



**5. ESCENARIO III:  
ASIGNACIÓN DE JORNADAS  
A TRABAJADORES EN  
EMPRESAS DE TRANSPORTE  
COLECTIVO**

## 5. ESCENARIO III: ASIGNACIÓN DE JORNADAS A TRABAJADORES EN EMPRESAS DE TRANSPORTE COLECTIVO

### 5.1 EMPRESAS DE TRANSPORTE COLECTIVO

El crecimiento que experimenta el transporte colectivo asociado al crecimiento poblacional, como alternativa frente a las crecientes congestiones de tránsito y a las políticas de aparcamiento, como apoyo a políticas medioambientales y como respuesta a las concretas prohibiciones de uso de vehículo privado en algunas ciudades, es indudable.

Sería razonable que no se pretenda obligar a la población al uso del transporte público, sino que se fomente que éste sea la primera opción de cualquier persona con necesidad de transportarse. Siendo esto así, lo importante es garantizar una calidad de servicio adecuada a un precio razonable. Una vez garantizada la calidad de servicio, las empresas gestionarían eficientemente sus recursos para minimizar los costes de operación ahorrando así importantes cantidades de dinero o, en otras palabras, no desperdiciándolo.

Para realizar con éxito la gestión se debe abordar el problema de forma global, aún cuando ciertas partes sean enfocadas por momentos de forma independiente para simplificar su tratamiento. Este enfoque racional se complementa con el uso de sofisticados sistemas de soporte a la toma de decisiones, apoyados en poderosos modelos matemáticos y técnicas de resolución.

La manera hoy en día más frecuente y respaldada de afrontar el problema de planificación del transporte es dividiéndolo en las siguientes cuatro etapas:

**Organización de líneas:** A partir de una determinada matriz de movilidad, es decir, a partir de la estimación del número de personas que se desea trasladar de un sitio a otro, y en función de cómo se quiera responder a esta demanda, se determinan las rutas que deben seguir los vehículos y la cadencia de los mismos a lo largo del día, estructurándolos en líneas.

La matriz de movilidad está siempre referida a una franja horaria y a un tipo de día concretos, dado que el flujo de personas que desean trasladarse de un sitio a otro varía según la hora y según se trate de un día laborable, sábado o festivo.

Las líneas regulares tienen por lo general unos recorridos muy estables ya que cualquier variación en éstos comporta un nuevo acuerdo en la concesión municipal. No ocurre lo mismo con la cadencia de paso de los vehículos, donde la compañía tiene mucha más autonomía de cara a la toma de decisiones.

**Determinación de Horario de Vehículos (Vehicle Scheduling):** Una vez programados los viajes que se desea realizar, se determina cuántos vehículos son necesarios para hacerlos. Este resultado irá acompañado de la organización del horario de los vehículos, es decir, a qué hora saldrá un cierto vehículo de la cochera, qué trayecto hará, en qué momento pasará por los distintos puntos de relevo y a qué hora regresará nuevamente a la cochera.

En esta etapa se debe tener en cuenta que, según la franja horaria en que nos encontremos, un mismo recorrido puede llevar más o menos tiempo.

**Determinación de Jornadas de Trabajo (Crew Scheduling):** Se llama expedición al trayecto que hace un vehículo entre su salida y su llegada a la cochera. Se da el caso en el que no es un mismo conductor quien lleva el vehículo durante toda la expedición, por lo que están previstos distintos puntos de relevo de conductores. No obstante, el pasar por un punto de relevo no implica necesariamente un cambio de conductor.

Se denomina viaje a la parte de una expedición comprendida entre dos puntos de relevo consecutivos. Parte de trabajo es el conjunto de viajes consecutivos de una misma expedición efectuados por un mismo conductor.

Se conoce como Crew Scheduling al proceso por el cual se elaboran las jornadas de trabajos, es decir, el conjunto de partes de trabajo efectuados por un mismo conductor en un día.

**Asignación de Jornadas a Trabajadores (Rostering):** Partiendo de una solución óptima de los apartados anteriores, y una vez determinadas las jornadas de trabajo, éstas tienen que ser asignadas a trabajadores

concretos. Será éste el momento de calcular el número de conductores que haría falta y las jornadas a realizar por los mismos, según una serie de condicionantes con los que trabajaremos. Entre estos cabe destacar el equilibrio en las horas trabajadas, el tiempo de descanso entre jornadas, el reparto de los días festivos y la rotación en el trabajo.

Cabe decir que el problema de Asignación de Jornadas a Trabajadores, tarea única e independiente para cuya realización es necesario que estén perfectamente determinadas las jornadas de trabajo. Cabe decir que esta etapa es la que da más lugar a investigación hoy en día ya que, al haber variaciones en las condiciones laborales de los trabajadores para cada caso, encontrar una resolución generalizada es complicado.

## ***5.2 FACTORES CONDICIONANTES DEL ROSTERING***

Una vez realizada la Determinación de Jornadas de Trabajo (Crew Scheduling), la Asignación de Jornadas a Trabajadores (Rostering) realiza lo que su nombre indica. Surgen aquí una serie de factores condicionantes, entre los cuales consideramos más relevantes a nivel general los siguientes:

**Equilibrio de horas trabajadas:** Según la asignación que se haga de las jornadas de trabajo, el cómputo anual puede dar resultados dispares para cada conductor. Esto puede acarrear pérdidas para la compañía, que por un lado debe pagar horas extras a los trabajadores que hayan trabajado más de lo estipulado, y por otro no puede descontarle nada a quienes hayan trabajado menos.

**Descanso entre jornadas:** Dado que las jornadas de trabajo resultantes del Crew Scheduling pueden empezar y terminar a horas distintas, cuando se asigna a un conductor dos jornadas de días consecutivos hay que tener en cuenta que descanse, entre el fin de una y el comienzo de la siguiente, un número mínimo de horas.

**Días libres:** Se deberá hacer el reparto de días libres de la forma más equitativa posible no solo en cuanto a número de días seguidos de trabajo,

sino también en cuanto a días libres consecutivos. Se procurará que los conductores tengan un número de días de trabajo lo más parecido posible, teniendo en cuenta que aquellos que estén cumpliendo con el turno mañana durante un intervalo de tiempo roten al turno tarde en el intervalo siguiente, o similar. También se procurará un reparto equitativo de las jornadas nocturnas.

### ***5.3 ENFOQUE FSP***

La forma en que se aborda más frecuentemente este problema en la literatura es mediante el uso de patrones. Un patrón válido es un vector de longitud igual al horizonte temporal, que está compuesto por una secuencia de turnos. Cada patrón válido está asociado a una restricción concreta y puede asignarse, por tanto, al trabajador o conjunto de trabajadores relacionados con dicha restricción. Combinando la matriz de necesidades con los patrones generados, se pretende cubrir la demanda, o bien hacer la asignación que mejor se ajuste al objetivo estipulado. La utilización de patrones restringe las posibilidades de asignación de jornadas de trabajo a trabajadores, provocando en ocasiones que haya que contratar más trabajadores que los estrictamente necesarios por respetar los patrones de partida. Esto se entiende como innecesario, por lo que se plantea en este proyecto un nuevo enfoque de la problemática en cuestión.

Con este estudio se pretende abordar el objetivo táctico del Rostering, o lo que es lo mismo, determinar el número de trabajadores necesarios para realizar todas las jornadas de trabajo. En este caso no se hace uso de patrones, sino que los turnos se asignan a los trabajadores acatando las restricciones en la propia asignación y no en la previa generación del patrón.

Para evaluar el enfoque del Rostering como problema de tipo FSP, se analizan en primer lugar los datos de partida: las jornadas de trabajo.

En las jornadas de trabajo se recogen todos los partes de trabajo realizados por un mismo conductor en un día. Como es evidente, éstas tienen un instante específico de comienzo y una duración presupuesta en principio sin holguras, o lo que es lo mismo, un instante determinado de comienzo y otro

de finalización, característica fundamental de los problemas FSP. Por otra parte, las jornadas pueden ser realizadas por cualquiera de los conductores, quienes deberán hacerlas en igual tiempo, por lo que estaríamos ante un problema con una clase de máquinas y máquinas idénticas. Sí que existen restricciones en lo relativo a las condiciones de trabajo de los conductores, que representan la mayor novedad de este modelo. Las condiciones de trabajo de los conductores aquí consideradas incluyen la distinción entre turnos de día y de noche, el solapamiento de trabajos, la no realización de más de un turno, ya sea de día o de noche, en el intervalo de un día, y la consideración de un máximo de horas trabajadas. Estas condiciones son o bien desarrolladas para este proyecto, o bien derivadas de las de tipo working-time; pueden observarse en el próximo apartado.

## **5.4 EL MODELO**

### **5.4.1 OBSERVACIONES**

Como se comenta más arriba, este modelo pretende determinar el número de trabajadores necesario para cumplir con unas determinadas jornadas de trabajo, dividiendo la Asignación de Jornadas a Trabajadores en dos etapas, y abordando la primera, la cual consistente en determinar el número de trabajadores necesario para cubrir todas las jornadas. Se trata de un objetivo táctico tras el cual, conocido el número de trabajadores, para la resolución completa del Rostering deberá usarse este dato como partida para la resolución operacional, y así determinar las tareas que se realizaran y quién las realizará.

Se intentará resolver el modelo de forma exacta mediante el uso de librerías XA. Como se trata de un problema extenso, no se contemplan desde un principio todas las restricciones propias de un problema de esta índole, sino solo las más representativas, incluidas en la formulación del modelo. De poderse resolver el problema en un tiempo razonable, se incluirán más restricciones.

En cuanto a la nomenclatura, al estudiar un escenario concreto como es el Rostering, usaremos la propia del mismo. Un turno horario se define por una hora de inicio, una de finalización, y ocasionalmente un período de descanso entre ambas. Dado que las jornadas de trabajo pueden empezar cada una de ellas en horas diferentes, se agrupan las que tienen un horario similar formando lo que se denomina turno horario en un sentido más amplio. En este estudio no se usarán turnos partidos sino continuos, a saber: Nocturno, Diurno. De esta manera, lo que hasta ahora hemos venido denominando trabajo, pasa a denominarse turno, y lo que veníamos denominando máquina, pasa a denominarse trabajador.

#### 5.4.2 MODELO

##### Variables:

$x_{ij}$  Variable binaria  $\{0,1\}$ , que toma el valor de la unidad si el turno  $i$  lo realiza el trabajador  $j$ .

$y_j$  Variable binaria  $\{0,1\}$ , que toma el valor de la unidad si se utiliza el trabajador  $j$ .

##### Datos:

$s_i$  Instante de comienzo del turno  $i$ .

$f_i$  Instante de finalización del turno  $i$ .

$d_i$  Día turno  $i$ .

$t_i$  Tipo de turno (0=Nocturno; 1=Diurno).

##### Restricciones:

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (5.1)$$

Estipula que cada tarea se realiza por un solo trabajador.

$$\sum_{i \in \text{SEMANA } s} x_{ij} \leq 5 \cdot y_j \quad \forall j \{s = 1,2,3,4\} \quad (5.2)$$

Restricción que controla que un trabajador realice un máximo de 5 turnos por semana y que activa la variable  $y_j$ , la cual quiere decir que el trabajador  $j$  ha realizado algún turno.

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{k > i: s_k < f_j\} \quad (5.3)$$

Controla que dos trabajos solapados no los realice el mismo trabajador.

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{d_i = d_k\} \quad (5.4)$$

Controla que dos turnos del mismo día no los realice un único trabajador.

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{t_i = 0; t_k = 1; d_i = d_k\} \quad (5.5)$$

Controla que si un trabajador hace un turno diurno, no realice un turno nocturno la siguiente noche.

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{t_i = 0; t_k = 1; d_i = d_k + 1\} \quad (5.6)$$

Controla que si un trabajador hace un turno de noche, no realice un turno diurno el siguiente día.

Función Objetivo:

$$\text{Min} \sum_j y_j \quad (5.6)$$

Minimiza el número total de trabajadores.

Modelo:

$$\text{Min} \sum_j y_j$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{i \in \text{SEMANA } s} x_{ij} \leq 5 \cdot y_j \quad \forall j \{s = 1,2,3,4\}$$

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{k > i; s_k < f_j\}$$

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{d_i = d_k\}$$

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{t_i = 0; t_k = 1; d_i + 1 = d_k\}$$

$$x_{ij} + x_{kj} \leq 1 \quad \forall j \{t_i = 0; t_k = 1; d_i = d_k\}$$

## 5.5 RESULTADOS

El modelo aquí presentado se resolvió con el uso de librerías de optimización XA<sup>1</sup>, obteniendo resultados alentadores.

Para realizar la asignación, se parte de una cota superior del número de trabajadores que, siendo éste un objetivo táctico, deberá ser suficientemente grande como para que se realicen todos los trabajos.

Reduciendo el problema a solo 1 línea de autobús tipo, se obtienen resultados que indican que el número de trabajadores necesarios es cercano a la decena. En este caso, como cota superior se utilizó el mayor grado de simultaneidad más 15 unidades.

Se intenta resolver el modelo para más líneas, pero los tiempos de resolución son excesivamente grandes.

Estos resultados son alentadores en cuanto a que, con un algoritmo Branch & Bound específico para el caso, se estima que podría ampliarse el número de líneas y obtener soluciones para problemas de dimensiones reales.

El desarrollo de dicho algoritmo excede el alcance de este proyecto, el cual pretende, por otra parte, despertar la curiosidad del lector e incentivar la investigación en ese sentido.

---

<sup>1</sup> Para información sobre librerías XA, ver anexo 1.