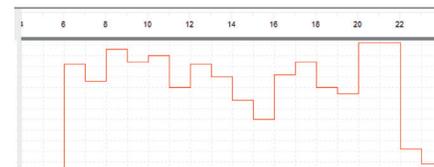


Problema de planificación estratégica de personal para cubrir una demanda de carga de trabajo temporal variable

CALCULATION OF THE STRUCTURE OF THE STAFF TO COVER A VARIABLE TEMPORARY WORK LOAD



DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7248> | Recibido: 16/07/2014 • Aceptado: 12/12/2014



Francisco Javier Diego Martín¹, Miguel Ortega-Mier¹,
Alvaro García-Sánchez¹, Aitor Goti Elordi²

¹ Universidad Politécnica de Madrid. ETSII. Dpto. de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. Calle José Gutiérrez Abascal, 2 - 28006 Madrid. javier.diego@upm.es

² NATRA S.A. Avenida General Perón, 38 5ª planta, Edificio Masters I - 28020 Madrid. aitor.goti@natra.com

ABSTRACT

- Staffs are frequently dimensioned to attend a given workload demand, which is highly variable over time. For example, providing services for planes while parked is characterized by a great variability in terms of the required workload, due to the time dispersion of arrivals and departures. This turns the task of staff dimensioning into a complex and critical one, since the associated cost highly impacts the profit and loss account of the company. In this paper we present a highly configurable model that we solve using Linear Programming, which allows to obtain optimal result for large numbers of workers. It can be of use for a large number of industries. In particular, we describe an example where the impact is assessed in economic terms.
- **Key Words:** personnel scheduling, staff, work load, linear programming.

RESUMEN

Una gran cantidad de plantillas de turnos de trabajadores se hacen para cubrir una demanda de carga de trabajo, que tiene fuertes variaciones a lo largo del tiempo. Un ejemplo sería la atención de vuelos en tierra de una empresa de transporte aéreo de viajeros, que 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 el cálculo de la plantilla de personal sea una tarea complicada a la vez que crítica, porque el coste de esta plantilla de trabajadores 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 para grandes plantillas de trabajadores.

Palabras Clave: Planificación de personal, carga de trabajo, atención de vuelos en tierra, programación lineal.

1. INTRODUCCIÓN

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 et al. [1]).

Hay tres tipos de problemas de planificación de personal en función del momento en que se aplican y en función del objetivo que se busca. En los problemas de planificación táctica de personal se busca obtener la mejor configuración de plantilla para poder ofrecer un servicio. La entrada al problema son los servicios esperados para una semana prototipo y los tipos de contrato disponibles. El objetivo que se busca es calcular la cantidad de trabajadores y las jornadas de trabajo para cada tipo de contrato, de forma que se asignen los servicios, al menor coste. Estos problemas se resuelven antes de crear una empresa, cuando hay temporadas muy diferenciadas en carga de trabajo, o cuando se van a contratar servicios adicionales. En los problemas de planificación operativa de personal, se conoce una plantilla de trabajadores y los servicios concretos que se deben realizar, y el objetivo que se busca es definir los turnos de los trabajadores, conjugando los objetivos de minimizar coste y maximizar la calidad de los turnos. Este problema se resuelve continuamente y con anterioridad a dar el servicio (por ejemplo, todas las semanas o todos los meses). En los problemas de planificación de personal en tiempo

real, el objetivo es asignar los trabajadores que están presentes en cada momento a los servicios, a medida que comienzan los servicios, teniendo en cuenta las incidencias que se vayan produciendo.

Definimos la demanda de carga de trabajo como la cantidad mínima de trabajadores que son necesarios para dar un servicio, durante cada franja horaria de una semana. Definimos fuerza de trabajo como la cantidad de trabajadores disponibles en cada franja horaria. El objetivo de un problema de planificación de personal es calcular la fuerza de trabajo de menor coste, que sea al menos el valor de la demanda de carga de trabajo en cada franja horaria. La diferencia entre la fuerza de trabajo y la demanda, se denomina exceso de trabajo.

La planificación del personal ha recibido mucha atención de la comunidad investigadora. Existen guías muy completas, que discuten modelos, métodos y aplicaciones de los problemas de planificación de personal. Ver Brucker et al [2], Ernst et al. [3], Kyngäs et al. [4]. Los enfoques para resolver problemas de planificación de personal en movimiento (por ejemplo, tripulaciones de aviones) son diferentes a los que se utilizan para el personal que está fijo en su puesto de trabajo (Dowling et al. [1]). Como ejemplos de problemas de personal en movimiento, pueden verse Anbil et al. [5], Deng et al [6], Gershkoff [7], Gintner et al. [8], Jütte et al. [9], Weide et al. [10], o Mesquita et al. [11]. La medicina es uno de los sectores que presenta más investigación en sistemas de personal. Como ejemplos de este tipo de problema se pueden consultar Cheang et al. [12], Burke et al. [13], Glass et al. [14], Puente et al. [15], Burke et al. [16], Brucker et al. [17]. En general, en estos problemas el servicio a planificar son los turnos de trabajo previamente definidos.

En cuanto al problema de planificación de personal de aeropuertos, Brusco et al. [18] presentan un problema de planificación operativa en dos fases, que resuelven mediante generación de columnas y recocido simulado. Todos los trabajadores tienen las mismas condiciones de contrato, con jornadas continuas, y establecen franjas horarias de 15 minutos. Dowling et al. [1] presentan un sistema de planificación operativa de personal y otro en tiempo real. Calculan la demanda de carga de trabajo cada 30 minutos. El objetivo es minimizar el tiempo libre y se puede no asignar toda la carga de trabajo. Considera jornadas continuas de trabajo, y todos los trabajadores siguen las mismas regulaciones. Utilizan recocido simulado. Stolletz [19] indica la necesidad de un sistema de planificación táctica, pero presenta un trabajo de planificación operativa para los servicios de embarque. Presenta una formulación basada en variables binarias que se puede resolver de forma óptima con un solver de programación lineal. Trabaja en un intervalo de media hora, y presenta resultados para plantillas de hasta 65 trabajadores.

En este artículo presentamos un modelo de problema de planificación estratégica de personal, para cubrir una demanda de carga de trabajo, altamente configurable mediante la definición de tipos de contratos, que se definen por parámetros que aportan flexibilidad para cubrir una demanda de carga de trabajo variable en el tiempo, con la posibilidad de realizar la cuantificación económica de cada característica de los contratos, necesaria a la hora de confeccionar una plantilla de trabajadores.

Las contribuciones del trabajo que presentamos en este artículo son:

- Se pueden definir todos los tipos de contrato necesarios, lo que lleva a un mejor ajuste de la fuerza de trabajo a la demanda de carga de trabajo.
- Una característica de los contratos es la jornada partida, con remuneración al empleado en función de la duración del descanso, lo que lleva a un menor coste para la empresa, a la vez que un empleado recibe mayor remuneración.
- El modelo ofrece control sobre los días de descanso, con la opción de fijarlos seguidos o separados, y cuantificar el impacto económico de esta decisión.
- Presentamos un modelo basado en variables enteras que se puede resolver de forma óptima, capaz de definir grandes plantillas de trabajadores.
- El modelo permite definir diferentes franjas horarias para la demanda de carga de trabajo y la fuerza de trabajo, lo que lleva a menores excesos de trabajo, y menores costes.
- El modelo permite definir la demanda de carga de trabajo como una cantidad mínima o exacta de los trabajadores requeridos para cada franja horaria, lo que permite especificar cuándo es preferible que se produzca el exceso de carga de trabajo.

El artículo está organizado de la siguiente forma: una vez posicionado el problema en la introducción, en el capítulo 2 se describe con detalle el problema a resolver, en el tercer capítulo se discute el modelo matemático del problema, en el cuarto capítulo se muestran diversos escenarios de aplicación del modelo, y en el capítulo 5 se muestran las conclusiones del trabajo que se presenta, y futuras líneas de trabajo.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Cada vez que un avión aterriza en un aeropuerto se deben realizar 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, colocación de calzos, transporte de viajeros en autobús, limpieza, 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 limpiar un avión grande que un avión pequeño. Estos parámetros también son función del tipo de vuelo (chárter, regular o posicional). Todas estas características, unidas 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 difícil el cálculo de los turnos del personal que atiende a los vuelos en el aeropuerto.

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 en el aeropuerto. La mayor flexibilidad la presentan las diferentes duraciones semanales de los contratos, que suelen ser de 40, 30, y 20 horas

semanales, lo que da lugar a jornadas de 8, 6 y 4 horas diarias, durante cinco días a la semana. 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, así como las duraciones mínima y máxima de las dos partes de la jornada de trabajo, y además, se debe garantizar que la suma de las duraciones de las dos partes de la jornada de trabajo es la duración nominal de la jornada. Todas estas opciones de flexibilidad en los contratos hacen posible alcanzar plantillas de trabajadores eficientes, en cuanto que acercan al máximo la fuerza de trabajo a la demanda de carga de trabajo, reduciendo al mínimo los costes de personal.

En un problema de planificación estratégica de personal, el objetivo es encontrar la configuración de la plantilla de menor coste que cubre la demanda de carga de trabajo, lo que significa calcular la cantidad de empleados de cada contrato, definir los días de descanso semanal, definir la hora de comienzo de cada jornada, y si hay jornadas partidas, definir la duración de cada una de las subjornadas, y definir el comienzo y la duración de cada descanso dentro de las jornadas partidas. El proceso de optimización debe garantizar que las jornadas generadas 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 1, y se explican a continuación.

Para una mejor comprensión de cada uno de los parámetros de definición de los contratos, a continuación se van a describir una serie de casos diferentes, orientados a mostrar la versatilidad del modelo.

Con los parámetros definidos en la Tabla 1, se puede modelar, por ejemplo, un contrato de 40 horas semanales, dos días de descanso semanal, con jornadas partidas. Las jornadas partidas

pueden tener un descanso de entre 1 y 3 horas, y la mínima sub-jornada será de dos horas. Según esta definición, se pueden definir todos los tipos de jornada de trabajo que muestra la Tabla 2, considerando la unidad temporal de una hora. Cada tipo de jornada de trabajo lo denominamos patrón de jornada, y existen 16 patrones de jornada para este tipo de contrato.

En función de la cantidad de días de trabajo y de descanso semanales, y en función de si los días de descanso deben ser seguidos o pueden ir separados a lo largo de la semana, se deducen los patrones semanales, que indican la secuencia de días de trabajo y de descanso que puede realizar un trabajador. Como ejemplo, en la Tabla 3 se muestran todos los patrones semanales que corresponden a un contrato de cinco días de trabajo semanales, donde ‘T’ representa un día de trabajo, y ‘D’ representa un día de descanso. En esta tabla se muestran las dos opciones posibles, con días de descanso separados (21 posibilidades en la parte izquierda de la tabla), o días de descanso semanal seguidos (6 posibilidades en la parte derecha de la tabla). Este ejemplo se puede generalizar a cualquier cantidad de días de trabajo semanales.

El campo ‘posibles comienzos’ es el conjunto de comienzos permitidos de las jornadas de trabajo que se pueden crear para el contrato. Este campo permite definir turnos fijos de trabajo. Si el contrato representa turnos de mañana, los posibles comienzos de jornada son por ejemplo, los que muestra la Tabla 4, donde se considera que el turno de mañana puede comenzar jornadas de trabajo entre las 08:00 y las 11:00 a diario, y entre las 09:00 y las 11:00 en fin de semana. Si por el contrario, un contrato no tiene limitado el comienzo de jornadas a lo largo de la semana, el posible comienzo de jornada es desde el lunes a las 00:00 hasta el domingo a las 24:00.

El campo ‘límite trabajadores’ permite hacer ajustes de la plantilla que se va a calcular. Normalmente se utilizará para

Parámetro	Descripción
Nombre	Nombre del contrato
Horas diarias	Cantidad de horas de trabajo al día
Unidad temporal	Indica la unidad de trabajo temporal (15, 30 o 60 minutos)
Días descanso	Número de días de descanso semanales
Descanso seguidos	Indica si los días de descanso semanal deben ser seguidos, o pueden estar separados
Posibles comienzos	Especifica las posibles horas de comienzo de las jornadas de trabajo
Jornadas partidas	Indica si los trabajadores pueden partir las jornadas de trabajo
Máximas jornadas partidas	Indica el número máximo de jornadas partidas a la semana que puede realizar un trabajador
Mínima subjornada	Mínima duración de las dos subjornadas en que se divide una jornada partida.
Mínimo descanso	Mínima duración del periodo de descanso de una jornada partida.
Máximo descanso	Máxima duración del periodo de descanso de una jornada partida.
Coste jornada partida	Especifica el coste de una jornada partida, en función de la duración del periodo de descanso
Duración del descanso sin coste	Parte del descanso que no lleva asociado coste.
Coste jornada	Coste de una jornada continua de trabajo
Límite trabajadores	Cantidad mínima, exacta o máxima de trabajadores a considerar en este contrato.

Tabla 1: Definición de un contrato

Número de patrón	Primera subjornada	Descanso	Segunda subjornada	Número de patrón	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	

Tabla 2: Patrones de jornada para el contrato de 40 horas semanales

Orden	L	M	X	J	V	S	D
1	D	D	T	T	T	T	T
2	D	T	D	T	T	T	T
3	D	T	T	D	T	T	T
4	D	T	T	T	D	T	T
5	D	T	T	T	T	D	T
6	D	T	T	T	T	T	D
7	T	D	D	T	T	T	T
8	T	D	T	D	T	T	T
9	T	D	T	T	D	T	T
10	T	D	T	T	T	D	T
11	T	D	T	T	T	T	D
12	T	T	D	D	T	T	T
13	T	T	D	T	D	T	T
14	T	T	D	T	T	D	T
15	T	T	D	T	T	T	D
16	T	T	T	D	D	T	T
17	T	T	T	D	T	D	T
18	T	T	T	D	T	T	D
19	T	T	T	T	D	D	T
20	T	T	T	T	D	T	D
21	T	T	T	T	T	D	D

Orden	L	M	X	J	V	S	D
1	D	D	T	T	T	T	T
2	T	D	D	T	T	T	T
3	T	T	D	D	T	T	T
4	T	T	T	D	D	T	T
5	T	T	T	T	D	D	T
6	T	T	T	T	T	D	D

Tabla 3: Patrones semanales de un contrato con 5 días de trabajo semanales

Día semana	Desde	Hasta
Lunes	08:00	11:00
Martes	08:00	11:00
Miércoles	08:00	11:00
Jueves	08:00	11:00
Viernes	08:00	11:00
Sábado	09:00	11:00
Domingo	09:00	11:00

Tabla 4: Posibles comienzos de jornada para un contrato de turno de mañana

hacer variaciones sobre la plantilla actual. Este campo permitirá fijar condiciones como cantidades mínima, máxima o exacta de trabajadores de un tipo de contrato.

3. MODELO MATEMÁTICO

En la descripción del problema se han introducido los conceptos de patrón de jornada y patrón semanal. Definimos jornada como la dupla formada por un patrón de jornada de trabajo y una hora de comienzo. Por ejemplo dado el patrón de jornada número 1 de la Tabla 2, si el comienzo es a las 10:00 de lunes, tenemos la siguiente jornada: trabajo de 10:00 a 12:00, descanso de 12:00 a 13:00 y trabajo de 13:00 a 19:00.

Continuando con el mismo patrón de jornada, si el comienzo es a las 12:00, tenemos la jornada: trabajo de 12:00 a 14:00, descanso de 14:00 a 15:00, y trabajo de 15:00 a 21:00.

Definiciones:

Conjuntos:

- F Franjas horarias de una semana, que corresponden a la menor franja horaria definida para los contratos y para la demanda de carga de trabajo.
- F^m Franjas horarias de una semana que definen una demanda de carga de trabajo mínima.
- F^e Franjas horarias de una semana que definen una demanda de carga de trabajo exacta.
- D^m Demandas de carga de trabajo mínimas para las franjas horarias de F^m
- D^m Demandas de carga de trabajo exactas para las franjas horarias de F^e
- C Definiciones de contratos
- J^c Patrones de jornada que se generan de la definición del contrato $c \in C$
- J_f^c Jornadas del contrato $c \in C$ que trabajan durante la franja horaria $f \in F$
- K_d^c Patrones de jornada de contrato $c \in C$ que trabajan en el día $d \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- S^c Patrones semanales del tipo de contrato $c \in C$

Parámetros:

- c_p^c Coste de la de jornada con patrón $p \in J^c$ del contrato $c \in C$
- D_h Demanda de trabajadores en la franja horaria $h \in F$
- MI^c Número mínimo de trabajadores para el contrato $c \in C$
- MA^c Número máximo de trabajadores para el contrato $c \in C$
- EX^c Número exacto de trabajadores para el contrato $c \in C$
- MS^c Número máximo de jornadas partidas que se pueden asignar a la semana para un trabajador suscrito al contrato $c \in C$

Variables enteras:

- X_{p,f}^c Cantidad de jornadas del contrato $c \in C$ correspondientes al patrón $p \in J^c$ que comienzan en la franja horaria $f \in F$, $X_{p,f}^c \geq 0$
- Y_q^c Cantidad de patrones semanales del contrato $c \in C$ y del tipo $q \in S^c$, $Y_q^c \geq 0$

El problema de cálculo de plantillas para cubrir una demanda de carga de trabajo se formula mediante la siguiente función objetivo, sujeta a las siguientes restricciones:

$$\text{Min } \sum_{c \in C} \sum_{p \in J^c} \sum_{f \in F} c_p^c X_{p,f}^c \quad (1)$$

s. a:

$$\sum_{c \in C} \sum_{p \in J^c} X_{p,f}^c \geq D_h \quad \text{donde } f \in J_f^c, \text{ para todo } h \in F^m \quad (2)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{p \in J^c} X_{p,f}^c = D_h \quad \text{donde } f \in J_f^c, \text{ para todo } h \in F^e \quad (3)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{q \in S_q^c} Y_q^c = \sum_{c \in C} \sum_{p \in K_d^c} X_{p,f}^c \quad \forall d \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\} \quad (4)$$

$$\sum_{p \in J^c} \sum_{f \in F} X_{p,f}^c \leq MS^c \sum_{q \in S^c} Y_q^c \quad \forall c \in C \quad (5)$$

$$\sum_{q \in S^c} Y_q^c \leq MA^c \quad \forall c \in C \quad (6)$$

$$\sum_{q \in S^c} Y_q^c \geq MI^c \quad \forall c \in C \quad (7)$$

$$\sum_{q \in S^c} Y_q^c = EX^c \quad \forall c \in C \quad (8)$$

Las variables enteras X_{p,f}^c expresan la cantidad de jornadas que se asignan para cubrir la demanda de carga de trabajo. Esas variables expresan la cantidad de trabajadores necesarios de cada patrón semanal que comienzan su jornada de trabajo en cada franja horaria, por tanto representan las jornadas que realizarán los trabajadores. El conjunto de estas jornadas de trabajo representan la fuerza de trabajo que ofrece la plantilla de trabajadores que se está calculando. Si se conoce la cantidad de jornadas de trabajo de cada contrato, se conoce la cantidad de trabajadores de ese contrato. Las variables enteras Y_q^c expresan la cantidad de trabajadores de cada tipo de contrato que se asignan a los diferentes patrones semanales. Estas variables permiten modelar que los días de descanso semanal sean seguidos o separados, y permiten modelar la cantidad de trabajadores que descansan cada día de la semana. Si se conocen la cantidad de trabajadores de cada contrato, y las jornadas de trabajo que realizan esos trabajadores, y además se conocen los días de descanso de esos trabajadores, se tiene completamente definida la plantilla de trabajadores.

El objetivo del problema táctico de personal es minimizar el coste de todas las jornadas que se necesitan para cubrir la demanda de carga de trabajo, lo que modela la función objetivo (1). Las restricciones (2) y (3) aseguran que se cubre la carga de trabajo de cada franja horaria, con exceso de trabajo o sin exceso de trabajo en la franja horaria, porque relacionan la fuerza de trabajo en cada franja horaria con la demanda de carga de trabajo requerida. La restricción (4) asegura que ningún día hay más jornadas que trabajadores para un tipo de contrato. Esta restricción fija que cada día, hay tantas jornadas como trabajadores, para cada tipo de contrato. La restricción (5) asegura que no se asignan más jornadas partidas de las que marca cada contrato (se activa solo si el tipo de contrato c admite jornadas partidas). Las restricciones (6), (7) y (8) aseguran que el número de trabajadores de un contrato cumple con los requisitos de mínimo, exacto o máximo número de trabajadores, respectivamente. Estas tres restricciones son opcionales, se añaden al modelo solo si así lo requiere la definición del contrato.

4. ESCENARIOS

En este apartado se van a mostrar diversos escenarios de uso del modelo propuesto, para mostrar su potencial y flexibilidad. El modelo es una herramienta para que el gestor tome decisiones fundamentadas en datos obtenidos cuantitativamente, porque la Investigación Operativa trabaja a nivel de asesoría (Hillier & Lieberman [20]).

La demanda de carga de trabajo corresponde a los servicios de carga y descarga de maletas de aviones en el aeropuerto de Madrid, en una semana tipo de la temporada de invierno, para una empresa española de transporte aéreo de viajeros. La carga de trabajo se ha obtenido en base a los servicios individuales de carga y descarga de maletas de cada avión. La demanda de carga de trabajo se obtiene a partir de los vuelos que aterrizan en Madrid y de una configuración de servicios. La configuración de servicios especifica la duración del servicio y la cantidad de trabajadores necesarios. Como ejemplo, la configuración de servicios de carga y descarga de maletas indica ‘cuando llegue un avión de tipo X, son necesarios 3

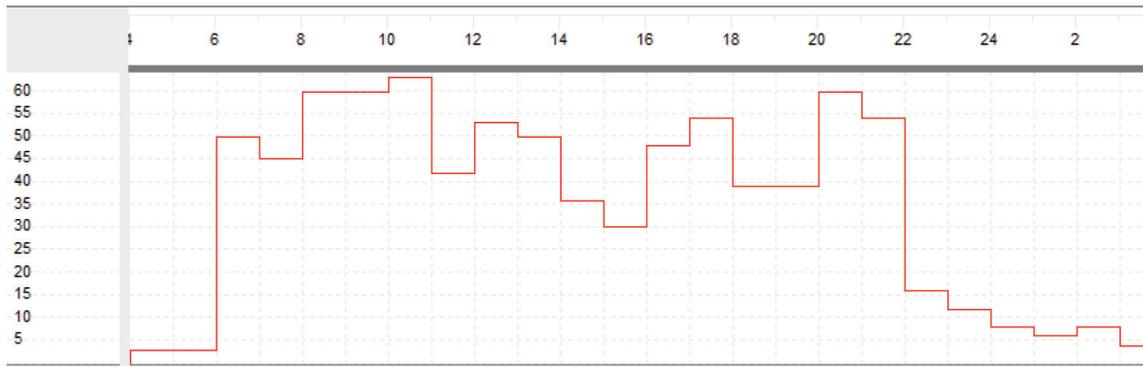


Figura 1: Demanda de carga de trabajo del lunes

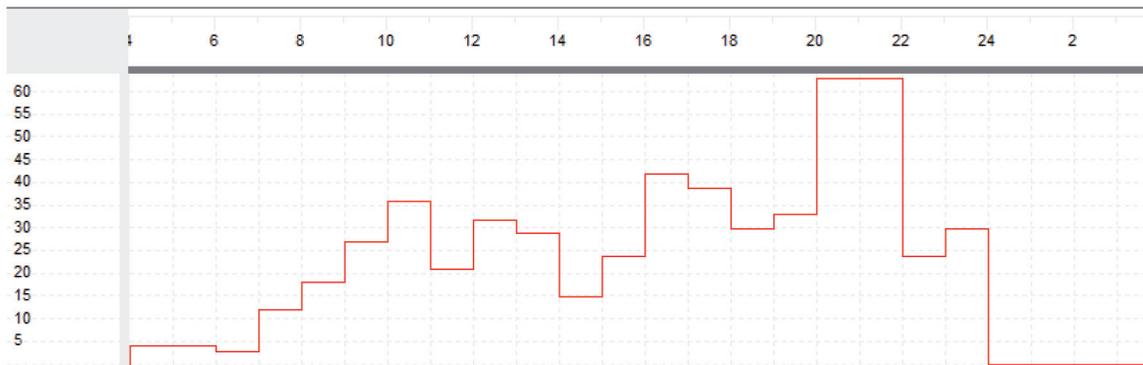


Figura 2: Demanda de trabajo del domingo

empleados, y el servicio comienza 10 minutos antes de que aterrice el avión, y dura 30 minutos’ o ‘cuando llegue un avión de tipo Y, son necesarios 5 empleados, y el servicio comienza 10 minutos antes de que aterrice el avión, y dura 45 minutos’. De esta forma, dada la hora de llegada de un vuelo, se puede determinar la hora de comienzo de un servicio, la hora de finalización del servicio y los trabajadores necesarios. La demanda de carga de trabajo se calcula en función de los servicios, para cada hora, porque los turnos de trabajo deben empezar a las horas en punto. Como ejemplo, las Figuras 1 y 2 muestran la demanda de carga de trabajo del lunes y el domingo.

Partimos del escenario 1, que considera un solo tipo de contrato de 40 horas semanales (8 horas diarias), con 5 días de trabajo semanales, sin jornadas partidas y un coste por jornada de 60 euros. Se van a evaluar dos opciones: días de descanso semanal seguidos o separados. La Tabla 5 muestra los resultados para las dos opciones. La opción de descanso semanal seguido supone un aumento de 10 trabajadores y un coste de

Concepto	Descansos seguidos	Descansos separados
Trabajadores	175	165
Jornadas	875	825
Fuerza de trabajo (horas)	7.000	6.600
Exceso de trabajo (horas)	1.770	1.370
Coste (euros)	52.500	49.500

Tabla 5: Escenario 1

Concepto	Contrato 40 horas	Contrato 30 horas	Total
Trabajadores	85	90	175
Jornadas	425	450	875
Fuerza de trabajo (horas)	3.400	2.700	6.100
Exceso de trabajo (horas)			870
Coste (euros)	25.500	21.600	47.100

Tabla 6: Escenario 2

3.000 euros semanales, sobre la opción de días de descanso semanal separados.

En el escenario 2 se van a evaluar dos tipos de contrato, de diferente duración semanal. En concreto, se consideran un contrato de trabajadores de 40 horas semanales, y otro contrato de 30 horas semanales (6 horas diarias), con un coste por jornada de 48 euros. Ambos contratos tienen cinco días de trabajo semanales, sin jornadas partidas, y con días de descanso seguidos. El resultado de este escenario se muestra en la Tabla 6.

En el escenario 3 se van a evaluar tres tipos de contrato, de diferente duración semanal. En concreto, se consideran contratos de trabajo de 40, 30 y 20 horas semanales (4 horas diarias). Los tres contratos tienen cinco días de trabajo a la semana, dos días de descanso seguidos, no consideran jornadas partidas, y tienen unos costes por jornada de 60, 48 y 34 euros

Concepto	Contrato 40 horas	Contrato 30 horas	Contrato 20 horas	Total
Trabajadores	79	61	40	180
Jornadas	379	305	200	900
Fuerza de trabajo (horas)	3.032	1.830	800	5.790
Exceso de trabajo horas)				560
Coste (euros)	23.700	14.640	6.800	45.140

Tabla 7: Escenario 3

respectivamente. El resultado de este escenario se muestra en la Tabla 7.

En el escenario 4 se van a considerar simultáneamente contratos de 40, 30 y 20 horas semanales, con cinco días de trabajo semanales, 3 jornadas partidas máximas a la semana, y posibilidad de días de descanso semanal separados. Cada trabajador puede partir dos jornadas a la semana, con un descanso mínimo de una hora y máximo de 3 horas. El coste de cada minuto de jornada partida es 0,17 euros, y la primera hora partida no genera coste. El resultado de este escenario se muestra en la Tabla 8.

con parámetros flexibles. Se puede utilizar también para repartir turnos fijos de trabajo, o para calcular refuerzos en días concretos, o para cambiar contratos a cierto personal. La idea principal es que un gerente vaya cambiando los datos de entrada de sucesivos escenarios, cuantificando el efecto de los datos de entrada, y tomando decisiones fundamentadas en cálculos cuantitativos.

A la vista de los escenarios planteados como ejemplo, a la empresa le cuesta 3.000 euros semanales que los trabajadores de 40 horas descansen los dos días seguidos (escenario 1). Se consigue un ahorro de $52.500 - 45.140 = 7.630$

Concepto	Contrato 40 horas	Contrato 30 horas	Contrato 20 horas	Total
Trabajadores	84	31	50	165
Jornadas	420	155	250	825
Jornadas partidas	252	93	150	41.170,6
Fuerza de trabajo (horas)	3.360	930	1.000	5.290
Exceso de trabajo (horas)				60
Coste (euros)	25.220,4	7.440	8.510,2	41.170,6

Tabla 8: Escenario 4

En el escenario 5, se va a calcular la cantidad de trabajadores necesarios para tres turnos de trabajo. Se definen tres turnos de trabajo: mañana (de 06:00 a 10:00), tarde (de 13:00 a 16:00) y noche (21:00 a 23:00). Se consideran trabajadores de 40 horas semanales que trabajan cinco días semanales, con descanso semanal seguido, sin partir jornadas. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Estos escenarios son solo una pequeña muestra de la versatilidad que tiene el modelo planteado, en base a contratos

euros si se hacen contratos de 40, 30 y 20 horas, frente al contrato de solo 40 horas (escenarios 1 y 3). Partir jornada lleva a un ahorro de $45.140 - 41.170,6 = 3.969,4$ euros (escenarios 3 y 4). El trabajo por turnos fijos cuesta $56.100 - 52.500 = 3.600$ euros sobre el contrato de 40 horas (escenarios 1 y 5).

El algoritmo de cálculo se ha desarrollado en C++ con entrada y salida de datos en XML, sobre la biblioteca GLPK v4.55 (Makhorin [21]), y las instancias de los problemas de

Concepto	Contrato 40 hora de mañana	Contrato 40 horas de tarde	Contrato 40 horas de noche	Total
Trabajadores	95	84	8	187
Jornadas	475	420	40	935
Fuerza de trabajo (horas)	3.800	3.360	320	7.480
Exceso de trabajo (horas)				2.250
Coste (euros)	28.500	25.200	2.400	56.100

Tabla 9: Escenario 5

los casos de uso presentados anteriormente se han lanzado sobre un Intel Core 2 Duo T6570 2.1GHz, 4 GB RAM, con Windows 7 Enterprise de 64 bits. Todos los escenarios se han resuelto de forma óptima, en menos de un minuto.

CONCLUSIONES

Se ha definido un problema de planificación táctica de personal para el personal de atención a vuelos en aeropuertos, que toma como entrada una demanda de carga de trabajo y una serie de contratos, y calcula de forma óptima la cantidad de trabajadores de cada tipo de contrato, las jornadas de trabajo y los patrones de descanso semanal, que llevan a un menor coste. El modelo permite cuantificar aspectos como descansos seguidos, jornadas partidas o duraciones de contratos, de forma que el agente decisor tenga información económica durante el proceso de configuración de la plantilla.

Se ha definido una formulación basada en patrones de jornada y patrones semanales que permite resolver el problema de forma óptima, incluso para grandes cargas de trabajo, que derivan en grandes plantillas de trabajadores.

Aunque el sistema presentado se ha desarrollado para resolver el problema de planificación táctica de personal de atención de vuelos en aeropuertos, se puede utilizar para cualquier otro colectivo de otros sectores productivos, donde la actividad a planificar sea la demanda de carga de trabajo, siempre que las condiciones contractuales se puedan modelar con los tipos de contratos definidos en este trabajo.

En futuros trabajos, las jornadas partidas se van a poder definir por franja horaria, para crear solo jornadas partidas aceptables para los trabajadores (por ejemplo, no partir una jornada a las 03:00). También se van a poder definir patrones de jornada específicos que no contempla la definición general del contrato, para poder cubrir mejor la demanda de carga de trabajo de unas franjas horarias concretas. Así el usuario puede aportar su conocimiento para lograr un menor exceso de fuerza de trabajo. También se va a plantear la resolución del problema de planificación operativa de personal mediante la formulación basada en patrones de jornada y patrones de trabajo semanales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dowling, D.; Krishnamoorthy, M.; Mackenzie, H.; Sier, D. (1997) Staff rostering at a large international airport. *Annals of Operations Research* 72, pp 125-147.
- [2] Brucker, P., Qu, R., Burkner, E. (2011) Personnel scheduling: Models and complexity. *European Journal of Operational Research* 210, 467-473.
- [3] Ernst, A., 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
- [4] Kyngäs, N., Kyngäs, J., Nurmi, K. (2012) Optimizing Large-Scale Staff Rostering Instances. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012 Vol II, IMECS 2012, March 14-16, 2012, Hong Kong.*
- [5] R. Ambil, E. Gelman, B. Patty and R. Tanga (1991). Recent advances in crew-pairing optimization at American Airlines, *Interfaces* 21, 62-67.
- [6] Deng, G-F., Lin, W-T. (2011) Ant colony optimization-based algorithm for airline crew scheduling problem. *Expert Systems with Applications*. Volume 38, Issue 5, 5787-5793.
- [7] Gershkoff, I. (1989). Optimizing flight crew schedules. *Interfaces* 19, 29-43.
- [8] Gintner, V., Kliever, N., Suhl, L. (2008) A Crew Scheduling Approach for Public Transit Enhanced with Aspects from Vehicle Scheduling. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Volume 600, 25-42.
- [9] Jütte, S., Thoneman, U. (2012) Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems. *European Journal of Operational Research*. Volume 219, Issue 2, 214-223.
- [10] Weide, O., Ryan, D., Ehrgott, M. (2010). An iterative approach to robust and integrated aircraft routing and crew scheduling. *Computers & Operations Research*, Volume 37, Issue 5, 833-844.
- [11] Mesquita, M., Paiais, A., Respicio, A. (2009). Branching approaches for integrated vehicle and crew scheduling. *Public Transport*. Volume 1, Issue 1, 31-37.
- [12] Cheang, B., Li, H., Lim, A., Rodrigues, B. (2003) Nurse rostering problems—a bibliographic survey. *European Journal of Operational Research* 151, 447-460.
- [13] Burke, E., Li, J., Qu, R. (2010) A hybrid model of integer programming and variable neighbourhood search for highly-constrained nurse rostering problems. *European Journal of Operational Research* 203, 484-493.
- [14] Glass, C., Knight, R. (2010) The nurse rostering problem: A critical appraisal of the problem structure. *European Journal of Operational Research* 202, 379-389.
- [15] Puente, J., Gómez, A., Fernández, I., Priore (2009) Medical doctor rostering problema in a hospital emergency department by means of genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*. Volume 56, Issue 4, 1232-1242.
- [16] Burke, E., Curtois, T., Post, G., Qu, R., Veltman, B. (2008) A hybrid heuristic ordering and variable neighbourhood search for the nurse rostering problem. *European Journal of Operational Research* 188, 330-341.
- [17] Brucker, P., Qu, R., Burke, E., Post, G. (2005) A decomposition, constructing and post-processing approach for nurse rostering. In: *Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications*. New York.
- [18] Brusco, M.J.; Jacobs, L.W.; Bongiorno, R.J.; Loynes, D.V.; Tang, B. (1995) Improving personnel scheduling at airline stations. *Operations Research* 43, pp741-751.
- [19] Stollert, R. (2010) Operational workforce planning for check-in counters at airports. *Transportation Research Part E* 46, 414-425.
- [20] Hillier, F., Lieberman, G. (1997) *Introducción a la investigación de operaciones*. McGraw-Hill. México. 4ª edición.
- [21] Makhorin, A. (2014). GLPK: GNU Lineal Programming Kit. Disponible en <https://www.gnu.org/software/glpk/>