

## **Optimización de cuadrantes de turnos para el personal de atención de vuelos en tierra**

**Francisco Javier Diego Martín, José Ángel González Manteca, Javier Carrasco Arias**

Dpto. de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. E.T.S Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Calle José Gutiérrez Abascal 2, 28006. Madrid.  
javier.diego@upm.es, jagonzalez@etsii.upm.es, javier.carrasco@upm.es

### **Resumen**

*La atención de vuelos en tierra de una empresa de transporte aéreo de viajeros presenta una gran variabilidad en el tiempo de la carga de trabajo requerida, debido a la dispersión horaria de las llegadas y salidas de los vuelos. Esto hace que la programación de los cuadrantes de turnos del personal sea una tarea complicada a la vez que crítica porque la confección de la plantilla tiene un fuerte impacto en la cuenta de resultados de la empresa. En este artículo presentamos un modelo de problema altamente configurable y mostramos su resolución mediante programación lineal entera, lo que permite obtener resultados óptimos en poco tiempo para grandes plantillas de trabajadores y un elevado número de vuelos, siendo así de aplicación en todos los aeropuertos españoles.*

**Palabras clave:** Planificación de personal, operaciones en aeropuertos, programación lineal

### **1. Introducción**

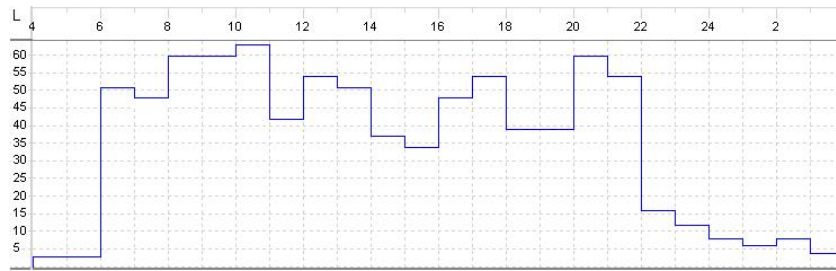
Cada vez que un avión aterriza en un aeropuerto se deben realizar toda una serie de operaciones antes de que vuelva a despegar. Estas operaciones involucran a una gran cantidad de personal de diferentes capacidades y especialidades. Por ejemplo, se realizan operaciones de facturación y embarque, posicionamiento del avión y colocación de calzos o ensamble en finger o transporte de viajeros en autobús, subida de comida y prensa, repostaje de combustible, carga y descarga de equipajes, y así una larga lista de operaciones. Dado que todas estas operaciones presentan una diferente naturaleza, sus momentos de comienzo y su duración son diferentes. Dentro de un mismo tipo de operación a realizar, el valor de estos parámetros de comienzo y duración es función del tipo de avión, ya que por ejemplo, no se tarda el mismo tiempo en descargar un avión grande que un avión pequeño. Estos parámetros también son función del tipo de vuelo, porque, por ejemplo un vuelo posicional solo viene con tripulación y un vuelo chárter es muy probable que venga con una alta ocupación de pasajeros, con lo que operaciones como la descarga de equipajes o el transporte en autobús de la tripulación y los pasajeros son diferentes.

Todas estas características, unido al hecho de que los vuelos tienen una gran dispersión horaria, hace que la carga de trabajo presente valles y picos pronunciados que hacen que sea muy difícil la confección de un cuadrante de turnos para el personal que atiende a los vuelos en tierra dentro de un aeropuerto. Esta variabilidad no solo se da entre diferentes franjas horarias de un mismo día sino también entre diferentes días de la semana, y entre diferentes temporadas (verano e invierno).

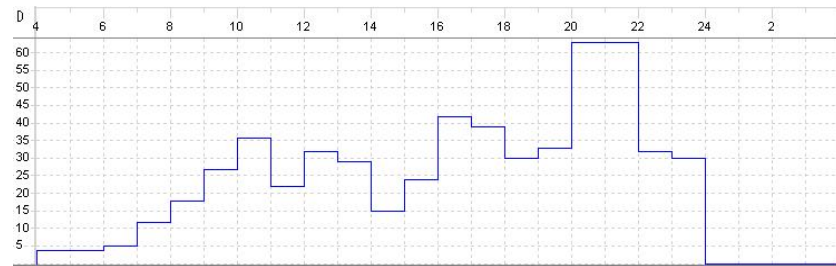
Los tipos de contratos de los trabajadores tienen una serie de parámetros flexibles que permiten una cierta adecuación a esa demanda de trabajo tan variable que presenta la atención a vuelos en tierra. La mayor flexibilidad la presentan las diferentes duraciones semanales de los contratos, que suele ser de 40, 30, y 20 horas semanales, lo que da lugar a jornadas nominales de 8, 6 y 4 horas diarias, durante cinco días a la semana. A menudo, la duración de las jornadas nominales se puede ampliar con horas extra, lo que es otra fuente de flexibilidad de programación, pero lleva un coste asociado, por lo que se deben evitar en lo posible. Algunos convenios permiten conjugar en la rotación semanal de turnos de un empleado jornadas de menor duración a la nominal con jornadas de mayor duración, de forma que la suma total sea la duración nominal semanal. Otro aspecto que aporta mucha flexibilidad al problema son las jornadas partidas: un turno se puede realizar seguido o realizar un descanso. La posición y duración del descanso pueden variar, y para limitarlos se deben definir las duraciones mínima y máxima del descanso, y las duraciones mínima y máxima de las dos partes de trabajo, y además, se debe garantizar que la suma de las duraciones de las dos partes de trabajo es la duración nominal de la jornada. Todas estas opciones de flexibilidad en los contratos hacen posible alcanzar cuadrantes eficientes en cuanto que acercan al máximo las cargas de trabajo cubierta y demanda, reduciendo al mínimo los costes de personal, pero llevan a un problema más difícil de resolver, porque aumentan en gran medida el número de diferentes soluciones del problema.

Los pasos que planteamos para resolver el problema son: configuración de servicios, generación de servicios, crear la curva de trabajo, optimizar las jornadas de trabajo, asignar los servicios a las jornadas. La configuración de servicios indica el comienzo y la duración de cada servicio de atención a los vuelos en tierra. El comienzo y duración se especifican en función del tipo de avión, tipo de vuelo y recorrido. Esta configuración da lugar a muchas combinaciones de servicios a especificar, pero se logra una gran flexibilidad para el paso posterior. Dado el plan de vuelos que aterrizan en el aeropuerto, es sencillo crear los servicios a partir de la configuración anterior. Una vez que se han creado los servicios, se crea la curva de trabajo a la que dan lugar todos esos servicios a la vez. El paso de optimizar jornadas consiste en encontrar la cantidad de jornadas de cada tipo de contrato necesarias para minimizar los costes, de forma que se cubra toda la carga de trabajo. Este paso de crear las jornadas de trabajo se podría hacer directamente partiendo de los servicios, pero éste sería un problema más difícil de resolver que el de crear las jornadas a partir de la curva de trabajo debido a la gran dimensión del problema que representaría. Este paso de crear la carga de trabajo para reducir la dificultad de resolución del problema implica la necesidad de un último paso: asignar los servicios a las jornadas de trabajo. Este paso es el bien conocido problema de asignación que se puede resolver mediante programación lineal.

En este artículo describimos la resolución del problema de optimizar las jornadas de trabajo mediante programación lineal entera y mostramos que se obtienen muy buenos resultados para cuadrantes grandes, con 300 trabajadores, y 2500 servicios. En la Figura 8 y la Figura 9 se muestra la gran variabilidad de carga de trabajo que se produce dentro de un mismo día, y las diferencias que se pueden producir entre los diferentes días de la semana.



**Figura 8.** Carga de trabajo de un lunes



**Figura 9.** Carga de trabajo de un domingo

## 2. Revisión bibliográfica

En muchas industrias, la planificación de personal es una tarea importante y compleja. El personal es uno de los recursos más críticos que se gestionan y utilizan en los negocios (Dowling y otros, 1997). En la industria aérea, uno de los problemas más tratados ha sido la planificación de turnos de las tripulaciones. Existen diferencias significantes entre los problemas de planificación de tripulaciones y el de planificación del personal de atención de vuelos en tierra. En el primero, la planificación de las tripulaciones debe asegurar la continuidad de los vuelos seguidos asignados para que sean asignadas dentro de un mismo turno de trabajo. Esto no es necesario en las planificaciones de personal que trabaja en el aeropuerto precisamente porque el único lugar de trabajo es el aeropuerto, frente a las tripulaciones, que cambian de aeropuerto en cada vuelo.

La planificación del personal ha recibido atención de la comunidad investigadora. Ver, por ejemplo, Baker (1976), Henderson y Berry (1976), Koutsopoulos y Wilson (1987), o Bechtold y otros (1991). Son problemas en los que se deben determinar los días de descanso y las horas de comienzo de los turnos de trabajo. Están orientados a centros de atención a usuarios (call centers) y la entrada es una carga de trabajo estimada. Se resuelven mediante programación lineal. Trabajos aplicados al problema de planificación de personal de aeropuertos son, por ejemplo, Holloran and Byrn (1986), Morris y Showalter (1983), Schindler y Semmel (1993). Brusco y otros (1995) desarrollaron algoritmo eficientes basados en el método column generation, y estimaron unos ahorros de costes de 8 millones de dólares anuales. Dowling y otros (1997) aplicaron algoritmos genéticos (GA), búsqueda tabú (TS) y simulación del recocido (SA), seleccionando esta última debido a la facilidad de implementación y la calidad de las soluciones encontradas. Resuelven problemas de planificación con 500 personas, aplicado a un horizonte de cinco semanas, con expresión de necesidades de personal en intervalos de 30 minutos. Consideran un solo problema la generación de días de descanso y jornadas de trabajo y su asignación al personal.

En este trabajo planteamos un modelo muy flexible que permite modelar una gran cantidad de problemas dados en la realidad de los aeropuertos, y una técnica de resolución dividida en fases.

### 3. Definición del problema

Dada la carga de trabajo, el problema de optimizar las jornadas de trabajo consiste en encontrar la configuración de jornadas de menor coste, lo que significa decidir la combinación de empleados de cada contrato, definir la hora de comienzo de cada jornada, y si hay jornadas partidas, definir la duración de cada una de las subjornadas, y la duración del descanso. El proceso de optimización debe garantizar que las jornadas cubren toda la carga de trabajo, y que se respetan todos los condicionantes que marcan los diferentes tipos de contrato de los trabajadores. Los parámetros que definen un contrato se muestran en la Tabla 23. Con todos estos parámetros, se alcanza mucha flexibilidad a la hora de hacer que los turnos de trabajo se adapten a las cargas de trabajo tan variables en el tiempo que se definen en la atención de vuelos en tierra.

**Tabla 23.** Definición de un contrato

Parámetro	Descripción
Nombre	Nombre del contrato
Horas semanales	Número de horas nominales de trabajo a la semana
Horas diarias	Número de horas nominales de trabajo al día
Días descanso	Número de días de descanso semanales
Descanso seguidos	Indica si los días de descanso semanal deben ser seguidos, o pueden estar separados
Fines semana	Indica el número máximo de fines de semana seguidos sin descansar
Comienzos jornadas	Especifica las posibles horas de comienzo de jornadas de trabajo asociadas a este contrato.
Jornadas partidas	Indica si los trabajadores asociados al contrato pueden partir las jornadas de trabajo
Máximas jornadas partidas	Indica el número máximo de jornadas partidas a la semana que puede realizar un trabajador suscrito a este contrato. Solo tiene sentido si se pueden realizar jornadas partidas
Mínima subjornada	Mínima duración de las dos subjornadas en que se divide una jornada partida. Solo tiene sentido si se pueden realizar jornadas partidas
Mínimo descanso	Mínima duración del periodo de descanso de una jornada partida. Solo tiene sentido si se pueden realizar jornadas partidas
Máximo descanso	Máxima duración del periodo de descanso de una jornada partida. Solo tiene sentido si se pueden realizar jornadas partidas.
Instantes de partir jornada	Especifica las horas (durante toda la semana) en las que se puede producir un descanso de una jornada partida. Solo tiene sentido si se pueden realizar jornadas partidas
Coste jornada partida	Especifica el coste de una jornada partida, en función de la duración del periodo de descanso. Solo tiene sentido si se pueden realizar jornadas partidas
Coste jornada	Coste semanal de un trabajador asociado a este contrato
Límite trabajadores	Cantidad mínima, exacta o máxima de trabajadores a considerar para este tipo de contrato

Con los parámetros definidos en la Tabla 23, se puede modelar, por ejemplo, un contrato de 40 horas semanales, y 8 diarias, con jornadas partidas. Las jornadas partidas pueden tener un descanso de entre 1 y 3 horas, y la mínima subjornada será de dos horas. Según esta definición, se pueden generar todos los tipos de jornadas que muestra la Tabla 24, considerando franjas de una hora. Cada tipo de jornada la denominamos patrón, y existen 16 patrones para este tipo de contrato. Esta cantidad de patrones para un solo tipo de contrato da idea de la gran dimensión del problema bajo estudio: el objetivo es determinar la cantidad de patrones de cada tipo que deben comenzar en cada una de las 168 horas de la semana, lo que significa 2.688 variables. Si se dispone de 4 tipos de contrato (algo muy usual), nos

encontramos con 10.752 variables de comienzo de jornada, lo que empieza a dar idea de la gran dimensión del problema. Si en vez de considerar la hora como unidad de tiempo, consideramos la media hora, tendríamos 21.504 variables.

**Tabla 24.** Posibles jornadas diarias (patrones) del contrato de 40 horas semanales

Número	Primera subjornada	Descanso	Segunda subjornada	Número	Primera subjornada	Descanso	Segunda subjornada
1	02:00	01:00	06:00	9	04:00	03:00	04:00
2	02:00	02:00	06:00	10	05:00	01:00	03:00
3	02:00	03:00	06:00	11	05:00	02:00	03:00
4	03:00	01:00	05:00	12	05:00	03:00	03:00
5	03:00	02:00	05:00	13	06:00	01:00	02:00
6	03:00	03:00	05:00	14	06:00	02:00	02:00
7	04:00	01:00	04:00	15	06:00	03:00	02:00
8	04:00	02:00	04:00	16	08:00	Jornada continua	

#### 4. Modelo matemático

El modelo matemático básico del problema de planificación de personal se muestra a continuación:

$$\text{Min} \quad \sum_c \sum_t \sum_p C^{tp} X_c^{tp}$$

sujeto a:

$$\sum_c \sum_t \sum_p X_c^{tp} \geq N_k \quad \forall k \in K, X_c^{tp} \cup I_k$$

$$(s - \text{map}) \sum_c \sum_p^{P_t^{\text{con}}} X_c^{tp} - \text{map} \sum_c \sum_p^{P_t^{\text{par}}} X_c^{tp} \leq 0 \quad \forall t \in J$$

donde  $X_c^{tp}$  es la cantidad de jornadas del patrón p del tipo de contrato t que comienzan en el instante c,  $C^{tp}$  es el coste del patrón p del tipo de contrato t, J es el conjunto de tipos de contratos,  $P_t$  es el conjunto de patrones del tipo de contrato t,  $I_k$  es el intervalo k, y K es el horizonte temporal (una semana), s es el número de jornadas de trabajo semanales, map es la cantidad máxima de jornadas partidas,  $P_t^{\text{con}}$  es el conjunto de patrones con jornada partida del tipo de contrato y, y  $P_t^{\text{par}}$  es el conjunto de jornadas continuas del tipo de contrato t.

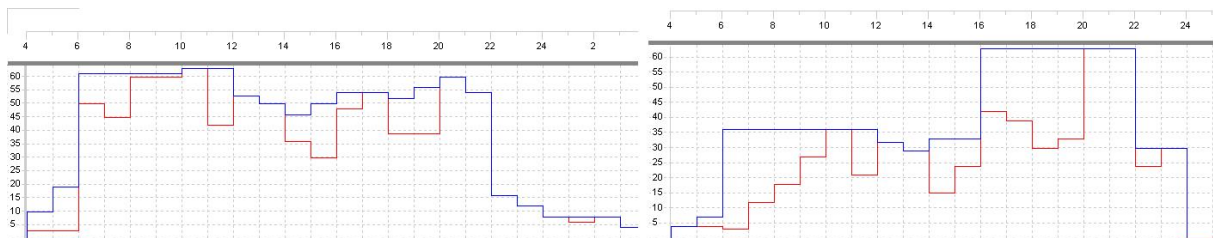
La función objetivo consiste en minimizar el coste total de todas las jornadas. El coste tiene dos componentes, el coste de la jornada más el coste del descanso de la jornada partida. La primera restricción asegura que se cubre la carga de trabajo con las jornadas dadas por los patrones. Las restricciones que marcan los tipos de contratos se cumplen con la generación de patrones y con la segunda restricción del modelo, que asegura que no se planifican más jornadas partidas que las especificadas para el tipo de contrato. Este modelo básico se completa con una serie de restricciones, encaminadas a que el conjunto de jornadas sean realizables por los trabajadores. Así, se debe asegurar que en los siete días de la semana no existan más jornadas de un tipo que trabajadores de ese tipo de contrato, reparto homogéneo de carga de trabajo, carga de trabajo diaria proporcional a la carga de trabajo, posibles horas

de comienzo de jornada por día y tipo de contrato, posibles horas para partir jornadas según hora y día.

## 5. Caso de uso

En este apartado se va a mostrar un caso de uso de la herramienta de optimización de personal para mostrar su potencial. Se van a seguir todos los pasos que constituyen un proceso de toma de decisiones para dimensionar una plantilla de trabajadores de atención de vuelos en tierra.

Partimos del caso 1, donde solo se consideran contratos de 40 horas semanales, sin jornada partida, con un coste de 56 euros/jornada. El resultado se muestra en la Figura 10, donde puede observarse que la carga de trabajo está muy por encima de la demanda, debido a la rigidez que presentan las jornadas de 8 horas sin opción de partir. En concreto, existe un exceso de trabajo de 1.338 horas semanales, que representa un 20% de las 6600 horas de trabajo, lo que sin duda, es una mala solución.

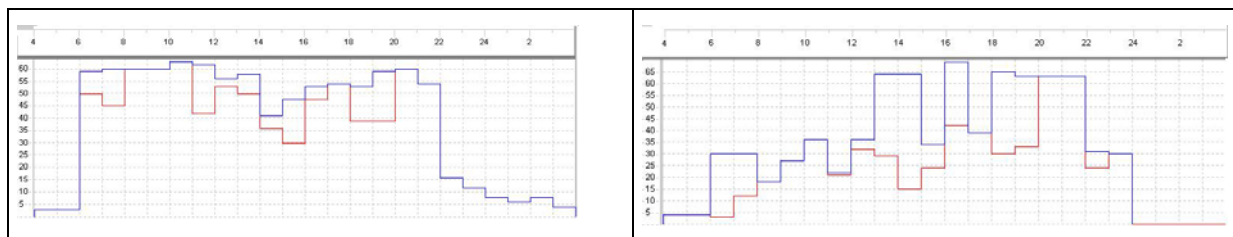


**Figura 10.** Carga de trabajo cubierta en el lunes y el domingo para el caso 1

**Tabla 25.** Definición y resultados del caso 1

Contrato	Horas semana		Horas día	Jornadas partidas				Coste jornada	Cantidad	Coste
40 Horas	40 horas		8 horas	NO				72 euros	165	59.112
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total	Exceso	
Carga trabajo	984	1032	1008	1032	960	760	792	6.568	1.338	
Demanda trabajo	843	865	832	838	789	523	549	5.230		

En el caso 2 vamos a partir del caso 1 y se van a habilitar jornadas partidas a los contratos de 40 horas semanales. Se parte de 2 jornadas partidas máximas a la semana para los trabajadores, y se va a considerar descansos durante las jornadas entre 1 y dos horas, con un coste de 12 euros por jornada partida. Los resultados se muestran en la Figura 11 y la Tabla 26. Comparando los casos 1 y 2 se observa un ahorro en costes de 516 euros, lo que supone un ahorro del 0.9% y una disminución de 64 horas de exceso de trabajo, que representa una mejora del 4.8%. Aunque se ha obtenido una ligera mejora, no parece lo suficiente, y se ha empeorado la calidad de los turnos de los trabajadores, ya que se han creado 325 jornadas partidas (5 con un descanso de tres horas, y el resto con descanso de una hora).



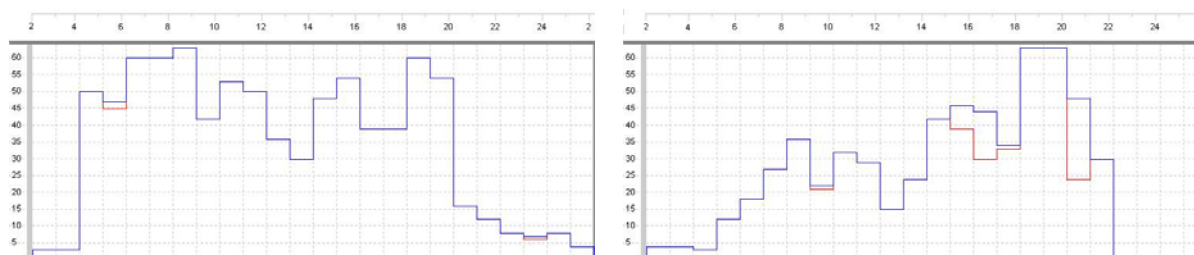
**Figura 11.** Carga de trabajo cubierta en el lunes y el domingo para el caso 2

**Tabla 26.** Definición y resultados del caso 2

Contrato	Horas semana	Horas día	Jornadas partidas				Coste jornada	Cantidad trabajadores	Coste
40 Horas	40 horas	8 horas	SI- 2 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 3h$ Coste: 12				72 euros	163	58.596
	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Total	Exceso
Carga trabajo	960	1032	1008	1032	960	720	792	6.568	1.274
Demanda trabajo	843	865	832	838	789	523	549	5.230	

En el caso 3 se va estudiar el efecto de aumentar a 5 la cantidad máxima de jornadas partidas. Los resultados de coste y horas de exceso de trabajo semanal son los mismos que se dieron en el caso 2, pero el número de jornadas partidas aumenta a 410, por lo que queda demostrado que no interesa aumentar a cinco jornadas partidas máximas semanales, porque no se reduce el coste y se empeora la calidad de las jornadas.

Buscando una mayor flexibilidad, en el caso 4 se van a introducir contratos de 30 horas semanales, con 5 jornadas diarias de trabajo de 6 horas, y con jornadas partidas. El coste de las jornadas es de 48 euros y el coste de las jornadas se fija en 12 euros como en el contrato de 40 horas. Ahora el ajuste de la carga de trabajo es mucho mejor que en los casos anteriores, presentando un exceso de 130 horas semanales, lo que representa un 2.3% de la demanda total, y se obtiene un coste de 48.768 euros, lo que representa una reducción de 10.344 euros frente al caso 1 (un 18% sobre el coste del caso 1).



**Figura 12.** Carga de trabajo cubierta en el lunes y el domingo para el caso 4

**Tabla 27.** Definición y resultados del caso 4

Contrato	Horas semana	Horas día	Jornadas partidas				Coste jornada	Cantidad trabajadores	Coste
40 Horas	40 horas	8 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 3h$ Coste: 12 euros				72 euros	41	48.768
30 Horas	30 horas	6 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 2h$ Coste: 12 euros				54 euros	124	
	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Total	Exceso
Carga trabajo	846	864	848	856	798	552	596	5.630	130
Demanda trabajo									

Demanda trabajo	843	865	832	838	789	523	549	5.230	
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	--

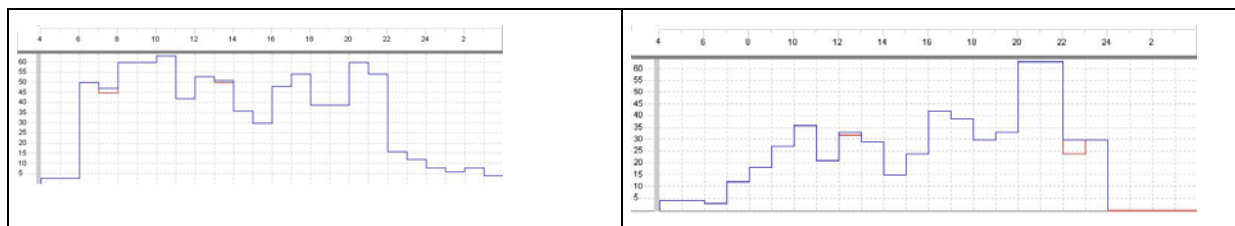
Sobre el caso 4 se puede realizar un estudio del coste que se está dispuesto a asumir en los contratos de 30 horas semanales. En el caso 4 se ha supuesto un coste de las jornadas de 30 horas proporcional al coste de las jornadas de 40 horas, y ahora vamos a estudiar el caso 5 en el que subimos el coste de las jornadas de 30 horas desde 54 a 57 euros. El resultado de este caso se muestra en la Tabla 28. El hacer que el puesto de trabajo sea más atractivo, y por tanto, más sencilla la contratación de trabajadores con contrato de 30 horas supone un coste semanal de 1.861 euros (3.8% del coste total), e implica reducir en cuatro el número de trabajadores de este contrato.

**Tabla 28.** Definición y resultados del caso 5

Contrato	Horas semana	Horas día	Jornadas partidas	Coste jornada	Cantidad trabajadores	Coste			
40 Horas	40 horas	8 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 3h$ Coste: 12 euros	72 euros	45	50.631			
30 Horas	30 horas	6 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 2h$ Coste: 12 euros	57 euros	120				
	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Total	Exceso
Carga trabajo	846	864	850	856	798	558	596	5.638	138
Demanda trabajo	843	865	832	838	789	523	549	5.230	

Sobre el caso 4 vamos a estudiar el efecto de aumentar la cantidad de jornadas partidas a 5 semanales en los dos tipos de contratos. Al obtener los resultados, salen los mismos costes, por lo que concluimos que no es necesario aumentar el número de jornadas partidas semanales de ambos contratos.

Sobre el caso 4 vamos a añadir un nuevo tipo de contrato, de 20 horas semanales, y cinco jornadas semanales de 4 horas, con un coste proporcional al coste de las jornadas de 8 y 6 horas, es decir, de 36 euros. Este caso es el número 6, y los resultados se muestran en la Figura 13 y en la Tabla 29. Esta es la mejor opción de todas, porque es la de menores costes y la de menor exceso de horas (52 horas, que representa el 0.1% de la carga de trabajo).



**Figura 13.** Carga de trabajo cubierta en el lunes y el domingo para el caso 6

**Tabla 29.** Definición y resultados del caso 6

Contrato	Horas semana	Horas día	Jornadas partidas	Coste jornada	Cantidad trabajadores	Coste
40 Horas	40 horas	8 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 3h$ Coste: 12 euros	72 euros	60	47.610
30 Horas	30 horas	6 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 2h$ Coste: 12 euros	57 euros	51	



20 Horas	20 horas	4 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 2h$ Coste: 12 euros			36 euros	48		
	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Total	Exceso
Carga trabajo	846	864	840	850	798	528	566	5.282	52
Demanda trabajo	843	865	832	838	789	523	549	5.230	

En el caso 6 se ha determinado la configuración de plantilla que mejor se adapta a la carga de trabajo, con el menor coste. Al observar las jornadas de trabajo se observa que existen jornadas partidas en horas muy malas como las 23:00 o las 01:00. Además, los comienzos de jornada de cada contrato se dan a cualquier hora del día. En el caso 7 se parte del caso 6, eliminando la posibilidad de partir jornada a partir de las 22:00 y antes de las 10:00, y estandarizando las horas de entrada de cada tipo de turno: los contratos de 30 horas comienzan sus jornada a partir de las 08:00, y los contratos de 20 horas tienen una franjas de comienzo de jornada en dos turnos, entre las 08:00 y las 12:00, y entre las 15:00 y las 18:00. De esta forma se asegura que existen menos posibles comienzos de jornada y por tanto, las horas de comienzo de jornadas en días seguidos es más probable que sean a la misma hora. El resultado de esta última planificación se muestra en la Tabla 30. Se concluye que mejorar la calidad de las jornadas de trabajo tiene un coste de 762 euros (1.6% del coste total). La opción a seguir está en manos del centro decisor, que dispone de toda la información, de forma numérica.

**Tabla 30.** Definición y resultados del caso 7

Contrato	Horas semana	Horas día	Jornadas partidas	Coste jornada	Cantidad trabajadores	Coste			
40 Horas	40 horas	8 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 3h$ Coste: 12 euros	72 euros	81	48.372			
30 Horas	30 horas	6 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 2h$ Coste: 12 euros	57 euros	40				
20 Horas	20 horas	4 horas	SI- 3 máximas $1h \leq \text{Descanso} \leq 2h$ Coste: 12 euros	36 euros	46				
	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Total	Exceso
Carga trabajo	850	876	846	858	798	538	562	5.328	98
Demanda trabajo	843	865	832	838	789	523	549	5.230	

## 6. Conclusiones

Se ha construido un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la confección de cuadrantes de turnos, que tiene en cuenta, tanto el componente económico de ahorro de costes, como el factor humano que permite asignar secuencias de turnos de buena calidad para los empleados. Se ha definido un modelo de problema muy flexible basado en contratos configurables en una cantidad de parámetros, que permite una amplia aplicación a problemas de la vida real. La resolución del problema en fases permite obtener muy buenos resultados en el problema global.

## Referencias

- Baker, K.R. (1976). "Workforce allocation in cyclical scheduling problems: A survey". *Operations Research Quarterly*, 27:155-167.
- Bechtold, S.E.; Brusco, M.J.; Showalter, M.J. (1991). "A comparative evaluation of labor tour scheduling methods". *Decision Science*, 22:683-699.
- Brusco, M.J.; Jacobs, L.W.; Bongiorno, R.J.; Loyns, D.V.; Tang, B. (1995). "Improving personnel scheduling at airline stations". *Operations Research*, 43:741-751.
- Dowling, D.; Krishnamoorthy, M.; Mackenzie, H.; Sier, D. (1997). "Staff rostering at a large international airport". *Annals of Operations Research*, 72:125-147.
- Henderson, W.B.; Berry, W.L. (1976). "Heuristics methods for telephone operator shifting scheduling: An experimental analysis". *Management Science*, 22:1372-1380.
- Holloran, T.J.; Byrn, J.E. (1986). "United Airlines station manpower planning system". *Interfaces*, 16:19-50.
- Koutsopoulos, H., Wilson, N. (1987). "Operator workforce planning in the transit industry". *Transportation Research*, 21A:127-138.
- Morris, J.G.; Showalter, M.J. (1983). "Simple approaches to shift, days-off and tour scheduling". *Management Science*, 29:942-950.
- Schindler, S.; Semmel, T. (1993). "Station staffing at Pan American World Airways". *Interfaces*, 23:91-98.