el número total de meses en el año.

$SD_{año}$ días libres en fin de semana mínimos que pueden conseguir en el año.

SD_i días libres en fin de semana mínimos que se pueden conseguir en el mes i .

ANEXO II. Cálculo de los límites óptimos de asignación fines de semana libres y días libres en fin de semana

Cálculo del rango [F_{min} , F_{max}]

$$\bar{F} = \frac{F_i}{Trabajadores}$$

$$F_{min} = Truncar(\bar{F})$$

$$F_{max} = F_{min} + C_F \quad \text{con } C_F = 1 \text{ Si } (\bar{F} > 0) \text{ (0 en caso contrario)}$$

$$\forall i \in \{Enero, \dots, Diciembre\}$$

donde \bar{F} es la media de fines de semana libres que le corresponde a cada trabajador en el mes.

F_i es el número total de fines de semana libres que se pueden conseguir en el mes i .

Trabajadores es el número total de trabajadores sin vacaciones en el mes i .

F_{min} es el número de fines de semana libres mínimo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

F_{max} es el número de fines de semana libres máximo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

C_F es una constante de ajuste del rango superior de fines de semanas máximos permitidos a cada trabajador en el mes i .

Cálculo del rango [L_{min} , L_{max}]

$$Trab_a_incrementarL = F_i - (F_{min} + 1) \cdot Trabajadores + SD_i$$

$$\bar{L} = \frac{2 \cdot F_i + SD_i}{Trabajadores}$$

$$L_{min} = Truncar(\bar{L}) \quad Si (Trab_a_incrementarL \geq 0)$$

$$L_{min} = 2 \cdot F_{min} \quad Si (Trab_a_incrementarL < 0)$$

$$L_{max} = MAX(L_{min} - C_L, 2 \cdot F_{max}) \quad con \quad C_L = MIN(0, MIN(-1, \bar{L} - L_{min}))$$

$$\forall i \in \{Enero, \dots, Diciembre\}$$

donde ***Trab_a_incrementarL*** es un parámetro de determinación de si se pueden asignar más días libres en fin de semana que F_{min} .

F_i número total de fines de semana libres que se pueden conseguir en el mes.

F_{min} es el número de fines de semana libres mínimo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

Trabajadores es el número total de trabajadores sin vacaciones en el mes.

\bar{L} es la media del total de los días libres en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que le corresponde a cada trabajador en el mes.

SD_i es el número total de días libres en fin de semana que no pueden formar fin de semana libre que se pueden conseguir en el mes.

L_{min} es el número de días libres mínimo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

F_{min} es el número de fines de semana libres mínimo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

L_{max} es el número de días libres máximo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

C_L es una función de ajuste del rango superior de días libres máximo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) permitidos a cada trabajador en el mes.

F_{max} es el número de fines de semana libres máximo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

Cálculo del rango [SD_{min} , SD_{max}]

$$SD_{min} = MIN(L_{min} - 2 \cdot F_{min}, L_{max} - 2 \cdot F_{max})$$

$$Trab_{con_F_{min}} = MIN\left(Trabajadores, \frac{F_i - F_{max} \cdot Trabajadores}{(F_{min} - F_{max})}\right)$$

$$\overline{SD} = \frac{SD_i}{Trab_{con_F_{min}}}$$

$$SD_{a_repartir} = SD_i - Truncar(\overline{SD}) \cdot Trab_{con_F_{min}}$$

$$SD_{max} = Truncar(\overline{SD}) + 1 \quad Si (SD_{a_repartir} > 0)$$

$$SD_{max} = MAX(1, Truncar(\overline{SD})) \quad Si (SD_{a_repartir} \leq 0)$$

$$\forall i \in \{Enero, \dots, Diciembre\}$$

donde SD_{min} es el número de días libres mínimo en fin de semana (que no pueden formar fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

L_{min} es el número de días libres mínimo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

F_{min} es el número de fines de semana libres mínimo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

L_{max} es el número de días libres máximo en fin de semana (formen o no fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

F_{max} es el número de fines de semana libres máximo que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

$Trab_{con_F_{min}}$ es el número de trabajadores a los que sólo se les puede asignar F_{min} fines de semana libres.

F_i total de fines de semana libres que se pueden conseguir en el mes.

\overline{SD} es la media del total de días libres en fin de semana (que no pueden formar fin de semana libre) que le corresponde los $Trab_{con_F_{min}}$ en el mes.

SD_i es el número total de días libres en fin de semana que no pueden formar fin de semana libre que se pueden conseguir en el mes.

SD_a_repartir es un parámetro para establecer el reparto equitativo de días libres en fin de semana (que no formen fin de semana libre) entre los ***Trab_con_F_{min}*** en el mes.

SD_{max} es el número de días libres máximo en fin de semana (que no pueden formar fin de semana libre) que se le puede asignar a cada trabajador en el mes.

ANEXO III. Cálculo de las desviaciones típicas empleadas en las funciones de evaluación

Cálculo de las desviaciones típicas de las distribuciones de asignación de turnos.

$$\sigma_i^k = \sqrt{\frac{\sum_i (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{Trabajadores}}$$

$$\forall i \in \{M, T, N\}$$

$$\forall j \in [1, Trabajadores]$$

$$\forall k \in \{Enero, \dots, Diciembre\} \cup \{Año\}$$

donde σ_i^k es la desviación típica poblacional para cada turno i asignado a los trabajadores en un mes/año k .

x_{ij} es la asignación del total de turnos i al trabajador j en un mes/año k .

\bar{x}_i es la media aritmética de la asignación a los trabajadores del número de turnos i en un mes/año k .

Trabajadores es el número total de trabajadores sin vacaciones en el mes k o el total de la plantilla cuando k es el año.

Cálculo de las desviaciones típicas de las distribuciones de asignación del total turnos.

$$\sigma_t^k = \sqrt{\frac{\sum_j (x_{tj} - \bar{x}_t)^2}{\text{Trabajadores}}}$$

$$\forall j \in [1, \text{Trabajadores}]$$

$$\forall k \in \{\text{Enero}, \dots, \text{Diciembre}\} \cup \{\text{Año}\}$$

donde σ_t^k es la desviación típica poblacional del total de turnos asignados a los trabajadores en un mes/año k .

x_{tj} es la asignación del total de turnos al trabajador j en un mes/año k .

\bar{x}_t es la media aritmética de la asignación a los trabajadores del número total de turnos en un mes/año k .

Trabajadores es el número total de trabajadores sin vacaciones en el mes k o el total de la plantilla cuando k es el año.

Cálculo de las desviaciones típicas de las distribuciones de asignación de fines de semana.

$$\sigma_F^k = \sqrt{\frac{\sum_j (x_{Fj} - \bar{x}_F)^2}{\text{Trabajadores}}}$$

$$\forall j \in [1, \text{Trabajadores}]$$

$$\forall k \in \{\text{Enero}, \dots, \text{Diciembre}\} \cup \{\text{Año}\}$$

donde σ_F^k es la desviación típica poblacional del total de fines de semanas libres asignados a los trabajadores en un mes/año k .

x_{Fj} es la asignación de fines de semana libres al trabajador j en un mes/año k .

\bar{x}_F es la media aritmética de la asignación a los trabajadores de fines de semana libres en un mes/año k .

Trabajadores es el número total de trabajadores sin vacaciones en el mes k o el total de la plantilla cuando k es el año.

Cálculo de las desviaciones típicas de las distribuciones de asignación del total de libre en fines de semana.

$$\sigma_L^k = \sqrt{\frac{\sum_j (x_{Lj} - \bar{x}_F)^2}{\text{Trabajadores}}}$$

$$\forall j \in [1, \text{Trabajadores}]$$

$$\forall k \in \{\text{Enero}, \dots, \text{Diciembre}\} \cup \{\text{Año}\}$$

donde σ_L^k es la desviación típica poblacional del total de días libres en fin de semana (formen o no fin de semana libre) asignados a los trabajadores en un mes/año k .

x_{Lj} es la asignación del total de días libres en fin de semana (formen o no fin de semana libre) al trabajador j en un mes/año k .

\bar{x}_F es la media aritmética de la asignación a los trabajadores del total de días libres en fin de semana (formen o no fin de semana libre) en un mes/año k .

Trabajadores es el número total de trabajadores sin vacaciones en el mes k o el total de la plantilla cuando k es el año.

Asignación obtenida con el método de resolución diseñado para el mes de Febrero

		Febrero																												
		V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Trabajador	Turnos																													
1	MTN	-	-	-	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M
2	MTN	-	-	-	M	M	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-
3	M	M	M	-	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	M
4	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T
5	MTN	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M
6	MTN	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	M	M	
7	MTN	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	
8	MTN	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	
9	MT	M	M	-	-	M	M	-	-	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M
10	MTN	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	
11	MTN	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T
12	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	
13	MTN	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	N	N	
14	MTN	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	T	T	
15	MTN	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	M	M	
16	MTN	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	T	T	-	
17	MTN	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	N	N	N	
18	MTN	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	-	-	M	M	M	
19	MTN	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N
20	MTN	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	
21	MTN	-	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	-	-	M	M
22	MTN	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	
23	MTN	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	
24	MTN	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	
25	MTN	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	N	N	N	-	-	
26	MTN	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	I	I	I	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	
27	MTN	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	N	N	
28	MTN	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	
29	MTN	M	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	-	N	N	-	
30	MTN	M	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	
31	MTN	-	-	-	M	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	
32	MTN	M	-	-	N	N	-	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T
33	MTN	T	T	T	-	-	N	N	-	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	
34	MTN	-	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	
35	MTN	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	T	-	
36	MTN	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	N	N	N	-	
37	MTN	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	
38	MTN	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	
39	MTN	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	T	T	T	
40	MTN	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	N	
41	MTN	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	
42	MTN	T	-	-	-	T	T	T	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	N	N	
43	MTN	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	M	M	
44	MTN	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	M	M	-	-	
45	MTN	N	N	N	N	N	-	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	-	T	T	-	
46	MTN	-	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M	M	M	
47	MTN	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	
48	MTN	-	-	-	M	M	-	-	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M
49	MTN	M	-	-	-	T	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T
50	MTN	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M	M	M	
51	MTN	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T
52	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-	-	
53	MTN	T	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T
54	MTN	-	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	-	
55	MTN	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	N	N
56	MTN	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	-	
57	MTN	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	-	N	N	
58	MTN	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	M	M	M	
59	MTN	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	M	M	-	-	T	T	
60	MTN	M	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M
61	MTN	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	T	T	-	
62	MTN	M	M	M	-	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	M	M	M	
63	MTN	N	N	N	-	-	M	M	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	-	
64	MTN	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	
65	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	T	T	-	
66	MTN	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N	N	-	
67	MTN	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	
68	MTN	-	-	M	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	T	T	
69	MTN	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N	N	N	
70	MTN	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	M	M	M	
71	MTN	-	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	T	T	
72	MTN	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N	N	N	
73	MTN	M	-	-	-	M	M	M	-	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	T	T	T	
74	MTN	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-				

Asignación obtenida con el método de resolución diseñado para el mes de Mayo

		Mayo																																	
		J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S			
Trabajador	Turnos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
		TR	TR	TR	TR																														
1	MTN	P	P	P	P	T	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-			
2	MTN	T	T	-	-	-	M	M	-	-	-	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M			
3	M	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	M	M	M	M	-	M	M			
4	T	P	P	P	P	T	T	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	T	T	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T			
5	MTN	M	M	M	M	-	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	N	N			
6	MTN	T	T	T	T	-	-	N	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N			
7	MTN	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-			
8	MTN	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	-				
9	MT	M	M	M	M	M	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-				
10	MTN	P	P	P	P	M	M	-	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	T	T	T	T	-				
11	MTN	P	P	P	P	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	T	T	T	-	N	N	-	-	-	M	M	M				
12	MTN	P	P	P	P	M	M	-	M	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M			
13	MTN	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	-	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-				
14	MTN	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	M	M	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-				
15	MTN	T	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	N	N			
16	MTN	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-			
17	MTN	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	N	N			
18	MTN	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	N	N	-	-	M	M		
19	MTN	P	P	P	P	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-			
20	MTN	P	P	P	P	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	-	T	T		
21	MTN	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T			
22	MTN	T	-	-	-	N	N	N	-	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-			
23	MTN	P	P	P	P	M	M	M	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-			
24	MTN	P	P	P	P	M	M	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M			
25	MTN	P	P	P	P	-	-	T	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N		
26	MTN	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	M	M	-	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T	T	
27	MTN	-	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-		
28	MTN	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	M	M	-	-	-	M	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	T	-		
29	MTN	P	P	P	P	-	-	T	T	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	N	N	N	N	-	-		
30	MTN	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-		
31	MTN	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	
32	MTN	P	P	P	P	N	N	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-	M	M	T	T	T	-		
33	MTN	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	T	T	T	-	-		
34	MTN	N	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	-	N	N	-	-	-	T	T	-	-	T	T		
35	MTN	T	T	-	-	N	N	-	-	M	M	-	N	N	-	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-		
36	MTN	M	M	M	M	-	N	N	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	-	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-		
37	MTN	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	N	N	N	N	-	-		
38	MTN	P	P	P	P	M	M	M	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-		
39	MTN	P	P	P	P	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-		
40	MTN	T	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	M	M	-	-	-		
41	MTN	P	P	P	P	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-		
42	MTN	P	P	P	P	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	-	
43	MTN	M	M	M	M	-	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	N	N	-	
44	MTN	P	P	P	P	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	T	T	T	-	-	-	N	N	N	N	-	-	-		
45	MTN	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	M	M	-	-	-	T	T	-	-	-	M	M	M	-	
46	MTN	N	N	N	N	-	-	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	T	-	-		
47	MTN	P	P	P	P	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	
48	MTN	P	P	P	P	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	
49	MTN	P	P	P	P	T	T	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	N	N	-	-	T	T	-
50	MTN	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	
51	MTN	T	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	-	M	M	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	
52	MTN	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	N	N	-	
53	MTN	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	
54	MTN	N	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	
55	MTN	P	P	P	P	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	
56	MTN	M	M	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	N	N	N	N	-	-	
57	MTN	P	P	P	P	T	T	T	T	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	
58	MTN	N	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	
59	MTN	P	P	P	P	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	
60	MTN	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	
61	MTN	-	-	M	M	M	M	M	-	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	
62	MTN	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	N	N	-	-	M	M	-	
63	MTN	P	P	P	P	N	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	
64	MTN	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
65	MTN	N	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	
66	MTN	P	P	P	P	M	M	M	M	-																									

Asignación obtenida con el método de resolución diseñado para el mes de Junio

		Junio																																			
		D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
Trabajador	Turnos																																				
1	MTN	-	T	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	T						
2	MTN	N	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	-	T						
3	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	M	M	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	-	M						
4	T	-	-	T	T	T	T	-	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	-	T							
5	MTN	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T						
6	MTN	-	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	M							
7	MTN	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	-	M	M							
8	MTN	-	-	N	N	-	-	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	-	T							
9	MT	-	T	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	-	M							
10	MTN	-	-	M	M	M	-	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	-	T							
11	MTN	-	N	N	N	N	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-							
12	MTN	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	-	T	T							
13	MTN	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-							
14	MTN	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	-	T							
15	MTN	N	N	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	T						
16	MTN	-	-	M	M	M	-	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-							
17	MTN	N	-	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	T						
18	MTN	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M						
19	MTN	M	-	N	N	-	-	-	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N						
20	MTN	T	-	-	N	N	-	-	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	T						
21	MTN	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	T						
22	MTN	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-						
23	MTN	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-						
24	MTN	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	N	N	-	-	T	T	T	T	T	T	-	-	-	-	-						
25	MTN	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	-						
26	MTN	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	T						
27	MTN	-	-	-	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	-	-	T						
28	MTN	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	N	N						
29	MTN	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	-	M						
30	MTN	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T					
31	MTN	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-						
32	MTN	-	-	-	M	M	-	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	T					
33	MTN	-	N	N	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M					
34	MTN	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	-	M	M	-	-	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	N						
35	MTN	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	N					
36	MTN	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-					
37	MTN	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	-					
38	MTN	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	-					
39	MTN	M	-	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	T					
40	MTN	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
41	MTN	N	N	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	-	-	-					
42	MTN	-	N	N	-	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	N	N						
43	MTN	N	-	-	T	T	-	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M						
44	MTN	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	-	-	-					
45	MTN	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	-	-	-	M					
46	MTN	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-					
47	MTN	T	-	-	M	M	M	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	-					
48	MTN	M	-	-	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-				
49	MTN	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	-	-				
50	MTN	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	-	-				
51	MTN	-	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	-				
52	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	-	-	-	-				
53	MTN	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	-	-	-				
54	MTN	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	-				
55	MTN	T	T	-	-	M	M	-	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-				
56	MTN	-	T	T	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-				
57	MTN	-	N	N	N	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	T	T	-	-	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-			
58	MTN	M	M	-	-	-	M	M	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	-	-			
59	MTN	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	-			
60	MTN	-	-	T	T	-	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-		
61	MTN	-	M	M	M	M	-	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
62	MTN	-	N	N	-	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
63	MTN	-	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	
64	MTN	M	-	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
65	MTN	-	-	N	N	-	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	MTN	-	-	T	T	T	T	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	MTN	N	-	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	MTN	M	-	-	M	M	M	-	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	-	-	-	-	M	M	-												

Asignación obtenida con el método de resolución diseñado para el mes de Julio

		Julio																																					
		M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
Trabajador	Turnos																																						
1	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V				
2	MTN	T	-	N	N	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	M	M	M	M	M	M	M				
3	M	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	M	M	M	-	M	M	M	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	M	M	M	M	M	M	M				
4	T	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V			
5	MTN	-	T	T	T	T	T	T	-	N	N	-	T	T	T	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M				
6	MTN	-	N	N	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T				
7	MTN	M	M	M	-	T	T	T	T	-	T	T	T	T	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-				
8	MTN	T	T	-	T	-	-	N	N	-	T	T	T	T	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M				
9	MT	M	M	M	M	M	-	T	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M				
10	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V			
11	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V			
12	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V			
13	MTN	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	M	-	-	M	M	-	N	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T				
14	MTN	T	T	-	M	M	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
15	MTN	-	M	M	M	M	-	T	T	T	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16	MTN	-	M	M	-	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	T	T	T	-	T	T	T	-	M	M	M	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M			
17	MTN	-	T	T	-	-	-	N	N	N	-	T	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
18	MTN	M	M	-	N	N	N	N	N	N	-	-	-	M	M	-	T	T	T	T	T	T	T	-	M	M	M	-	T	T	T	T	T	T	T	T			
19	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
20	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
21	MTN	-	M	M	M	M	M	-	M	M	-	-	N	N	N	-	T	T	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	-	-	-	-			
22	MTN	T	T	-	M	M	-	M	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	M	M	-	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N			
23	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
24	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
25	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
26	MTN	T	-	-	N	N	N	N	N	N	-	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
27	MTN	-	N	N	N	N	N	-	M	M	M	-	T	T	T	-	T	T	T	-	T	T	T	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
28	MTN	T	T	T	-	M	M	-	T	T	-	M	M	M	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
29	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
30	MTN	-	-	-	T	T	T	-	N	N	-	-	-	M	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
31	MTN	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	T	-	-	N	N	N	N	-	T	T	T	T	-	M	M	M	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
32	MTN	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	M	-	M	M	-	N	N	N	-	N	N	N	-	T	T	T	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
33	MTN	M	M	-	N	N	N	N	N	N	-	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	M	M	M	M	M	M	M	M		
34	MTN	N	-	T	T	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	M	M	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
35	MTN	N	N	N	-	T	T	T	-	M	M	-	-	M	M	M	M	M	-	T	T	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
36	MTN	T	T	T	-	M	M	M	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-		
37	MTN	-	-	N	N	N	N	N	N	N	-	T	-	-	T	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	M	M	M	-	M	M	M	M	M	M	M	M		
38	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
39	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
40	MTN	T	T	-	T	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-	
41	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
42	MTN	T	T	-	-	T	T	T	T	-	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
43	MTN	M	M	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
44	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
45	MTN	M	-	-	M	M	-	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
46	MTN	-	T	T	-	M	M	-	-	N	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
47	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
48	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
49	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
50	MTN	N	N	N	-	-	M	M	-	T	T	-	T	T	T	-	M	M	M	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
51	MTN	M	M	M	-	M	M	-	T	T	-	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
52	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
53	MTN	T	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	T	T	T	-	N	N	N	N	-	-	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
54	MTN	M	-	M	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	-	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
55	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
56	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	M	M	-	-	M	M	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
57	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
58	MTN	N	N	N	-	T	T	T	T	T	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
59	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
60	MTN	N	-	T	T	T	-	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	-																				

Asignación obtenida con el método de resolución diseñado para el mes de Agosto

		Agosto																														
		V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Trabajador	Turnos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	MTN	T	T	-	T	T	T	-	T	-	N	N	-	-	M	M	M	-	N	N	N	-	T	T	-	M	M	M	M	-	-	
2	MTN	M	M	-	T	T	T	-	M	M	-	T	T	T	P	P	P	M	M	-	N	N	N	N	N	N	-	-	-	M	M	
3	M	-	M	M	M	-	M	M	M	M	-	M	M	M	-	P	P	P	M	M	M	-	-	M	M	M	-	M	M	M	M	
4	T	-	-	-	T	T	T	-	T	-	-	T	T	T	T	T	-	T	T	T	-	T	T	-	T	T	T	T	-	-		
5	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
6	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
7	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
8	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
9	MT	M	M	M	-	M	M	M	M	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	-	T	T		
10	MTN	T	T	-	N	N	N	-	-	-	T	T	T	T	-	M	M	M	-	N	N	N	N	N	N	-	-	-	M	M		
11	MTN	T	T	-	T	T	-	T	T	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	M	M	M	M	-	M	M	-	N	N	N		
12	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	M	M	M	M	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	M	M	
13	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
14	MTN	M	M	-	M	M	-	M	M	M	-	N	N	N	P	P	P	T	T	-	T	T	T	-	T	T	-	N	N	N		
15	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
16	MTN	-	T	T	-	M	M	M	-	T	T	-	M	M	M	P	P	P	T	T	T	-	N	N	N	N	N	N	-	T	T	
17	MTN	-	T	T	-	M	M	M	M	-	M	M	M	M	-	P	P	P	-	N	N	N	-	T	T	-	N	N	-	T	T	
18	MTN	N	N	N	-	-	T	T	T	-	T	T	T	T	P	P	P	M	M	-	M	M	M	-	M	M	-	N	N	N	N	
19	MTN	T	T	-	N	N	N	-	-	-	M	M	M	M	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	M	M		
20	MTN	N	N	N	-	-	M	M	-	-	T	T	-	N	N	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-		
21	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
22	MTN	-	-	-	T	T	-	N	N	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	T	T	-	M	M	M		
23	MTN	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	T	T	-	M	M		
24	MTN	M	M	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	N	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M		
25	MTN	-	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	T	T	T	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	T	T	-		
26	MTN	T	T	T	-	M	M	M	M	-	N	N	N	-	P	P	P	M	M	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-		
27	MTN	M	M	-	M	M	M	M	-	M	-	T	T	T	-	P	P	P	T	T	T	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	
28	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
29	MTN	N	N	N	N	-	-	T	T	-	M	M	-	T	T	T	T	-	M	M	-	-	M	M	-	M	M	-	N	N	N	
30	MTN	M	-	-	N	N	N	N	-	T	T	T	-	M	M	M	M	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	T	T	T	
31	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
32	MTN	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	M	M	-	M	M	-	T	T	T	-	N	N	-	-	-		
33	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
34	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
35	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
36	MTN	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	M	M	-	P	P	P	M	M	M	-	N	N	N	N	-	T	T	T	-		
37	MTN	M	-	-	T	T	T	-	N	N	N	N	-	-	P	P	P	M	M	M	M	-	M	M	-	T	T	-	T	T		
38	MTN	N	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	-	-		
39	MTN	M	M	M	-	T	T	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	N	N	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-		
40	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
41	MTN	-	-	-	T	T	-	N	N	N	-	-	M	M	-	T	T	T	T	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	T	T	
42	MTN	-	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	T		
43	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
44	MTN	T	T	T	-	T	T	T	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	M	M	M		
45	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
46	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
47	MTN	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	N	N	N		
48	MTN	T	T	T	-	N	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	-	N	N	-	-	-	T	T	-	M	M	M	-		
49	MTN	-	T	T	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	T	T	-	M	M	M	M	-	M	M	M	-	M	M	M		
50	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
51	MTN	T	-	-	M	M	-	M	M	M	M	-	N	N	N	P	P	P	T	T	T	-	M	M	M	M	-	T	T	T		
52	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
53	MTN	T	-	-	T	T	T	-	T	T	-	N	N	N	P	P	P	M	M	M	-	M	M	M	-	N	N	N	-	T	T	
54	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
55	MTN	-	-	-	-	T	T	T	-	M	M	M	M	-	M	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-		
56	MTN	T	-	-	M	M	-	M	M	M	M	-	T	T	-	P	P	P	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	
57	MTN	M	M	M	-	N	N	N	-	-	T	T	-	M	M	-	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M		
58	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
59	MTN	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	N	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-		
60	MTN	M	M	M	M	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	P	P	P	N	N	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N		
61	MTN	T	-	-	N	N	N	-	T	T	T	T	T	T	P	P	P	-	M	M	M	M	M	-	M	M	-	N	N	N		
62	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
63	MTN	M	M	M	M	M	-	M	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	-		
64	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
65	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
66	MTN	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	T	T	-	N	N	N	N	N	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-		
67	MTN	M	M	M	-	T	T	-	N	N	N	-	T	T	T	-	M	M	M	M	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-		
68	MTN	-	-	-	M	M	M	-	N	N	N	-	-	M	M	-	P	P	P	T	T	T	-	-	T	T	T	-	N	N	N	
69	MTN	T	T	T	T	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	M	M	-	T	T	T		
70	MTN	-	-	-	M	M	M	M	-	M	M	M	-	T	T	-	P	P	P	T	T											

Asignación obtenida con el método de resolución diseñado para el mes de Septiembre

		Septiembre																													
		L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Trabajador	Turnos																														
1	MTN	M	M	-	T	T	T	T	-	N	N	N	-	T	T	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	-	-	M	M
2	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
3	M	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
4	T	T	T	T	T	-	-	-	T	T	T	T	-	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	-	T	T	T	T
5	MTN	M	M	-	N	N	N	N	-	-	M	M	-	-	N	N	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	T	T	T	-	-
6	MTN	-	M	M	M	-	M	M	M	M	M	-	T	T	T	-	N	N	-	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	-	-
7	MTN	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	N	N	N	-	-
8	MTN	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	N	N	N	-	-	N	N
9	MT	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
10	MTN	-	-	N	N	N	N	N	-	T	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	-	M	M	M	M	-	-	-	M	M	
11	MTN	N	N	-	T	T	-	-	M	M	M	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	-	T	T	T	-	-	-	T	T
12	MTN	T	T	T	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	M	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	-	-	T	T	
13	MTN	M	M	M	M	-	M	M	M	M	-	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	N	N	N	-	-	N	N
14	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
15	MTN	M	M	M	-	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	M	M	-	N	N	-	-
16	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
17	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
18	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
19	MTN	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	T	T	-	N	N	-	-	T	T	T	-	M	M	M	M	-	-	M	M
20	MTN	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	-	M	M	-	M	M	
21	MTN	-	-	M	M	-	M	M	-	N	N	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	-	-	M	M	
22	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
23	MTN	N	N	N	N	-	T	T	-	-	N	N	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	M	M	M	-	-	-	T	T	
24	MTN	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	M	M	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	T	T	
25	MTN	-	M	M	M	-	-	-	M	M	-	M	M	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	T	T	-	-	-	T	T	
26	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
27	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
28	MTN	-	-	T	T	T	T	-	M	M	-	N	N	N	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	-	M	M	M	
29	MTN	-	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	T	T	T	-	M	M	-	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
30	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
31	MTN	M	M	M	M	M	-	M	M	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	-	
32	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
33	MTN	M	M	-	T	T	T	-	-	M	M	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	MTN	-	-	M	M	M	M	M	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-
35	MTN	T	T	T	-	N	N	N	N	-	T	T	T	-	M	M	M	-	M	M	M	M	-	N	N	-	-	-	-	-	-
36	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
37	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
38	MTN	N	N	N	N	-	T	T	-	-	N	N	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-
39	MTN	M	M	-	-	M	M	-	M	M	M	M	-	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
40	MTN	-	-	T	T	T	T	-	T	T	T	T	-	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	M	M	-	-	-	-
41	MTN	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-
42	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
43	MTN	M	M	M	M	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	MTN	M	-	-	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	N	N	N	-	-	-
45	MTN	T	T	-	N	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	M	M	M	M	-	-
46	MTN	N	N	N	N	-	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	N	N	-	-	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-
47	MTN	N	-	-	-	T	T	T	-	T	T	-	-	-	M	M	M	M	M	-	-	T	T	-	N	N	N	-	-	-	-
48	MTN	M	M	M	-	N	N	N	N	-	T	T	-	-	-	T	T	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	MTN	-	N	N	-	-	M	M	M	M	M	-	-	-	-	-	T	T	T	T	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-
50	MTN	T	T	T	-	M	M	-	N	N	N	-	-	T	T	-	M	M	M	-	-	T	T	-	N	N	N	-	-	-	-
51	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
52	MTN	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	N	N	-	-	M	M	M	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-
53	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
54	MTN	N	N	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	MTN	T	T	T	-	M	M	-	N	N	N	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-
56	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
57	MTN	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-
58	MTN	T	T	T	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-
59	MTN	-	-	N	N	N	N	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-
60	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
61	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
62	MTN	T	T	T	T	-	M	M	M	-	M	M	M	-	-	M	M	-	N	N	N	-	N	N	N	-	-	-	-	-	-
63	MTN	T	T	T	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	-	-	T	T	T	-	-	-	-	-	-
64	MTN	N	N	N	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-
65	MTN	T	T	T	T	-	-	-	T	T	T	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	MTN	N	N	-	-	M	M	M	-	T	T	T	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
68	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
69	MTN	T	T	-	T	T	T	T	-	T	T	-	M	M	M	M	M	-	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	MTN	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
71	MTN	T	T	-																											

Asignación obtenida con el método de resolución diseñado para el mes de Noviembre

		Noviembre																																			
		S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D						
Trabajador	Turnos	TS	TS																																		
1	MTN	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T					
2	MTN	P	P	M	M	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T				
3	M	P	P	M	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M						
4	T	T	T	-	-	T	T	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T						
5	MTN	M	M	-	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M					
6	MTN	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N				
7	MTN	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T				
8	MTN	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M				
9	MT	P	P	-	-	M	M	M	-	-	-	M	M	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T						
10	MTN	-	-	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T						
11	MTN	M	M	-	-	N	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T					
12	MTN	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T					
13	MTN	-	-	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T					
14	MTN	P	P	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N				
15	MTN	N	N	N	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M					
16	MTN	P	P	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M						
17	MTN	P	P	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M						
18	MTN	P	P	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T					
19	MTN	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M				
20	MTN	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M			
21	MTN	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T						
22	MTN	P	P	M	M	M	M	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	T						
23	MTN	-	-	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T					
24	MTN	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T						
25	MTN	M	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M				
26	MTN	P	P	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N						
27	MTN	P	P	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N				
28	MTN	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N						
29	MTN	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	T						
30	MTN	P	P	N	N	N	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N					
31	MTN	-	-	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M						
32	MTN	P	P	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	N						
33	MTN	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T				
34	MTN	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T	T						
35	MTN	M	M	-	-	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M						
36	MTN	P	P	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M			
37	MTN	P	P	-	-	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M				
38	MTN	N	N	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	-	-	M	M	M	M						
39	MTN	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M						
40	MTN	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T			
41	MTN	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T					
42	MTN	P	P	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M				
43	MTN	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M						
44	MTN	N	N	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	M						
45	MTN	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N				
46	MTN	T	T	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M						
47	MTN	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N		
48	MTN	N	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	T	T	T				
49	MTN	-	-	M	M	M	-	-	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	-	M	M	M	M						
50	MTN	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	N	N	N	N	-	-	M	M	M		
51	MTN	P	P	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M					
52	MTN	T	T	-	-	T	T	T	-	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T				
53	MTN	P	P	T	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	-	-	M	M	-	-	N	N	N	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T		
54	MTN	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	
55	MTN	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	
56	MTN	P	P	T	T	T	-	-	-	-	-	-	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	N	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T		
57	MTN	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	T	
58	MTN	N	N	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M			
59	MTN	T	T	T	-	-	N	N	N	N	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M			
60	MTN	P	P	N	N	N	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	
61	MTN	P	P	T	T	-	-	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	T	T				
62	MTN	M	M	-	-	N	N	-	-	M	M	M	M	-	-	T	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N					
63	MTN	M	M	-	-	M	M	-	-	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	N	N	-	-	T	T	T	T				
64	MTN	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	T	T	-	-	N	N	N	N						
65	MTN	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	N	N	N	-	-	M	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
66	MTN	-	-	M	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	N	N	N	-	-	T	T	T	T	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M	
67	MTN	P	P	M	M	M	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	N	N	-	-	T	T	-	-	M	M	-	-	M	M	M	M	-	-	M	M	M
68	MTN	P	P	-	-	T																															

