VIII Congreso de Ingeniería de Organización
Leganés, 9 y 10 de septiembre de 2004

Modelos de programación matemática para la asignación de horarios de trabajadores en un centro de servicios

Jordi Ojeda Rodríguez[1], Albert Corominas Subias[2], Rafael Pastor Moreno[3]

[1] Ing. Industrial, Centre CIM UPC-ICT, C Llorens i Artigas 12, 08028 Barcelona, jordi.ojeda@upc.es
[2] Dr. Ing. Industrial, IOC-DOE-ETSEIB, UPC, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, albert.corominas@upc.es
[3] Dr. Ing. Industrial, IOC-DOE-ETSEIB, UPC, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, rafael.pastor@upc.es

Resumen

Se proponen dos modelos de programación lineal mixta para asignar a horarios a los trabajadores polivalentes presentes en un centro de servicios, en una semana determinada. La polivalencia consiste en la posibilidad de que los trabajadores de una categoría puedan realizar varios tipos de tareas, con rendimientos y prioridades diferentes. Los datos básicos del problema son: relación de trabajadores con su categoría y su lista de horarios admisibles, y sus preferencias; tipos de tareas que pueden realizar los trabajadores de cada categoría, y prioridad y eficiencia correspondiente a cada par categoría-tarea; capacidad mínima para cada tipo de tarea, en cada período de tiempo del horizonte de la programación (hora, media hora, etc.); capacidad deseada para cada tipo de tarea (igual o mayor que la capacidad mínima), en cada período; importancia relativa de los diferentes elementos a considerar en la función objetivo. La función a optimizar es compleja, ya que se consideran diversos objetivos: minimizar las desviaciones de la capacidad resultante respecto a la capacidad deseada; maximizar las preferencias de los trabajadores al asignar los horarios; y maximizar las prioridades al asignar las tareas a las categorías. Se indican los modelos, la experiencia computacional, así como las conclusiones obtenidas.

Palabras clave: Programación de horarios, programación lineal mixta

1. Introducción

En las últimas décadas, el conjunto de los países industrializados ha desarrollado rápidamente el sector terciario de sus economías, tanto en valor absoluto, desde el punto de vista del empleo de la producción de riqueza y del consumo, como en valor relativo. Castells (1996) confirma que alrededor de dos tercios de los trabajadores se emplean en el sector servicios.

Ante este desarrollo espectacular, se plantean nuevos problemas asociados a las características particulares de los servicios. Una característica habitual es que gran cantidad de servicios tienen una demanda que presenta variaciones más o menos acusadas o, lo que es lo mismo, una demanda no uniforme. Para hacer frente a la variabilidad de la demanda, tanto en cantidad como en su composición, existen básicamente dos líneas a seguir:

- Crear stocks (cuando ello es posible) en épocas de poca demanda.

- Adaptar la capacidad productiva a la demanda.

La segunda opción es la única posible en un centro de servicios, puesto que una de las características de los servicios es la de no poder almacenarlos. Según Castells (1996), la necesidad de adaptación a la demanda es una cuestión clave en la sociedad actual.

Oke (2000) apunta que el reto es programar los horarios de los trabajadores para satisfacer la demanda de servicio del cliente, manteniendo el coste salarial bajo control, satisfaciendo todas las regulaciones aplicables (por ejemplo, la longitud de los horarios y los períodos de descanso) y la satisfacción de los trabajadores.

Por otro lado, en trabajos recientes se destaca la importancia de considerar una cota inferior de capacidad para satisfacer la demanda de servicio del cliente, por debajo de la cuál no es posible abrir el centro o realizar el servicio. Usando la terminología de Hill (1989), se puede hablar de nivel cualificador del servicio, al referirse al nivel mínimo aceptable de servicio, y de nivel ganador de servicio al referirse al nivel deseado. Es decir, también se debe considerar un valor deseado de capacidad para realizar un servicio adecuado, al que se deberá aproximar el máximo posible la solución final; por debajo de este valor deseado no se puede asegurar un buen servicio y, si excede notablemente, puede incluso perjudicar la calidad del servicio y la satisfacción de los trabajadores (una capacidad ligeramente superior a la capacidad deseada puede ser positiva hasta cierto punto; por ejemplo, si la capacidad deseada es de ocho personas y se dispone de nueve, puede contribuir a un incremento de la calidad del servicio, pero si se dispone de quince, podrían llegar a molestarse entre ellos).

El objetivo es encontrar una asignación de horarios a los trabajadores que respete, siempre que sea posible, las capacidades mínimas; además debe acercarse tanto como sea posible a las capacidades deseadas, teniendo en cuenta las preferencias de los trabajadores al asignar los horarios y maximizando las prioridades al asignar los tipos de tareas a las categorías.

Se debe definir una función objetivo que permita tener en cuenta la importancia relativa que el usuario atribuye al déficit de capacidad para cada tipo de tarea, al superávit para cada tipo de tarea, a la penalización de los horarios asignados y a la prioridad de la asignación *categoría-tarea* realizada. En el presente trabajo se plantea un modelo de programación matemática que contempla dos casos generales con dos variantes en cada uno de ellos. El caso W considera la personalización de la solución por trabajador y se obtiene, como resultado, qué horario semanal y qué tarea se le asigna en concreto a cada uno de ellos, en cada período de tiempo. El caso C considera asignar un horario semanal de presencia a cada trabajador, pero determina el número de trabajadores de cada categoría que realiza cada tipo de tarea en todo período, sin personalizar la asignación *trabajador-tarea*, que se debe realizar posteriormente.

Las dos variantes de los casos propuestos permiten tener en cuenta la eficiencia, entendida ésta como la facultad para obtener un efecto determinado comparándolo a un valor de referencia. Al tipo de tarea propio de una categoría se le asigna una eficiencia igual a la unidad y se utiliza a esa categoría como referencia para realizar ese tipo de tarea.

Si la eficiencia es mayor o menor que la unidad, el resultado de la tarea se obtiene en un tiempo menor o mayor, respectivamente, respecto de la categoría de referencia. En los dos casos propuestos se considera la eficiencia (E) de los trabajadores de una categoría, cuando dicho valor es distinto de la unidad al menos en una categoría, y no se considera la eficiencia (NE), cuando se asigna un valor igual a la unidad en todos los casos.

De esta manera se proponen dos casos a analizar con dos variantes cada uno de ellos, según se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Características de los cuatro casos propuestos.

	Eficiencia menor o mayor a la unidad (E)	**Eficiencia igual a la unidad (NE)**
Tareas a trabajadores (W)	**WE**	**WNE**
Tareas a categorías (C)	**CE**	**CNE**

La función objetivo incluye las penalizaciones asociadas al déficit y al superávit. Se propone usar una función convexa no lineal asociada al déficit y al superávit, debido a la repercusión más que proporcional en el nivel de servicio. Para posibilitar la resolución del modelo de programación matemática planteado se sustituye la función no lineal por una aproximación lineal, teniendo en cuenta la convexidad de la función objetivo.

Los criterios que se han considerado, en la definición y búsqueda de la solución óptima, son los siguientes:

- Asegurar, siempre que sea posible, la cota inferior de capacidad, sin la cuál no es posible mantener el centro de servicios abierto.

- Minimizar el déficit de capacidad respecto a la capacidad deseada, y repartirlo homogéneamente.

- Minimizar el superávit de capacidad respecto a la capacidad deseada, y repartirlo homogéneamente.

- Maximizar las preferencias de los trabajadores al asignar los horarios.

- Maximizar la prioridad de la asignación *categoría-tarea*.

La solución ideal sería aquella que no implicase ni déficit ni superávit de capacidad en ningún período, en la que los horarios asignados no tuviesen penalización y las prioridades de asignación de tareas fueran lo más altas posibles. En general, dicha solución no será factible y se debe definir una función objetivo que permita tener en cuenta la importancia relativa que el usuario otorga al déficit de capacidad para cada tipo de tarea, al superávit para cada tarea, a la penalización de los horarios asignados y a la prioridad de la asignación realizada.

En la sección 2 se formalizan los modelos; en la sección 3, se expone la experiencia computacional realizada, en la sección 4 las conclusiones; y, por último, los agradecimientos y las referencias.

2. Modelización del problema mediante programación matemática

2.1. Datos

A continuación se exponen los datos a considerar:

T	Número de períodos que comprende la semana (excluidos, naturalmente, aquellos en que no hay actividad en el centro de trabajo).
W	Número de trabajadores disponibles en la semana a programar.
C	Número de categorías de trabajadores.
n_c	Número de trabajadores de la categoría c *(c=1...C)*: $W = \sum_{c=1}^{C} n_c$
e_i	Indica la categoría *(1...C)* del trabajador i *(i=1...W)*.
J	Número de tipos de tareas diferentes.
H_i	Número de horarios posibles para el trabajador i *(i=1...W)*.
a_{tih}	Componente de una matriz binaria donde $a_{tih}=1$ si hay presencia en el centro de trabajo, en el período t *(t=1...T)* del trabajador i *(i=1...W)* para su horario h *(h=1...H_i)*.
b_{ih}	Componente de una matriz que indica la penalización que el trabajador i *(i=1...W)* otorga a su horario h *(h=1...H_i)*. Se asigna un valor 0 para indicar que es un horario no penalizado y un valor 1 para indicar que es un horario muy penalizado.
f_{cj}	Componente de una matriz binaria de polivalencias donde $f_{cj}=1$ si los trabajadores de la categoría c *(c=1...C)* pueden realizar el tipo de tarea j *(j=1...J)*.
P	Matriz de prioridades donde p_{cj} es la prioridad de que un trabajador de la categoría c *(c=1...C)* haga una tarea de tipo j *(j=1...J)*, $\forall (c,j) \mid f_{cj}=1$. Se asigna un valor 0 cuando la asignación es idónea y un valor 1 si no es adecuada.
ρ_{cj}	Coeficiente que indica la eficiencia asociada a los trabajadores de la categoría c *(c=1...C)* cuando realizan una tarea de tipo j *(j=1...J);* este valor es definido siempre y cuando $f_{cj} = 1$. Se expresa en tanto por uno y refleja la eficiencia de cada categoría al asignarle uno de los tipos de tareas que puede realizar.
dm_{tj}	Cota inferior entera de la capacidad correspondiente al tipo de tarea j *(j=1...J)* en el período t *(t=1...T)*.
dd_{tj}	Valor deseado de la capacidad correspondiente al tipo de tarea j *(j=1...J)* en el período t *(t=1...T)*.

λd_j Coeficiente de la función objetivo que indica la importancia relativa del déficit del tipo de tarea *j (j=1...J)* respecto a las demás.

λs_j Coeficiente de la función objetivo que indica la importancia relativa del superávit del tipo de tarea *j (j=1...J)* respecto a las demás.

$\alpha d, \alpha s, \alpha b, \alpha p$ Parámetros de la función objetivo que ponderan sus cuatro componentes: déficit, superávit, penalización por la asignación de horarios y prioridad asociada a dicha asignación.

2.2 Variables

2.2.1. Casos WE y WNE: tareas asignadas a personas con y sin eficiencia

A continuación se exponen las variables definidas en el modelo de los casos WE y WNE, con tareas asignadas a trabajadores (W) y considerando su eficiencia (E) o no (NE):

$x_{ih} \in \{0,1\}$ $x_{ih}=1$ si y sólo si se asigna el horario *h (1...H_i)* al trabajador *i (i=1...W)*.

$y_{tij} \in \{0,1\}$ $y_{tij}=1$ indica que se asigna la tarea tipo *j (j=1...J)* al trabajador *i (i=1...W)* en el período *t (t=1...T)*; esta variable es definida si $f_{e_i j} = 1$.

de_{tj} Déficit del tipo de tarea *j (j=1...J)* en el período *t (t=1...T)*, en relación a la capacidad deseada:

$$de_{tj} = \max \left\{ 0,\ dd_{tj} - \sum_{i=1 \mid f_{e_i j}=1}^{W} \rho_{e_i j} \cdot y_{tij} \right\},\ \forall t, \forall j$$

su_{tj} Superávit del tipo de tarea *j (j=1...J)* en el período *t (t=1...T)*, en relación a la capacidad deseada:

$$su_{tj} = \max \left\{ 0,\ \sum_{i=1 \mid f_{e_i j}=1}^{W} \rho_{e_i j} \cdot y_{tij} - dd_{tj} \right\},\ \forall t, \forall j$$

2.2.2. Casos CE y CNE: tareas asignadas a categorías con y sin eficiencia

En los casos CE y CNE, con tareas asignadas a categorías (C) y considerando su eficiencia (E) o no (NE), se substituye la variable y_{tij} por:

v_{tcj} Variable entera que indica el número de trabajadores de la categoría *c (c=1...C)* asignados a realizar la tarea tipo *j (j=1...J)* en el período *t (t=1...T)*; esta variable es definida si $f_{cj} = 1$.

2.3. Formalización de los modelos

El objetivo consiste en encontrar una asignación de horarios a los trabajadores de la cual resulte una presencia que respete, siempre que sea posible, las capacidades mínimas y que supere, iguale o se acerque tanto como sea posible a las capacidades deseadas, teniendo en cuenta las preferencias de los trabajadores y la prioridad de la asignación realizada.

Lo más sencillo sería introducir el déficit y el superávit en la función objetivo mediante un término lineal. Lamentablemente, se podrían obtener soluciones insatisfactorias por el hecho que el modelo consideraría indiferentes, por ejemplo, dos soluciones con una misma suma de déficit o de superávit, con independencia de la distribución de este valor total entre los T períodos; ahora bien, parece lógico preferir una solución en la que el déficit o el superávit se reparta regularmente entre los períodos a otra en la que se acumule exclusivamente en uno o unos pocos períodos. En consecuencia, el déficit y el superávit han de tener una repercusión no lineal en la función objetivo.

Además, el impacto sobre el nivel de servicio del tamaño el déficit o superávit se define relativo al valor de la capacidad deseada. Por ejemplo, con un déficit de 10 trabajadores la repercusión en el nivel de servicio es mucho menor si la capacidad deseada es de 50 trabajadores que si es de 12. En consecuencia, el objetivo es repartir homogéneamente el déficit y el superávit relativo entre los diferentes períodos.

Las funciones no lineales asociadas al déficit y superávit que se proponen son las siguientes:

- $\Phi(dd_{tj}, dm_{tj}, de_{tj})$: Función no lineal convexa asociada al déficit, de_{tj}, de la tarea j $(j=1...J)$ en el período t $(t=1...T)$. Esta función permite minimizar el déficit relativo y repartirlo homogéneamente, y evita, cuando es posible, soluciones no factibles que no cumplen las condiciones de cota inferior de las capacidades (dm_{tj}) -es decir, intenta asegurar alcanzar el nivel de servicio mínimo.

- $\Psi\left(dd_{tj}, su_{tj}\right)$: Función no lineal convexa asociada al superávit, su_{tj}, de la tarea j $(j=1...J)$ en el período t $(t=1...T)$. Esta función permite minimizar el superávit relativo y repartirlo homogéneamente.

Las funciones anteriores originan modelos de programación no lineal mixta (PNLM) que, como es sabido, son muy difíciles de resolver. Para su resolución se sustituye la función no lineal por una aproximación lineal, teniendo en cuenta la convexidad (véase Ojeda *et al.*, 2003a donde se definen dichas funciones).

2.3.1. Formalización de los modelos no lineales de los casos WE y WNE

La formalización de los modelos no lineales de los casos WE y WNE, con tareas asignadas a trabajadores con y sin eficiencia, es la siguiente:

$$\begin{aligned}
[MIN]Z = {} & \alpha d \cdot \left[\sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{J} \lambda d_j \cdot \Phi\left(dd_{tj}, dm_{tj}, de_{tj}\right) \right] + \\
& + \alpha s \cdot \left[\sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{J} \lambda s_j \cdot \Psi\left(dd_{tj}, su_{tj}\right) \right] + \\
& + \alpha b \cdot \left[\sum_{i=1}^{W} \sum_{h=1}^{H_i} b_{ih} \cdot x_{ih} \right] + \alpha p \cdot \left[\sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{W} \sum_{j=1 \mid f_{e_i j}=1}^{J} p_{e_i j} \cdot y_{tij} \right]
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\sum_{h=1}^{H_i} x_{ih} = 1 \qquad \forall i \qquad (2)$$

$$\sum_{j=1 \mid f_{e_i j}=1}^{J} y_{tij} = \sum_{h=1}^{H_i} a_{tih} \cdot x_{ih} \qquad \forall t, \forall i \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1 \mid f_{e_i j}=1}^{W} \rho_{e_i j} \cdot y_{tij} + de_{tj} - su_{tj} = dd_{tj} \qquad \forall t, \forall j \qquad (4)$$

$$x_{ih} \in \{0,1\} \qquad \forall i, \;\; h = 1 \ldots H_i \qquad (5)$$

$$y_{tij} \in \{0,1\} \qquad \forall t, \forall i, \forall j \;\middle|\; f_{e_i j} = 1 \qquad (6)$$

$$de_{tj},\, su_{tj} \geq 0 \qquad \forall t, \forall j \qquad (7)$$

La expresión (1) corresponde a la función objetivo formada por los cuatro componentes: déficit, superávit, penalización por la asignación de horarios y prioridad; (2) impone que se asigna un horario y sólo uno a todo trabajador que está presente en el centro; (3) impone que cada trabajador debe tener una tarea asignada -dentro de las posibles según su categoría-, en el caso de tener un horario asignado con presencia en un período determinado; (4) impone, en cada período, que el número de trabajadores asignados a un tipo de tarea determinado -considerando su eficiencia en función de la categoría- más el déficit o menos el superávit es igual a la capacidad deseada; (5) y (6) expresan el carácter binario de las variables en cuestión; y, finalmente, (7) expresa el carácter no negativo de las variables no enteras.

Si las eficiencias de los trabajadores son unitarias, es decir, si el valor de ρ_{cj} ($\forall c, \forall j \mid f_{cj} = 1$) es igual a uno, se presenta el modelo WNE; si existe alguna eficiencia mayor o menor de la unitaria, es decir, si algún valor $\rho_{cj} < 1$ ó > 1, se dispone del modelo del caso WE.

2.3.2. Formalización de los modelos no lineales de los casos CE y CNE

La formalización de los modelos no lineales de los casos CE y CNE, con tareas asignadas a categorías con y sin eficiencia, es la siguiente:

$$\begin{aligned}
[MIN]Z = {} & \alpha d \cdot \left[\sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{J} \lambda d_j \cdot \Phi\left(dd_{tj}, dm_{tj}, de_{tj}\right) \right] + \\
& + \alpha s \cdot \left[\sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{J} \lambda s_j \cdot \Psi\left(dd_{tj}, su_{tj}\right) \right] + \qquad (1') \\
& + \alpha b \cdot \left[\sum_{i=1}^{W} \sum_{h=1}^{H_i} b_{ih} \cdot x_{ih} \right] + \alpha p \cdot \left[\sum_{t=1}^{T} \sum_{c=1}^{C} \sum_{j=1 \mid f_{cj}=1}^{J} p_{cj} \cdot v_{tcj} \right]
\end{aligned}$$

$$\sum_{j=1 \mid f_{cj}=1}^{J} v_{tcj} = \sum_{i=1 \mid e_i = c}^{W} \sum_{h=1}^{H_i} a_{tih} \cdot x_{ih} \qquad \forall t, \forall c \qquad (3')$$

$$\sum_{c=1 \mid f_{cj}=1}^{C} \rho_{cj} \cdot v_{tcj} + de_{tj} - su_{tj} = dd_{tj} \qquad \forall t, \forall j \qquad (4')$$

$$v_{tcj} \geq 0 \text{ y entera} \qquad \forall t, \forall c, \forall j \;\middle|\; f_{cj} = 1 \qquad (6')$$

Respecto al modelo del caso WE y WNE se modifican las expresiones (1), (3), (4) y (6) de la siguiente forma: en la expresión (1') se modifica el componente que corresponde a la prioridad de la asignación realizada; (3') impone que cada categoría debe tener un número de tareas asignadas igual al número de trabajadores de esa categoría que tienen un horario asignado con presencia en ese período de tiempo; (4') impone que, en cada período, el número de trabajadores de una categoría asignados a un tipo de tarea determinado - considerando su eficiencia en función de la categoría- más el déficit o menos el superávit debe ser igual a la capacidad deseada; y (6') expresa el carácter entero y no negativo de las variables v_{tcj} .

3. Experiencia computacional

Los programas matemáticos resultantes han sido resueltos con ILOG-OPL-Studio en su versión 3.1, programa que emplea las librerías de ILOG-CPLEX 8.1 para la optimización. Las pruebas se han realizado en un ordenador personal con procesador Intel Pentium III a 866 MHz y 256 Mb de RAM.

Se han realizado cinco experimentos con las siguientes características:

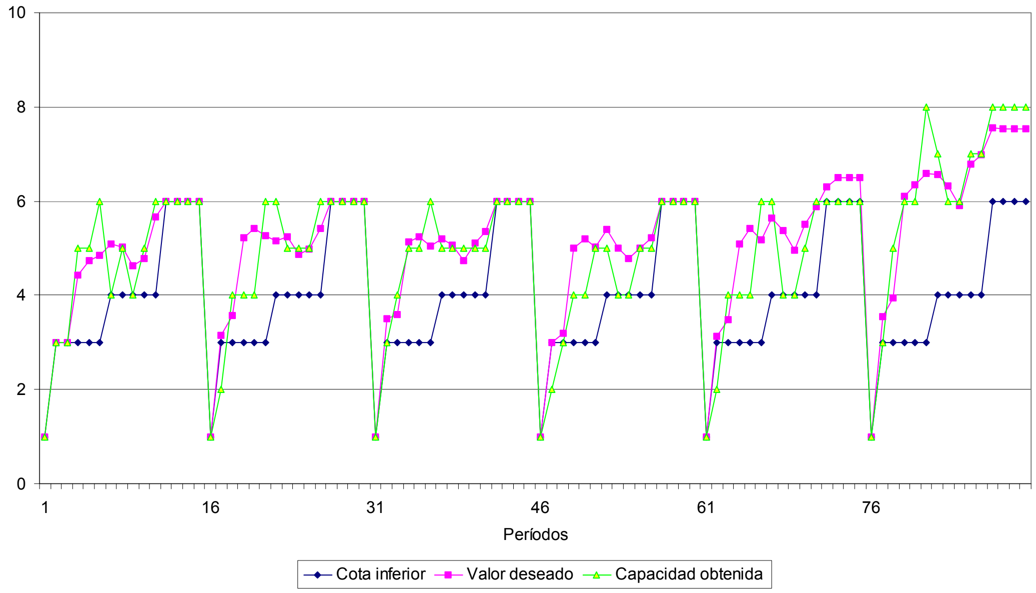
- En los experimentos I y II se utilizan datos reales, correspondientes a 22 semanas, facilitados por un centro de servicios; el experimento III utiliza los datos del experimento I ampliando únicamente la lista de horarios admisibles. Entre los tres experimentos se han considerado 37 ejemplares, que, combinando diferentes tipos de ponderación y de tiempos de cálculo, y para los dos modelos WNE y CNE, han dado lugar a 774 pruebas.

- El experimento IV utiliza un banco de pruebas diseñado expresamente para probar los modelos. Se han diseñado 24 combinaciones básicas, que con las opciones de considerar o no la eficiencia y/o la polivalencia, se obtienen 96 ejemplares diferentes. Combinando diferentes tipos de ponderación y para los dos modelos W y C, han dado lugar a 672 pruebas.

- En el experimento V se realizan variaciones sobre la curva de la capacidad deseada de los ejemplares del experiemento IV, se introduce aleatoriedad en las curvas del valor deseado de capacidad con el objetivo de evaluar el impacto de la variabilidad del dato en el tiempo de cálculo y en la calidad de la solución obtenida. En total se han modificado 80 curvas del valor deseado de capacidad que corresponden a todas las tareas de 24 ejemplares.

Los datos del experimento I y II se caracterizan por tener solo una categoría y una tarea, y se diferencian en el tamaño del período: una hora y treinta minutos, respectivamente. La figura 1 muestra el valor de la cota inferior, del valor deseado y la capacidad obtenida de una de las semanas utilizadas en el experimento. En el experimento III se aumenta el número de horarios posibles con el objetivo de analizar la flexibilidad para adaptarse al valor de capacidad deseada.

Figura 1. Cota inferior, valor deseado y capacidad obtenida. Semana 14, Experimento I, Modelo WNE.



El banco de pruebas generado en el experimento IV se caracteriza por las siguientes combinaciones:

- Cuatro números diferentes de trabajadores (*W* = {25, 50, 100, 150}).
- Seis combinaciones diferentes de número de categorías y número de tipos de tareas: *C/J* = {2/2, 2/3, 2/4, 3/3, 3/4, 4/4}.
- Dos casos de polivalencia: jerarquizada y total (en el caso de polivalencia jerarquizada los trabajadores de categoría inferior no pueden realizar las tareas de las categorías superiores).
- Dos casos respecto a la eficiencia: igual a la unidad o no.
- Curvas de capacidad inspiradas en datos reales.

El modelo de mayor tamaño corresponde al caso *W/C/J*={150,4,4}, con 27.664 restricciones y 130.174 variables para el caso W, y 1.384 restricciones y 77.614 variables para el caso C.

En el experimento V se añade ruido de forma aleatoria a los valores de capacidad deseada de capacidad: 80 curvas de demanda de los 24 ejemplares escogidos.

4. Conclusiones

De forma resumida, las conclusiones de los experimentos son las siguientes:

- En todos los experimentos se obtienen soluciones factibles.

- Los modelos CE/CNE presentan un mejor comportamiento que los modelos WE/WNE: en el número de óptimos obtenidos, en la rapidez en consolidar los valores obtenidos, en la calidad de la cota encontrada y en el mejor valor obtenido cuando no se garantiza la optimalidad de la solución encontrada.

- Un tiempo de 900 segundos es insuficiente para los modelos WE/WNE para un número de trabajadores de 100 y 150; en cambio, en los modelos CE/CNE los resultados se estabilizan antes de los 900 segundos previstos. Se considera 900 segundos como un tiempo operativo adecuado para el equipo informático utilizado y el modelo CE/CNE.

- Al comparar los resultados del experimento II con los resultados de los experimentos I y III, se concluye que es más complicado aumentar el número de períodos que el de horarios.

- Considerar los componentes de la función objetivo asociados a la preferencia de los horarios y a la prioridad de la asignación categoría y tarea $(\alpha b \ y \ \alpha p \neq 0)$, no repercute en el comportamiento del modelo y no comporta empeorar las soluciones obtenidas.

- Los resultados comparados de las pruebas con polivalencia total y con polivalencia jerarquizada son coherentes con lo esperado a priori. En general, el comportamiento del modelo es correcto respecto al dato asociado a la polivalencia.

- Los resultados comparados de las pruebas con y sin eficiencia son coherentes con lo esperado a priori. En general, el comportamiento del modelo es correcto respecto al dato asociado a la eficiencia.

- La variabilidad de la curva del valor de capacidad deseada no repercute en el comportamiento del modelo CNE.

Agradecimientos

Trabajo derivado del proyecto DPI2001-2176 "Organización del tiempo de trabajo, con jornada anualizada, en la industria y en los servicios".

Este trabajo se ha desarrollado con el soporte del Centre CIM ICT-UPC.

Referencias

Castells, M., (1996). *La era de la información. Economía, Sociedad y Cultura. Vol. 1. La sociedad red*. Alianza Editorial.

Hill, T., (1989). *Manufacturing Strategy*. Irwin, Homewood, IL.

Ojeda, J., Corominas, A., Pastor, R. (2003).*Programación de horarios de trabajo de trabajadores polivalentes y asignación simultánea de tareas a las categorías.* V Congreso de Ingeniería de Organización, Valladolid, España.

Oke, A., (2000). *Linking human resource flexibility with manufacturing flexibility: enablers of labour capacity flexibility in manufacturing plants*. Proceedings of the First World Conference on Production and Operations Management (POM), Sevilla.