UN MODELO MULTIOBJETIVO ESTOCÁSTICO PARA LA EFICIENCIA DE LA ACTIVIDAD DOCENTE EN LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA.

Gómez, T., Molina, J., Miguel, F., Muñoz, M. M., Rey, L. y Torrico, A.

Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas). Universidad de Málaga.

E-mail: trinidad@uma.es

Resumen.

En este trabajo se plantea un modelo de ayuda a la toma de decisiones en el ámbito universitario, centrándonos en la dotación de plazas docentes a departamentos en la Universidad de Málaga. Estas decisiones se adoptan atendiendo a distintos criterios. Además, en el proceso de toma de decisiones intervienen parámetros cuyos valores son desconocidos en el momento de tomar la decisión y pueden ser considerados como variables aleatorias. Todo esto nos lleva a plantear un problema de programación estocástica multiobjetivo que se resuelve mediante algunas de las técnicas existentes en este campo.

Palabras Clave: Programación Estocástica Multiobjetivo, Economía de la Educación, Universidad

1. INTRODUCCIÓN.

Una de las técnicas más utilizadas actualmente para la resolución de problemas de programación multicriterio es la programación por metas. El primer paso en la resolución de un problema de metas es identificar los atributos del problema multiobjetivo y fijar un nivel de aspiración (nivel de logro del objetivo que el decisor desea alcanzar) por cada uno de ellos.

En ocasiones, algunos niveles de aspiración son difíciles de especificar por el centro decisor, debido a que dependen de factores tales como la naturaleza o decisiones de otros agentes. Por ejemplo, si una de las metas de un empresario es cubrir toda la demanda del bien que produce, nos encontramos con que ésta depende de factores tales como las preferencias de los consumidores del bien, la renta de que disponen, los precios de otros productos de características semejantes al que oferta el empresario, etc., valores desconocidos en el momento de resolver el problema. Este hecho ha dado lugar a que se analice en la literatura la resolución de problemas de programación por metas en los que algunos niveles de aspiración son variables aleatorias.

De entre los trabajos que analizan esta cuestión cabe destacar los de Stancu-Minasian (1984) y Stancu-Minasian y Tigan (1988). En estos trabajos se analiza la resolución de problemas de estas características, transformando las restricciones de metas estocásticas en sus deterministas equivalentes, mediante el criterio de restricciones probabilística o de azar, es decir, exigiendo que se verifiquen éstas con una determinada probabilidad, fijada a priori. El planteamiento que realizan estos autores es válido cuando se desea que el atributo alcance exactamente la meta fijada, pero, puede considerarse poco adecuado para aquellos casos en los que se quiere que la función objetivo no supere el nivel de aspiración o se desea que no tome un valor por debajo del mismo. En este trabajo analizamos estos casos y consideramos una nueva forma de abordar estas metas. Mantenemos el planteamiento de los dos trabajos anteriormente citados, en cuanto a cómo transformar las restricciones con niveles de aspiración estocástico, pero distinguimos el tratamiento de las metas en función de si se desea que la función objetivo no tome valores por debajo del nivel de aspiración, lo alcance exactamente o no lo supere.

Por otra parte, los resultados teóricos obtenidos se aplican a un modelo de ayuda a la provisión de plazas docentes en la universidad. Suponemos que estamos al final de un periodo lectivo y se desea dotar plazas para el próximo curso. En las universidades españolas, esto es competencia del rectorado, que provee de plazas a las áreas de conocimiento con distintos fines. De entre ellos, podemos señalar los siguientes:

- Cubrir posibles carencias de profesorado, motivadas por el exceso de créditos a impartir por un área de conocimiento respecto a la capacidad docente del mismo (en función del número de profesores y de sus obligaciones docentes según su categoría profesional)

- Mejorar la docencia (aumentando el número de grupos de una asignatura y, por tanto, reduciendo el número de alumnos por profesor y mejorando, en definitiva, la calidad de la enseñanza)

- Fomentar, de alguna forma, la dedicación en investigación de la universidad, promocionando o estabilizando a aquellos profesores que cumplan determinados requisitos.

Evidentemente, estos criterios pueden servir de directrices para la dotación de plazas docentes y, dado que el presupuesto de cualquier universidad es limitado, tales criterios están en conflicto.

El modelo educativo que desarrollamos toma como base el planteado por Caballero, y otros (1998). En ese trabajo se plantea un modelo para la dotación de plazas docentes en la Universidad de Málaga. Un análisis de dicho trabajo permite ver cómo algunos de los niveles de aspiración de las metas que fija el decisor del problema (el rectorado) no se conocen en el momento de tomar la decisión, porque sus valores dependen de las decisiones de otros agentes en el futuro (por ejemplo, el número de alumnos que cursarán estudios en la universidad en el próximo curso). Este hecho nos ha llevado a tratar de resolver el modelo planteado por estos autores, considerando algunos de los parámetros como aleatorios en el modelo, con el objetivo de enriquecerlo.

El trabajo se distribuye de la siguiente forma:

En el apartado 2 analizamos la resolución de problemas de programación por metas con niveles de aspiración aleatorios. El apartado 3 se dedica a describir el modelo para la de dotación de plazas docentes en la universidad, de acuerdo con los resultados teóricos obtenidos en el apartado anterior, y, finalmente, en el apartado 4 se analizan las soluciones obtenidas tras la resolución computacional del modelo, con los datos de la Universidad de Málaga, correspondientes a 1998.

2. METAS ESTOCÁSTICAS.

Consideremos el siguiente problema de programación multiobjetivo:

$$\begin{array}{ll} \operatorname*{Max}_{\mathbf{x}} & \left(z_1(\mathbf{x}), \ldots, z_q(\mathbf{x})\right) \\ \text{s.a} & \mathbf{x} \in D \end{array} \tag{1}$$

donde $D \subset \mathbb{R}^n$ es un conjunto convexo y las funciones $z_k : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ son convexas.

Consideremos la resolución de este problema mediante programación por metas. Para ello hemos de especificar un nivel de aspiración, u_k, por cada una de las funciones objetivo. Así, si se establecen s niveles de prioridad, $s \leq q$, el problema de programación por metas resultante es:

$$
\begin{aligned}
&\text{Lex}\min_{\mathbf{x},\mathbf{p},\mathbf{n}} \; \left(h_1(\mathbf{n}), \ldots, h_s(\mathbf{n})\right) \\
&\text{s.a} \qquad \mathbf{x} \in D \\
&\qquad z_k(\mathbf{x}) + n_k - p_k = u_k, \; k \in N_j, \; j = 1,2,\ldots,s \\
&\qquad\qquad \mathbf{n}, \mathbf{p} \geq \mathbf{0}
\end{aligned}
\tag{2}
$$

donde **p** y **n** son los vectores de variables de desviación positiva y negativa, respectivamente, de los atributos respecto de los niveles de aspiración, $h_j(\mathbf{n})$ es la función de logro para el j-ésimo nivel de prioridad y N_j es el conjunto de subíndices correspondientes a los objetivos del j-ésimo nivel de prioridad, $j \in \{1, 2, \ldots, s\}$. Obsérvese que, puesto que el problema de partida es de máximo, las variables de desviación no deseadas son las negativas y, por tanto, la función de logro depende sólo de estas variables.

En muchos problemas de decisión puede ocurrir que el nivel de aspiración que debe especificar el decisor de algún objetivo no tenga un valor concreto sino que éste dependa de determinados factores como el comportamiento de otros agentes, la naturaleza, etc. En estos casos puede que el nivel de aspiración de esa función objetivo sea una variable aleatoria con distribución conocida. A continuación, vamos a analizar esta cuestión: cómo abordar la resolución de problemas multiobjetivo mediante programación por metas en los que algunos niveles de aspiración es una variable aleatoria.

Supongamos que el nivel de aspiración fijado para el objetivo k-ésimo es una variable aleatoria continua, $\tilde{u}_k$, $k \in \{1,2,\ldots,q\}$, con función de distribución conocida, F_k, estrictamente creciente. La restricción asociada a este objetivo en el problema de metas es:

$$z_k(\mathbf{x}) + n_k - p_k = \tilde{u}_k \tag{3}$$

donde n_k y p_k son las variables de desviación y, puesto que se desea maximizar la función objetivo, en el problema de metas se minimizaría la variable n_k. Obsérvese, sin embargo, que el hecho de que el nivel de aspiración fijado sea una variable aleatoria da lugar a que la restricción planteada sea estocástica. Para solventar esto cabe la posibilidad de reemplazar la meta estocástica, $\tilde{u}_k$, por su valor esperado o cualquier otra medida de tendencia central de la variable aleatoria. Otra posibilidad es tratar esta restricción estocástica como tal, siguiendo alguno de los criterios existentes en Programación Estocástica (véase, por ejemplo, Kall (1982)).

En este trabajo consideramos la aplicación del de *restricciones probabilísticas o de azar*, formulado por Charnes, Cooper y Symonds (1958). La idea central de este planteamiento es la de transformar la restricción estocástica en otra, denominada restricción probabilística determinista equivalente, en la que se exige que se verifique la restricción estocástica con, al menos, una probabilidad, fijada a priori. Así, la restricción probabilística asociada a la restricción (3) es:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) + n_k - p_k = \tilde{u}_k\right) \geq b_k \tag{4}$$

donde b_k es la probabilidad fijada, $b_k \in (0, 1)$.

Una vez obtenida la restricción probabilística, la resolución del problema de metas consistiría en sustituir la restricción (3) por la (4) en el problema (2) y resolverlo. Sin embargo, si nos fijamos en la expresión (3), el hecho de que la variable aleatoria $\tilde{u}_k$ sea continua implica que la probabilidad de que esta variable sea igual a un valor concreto es cero:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) + n_k - p_k = \tilde{u}_k\right) = 0$$

por lo que resulta que para cualquier probabilidad $b_k \in$ (0, 1), la restricción (3) no se verifica.

Esto ha dado lugar a que en la literatura se planteen formas alternativas de resolver problemas con estas características. Así, Stancu-Minasian (1984) y Stancu-Minasian y Tigan (1988), consideran la transformación de la restricción estocástica (3) exigiendo que se verifiquen a la vez las restricciones probabilísticas:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) \geq \tilde{u}_k - e_k\right) \geq b_{1k} \quad \text{y} \quad P\left(z_k(\mathbf{x}) < \tilde{u}_k + e_k\right) \geq b_{2k}, \text{ con } e_k \geq 0 \tag{5}$$

donde b_{1k}, $b_{2k} \in$ (0, 1) son probabilidades fijadas a priori y e_k es una variable de decisión más, no negativa, que se desea minimizar en el problema determinista equivalente. Estas dos restricciones se deben "reemplazar" en el problema (2) por la restricción de metas correspondiente al objetivo k-ésimo. Además, desaparece las variables de desviación n_k y p_k, sustituyéndolas por e_k.

Analicemos las dos restricciones probabilísticas planteadas en los trabajos señalados. Mediante ellas se exige que:

(a) $z_k(\mathbf{x}) + e_k \geq \tilde{u}_k$ con una probabilidad mayor o igual que b_{1k}, con lo cual, puesto que la variable e_k es una variable a minimizar, al exigir esto se está expresando, en términos de probabilidad, el deseo de que la función objetivo supere a la meta fijada: $z_k(\mathbf{x}) > \tilde{u}_k$.

(b) $z_k(\mathbf{x}) - e_k < \tilde{u}_k$ con una probabilidad mayor o igual que b_{2k}. Por tanto, se observa que, mediante esta restricción se recoge el deseo de que, al menos con probabilidad b_{2k}, la función objetivo no supere la meta estocástica: $z_k(\mathbf{x}) < \tilde{u}_k$.

En este sentido, este procedimiento puede considerarse apropiado cuando se desea que la función objetivo alcance exactamente la meta fijada, pero, puesto que en nuestro problema de partida (1) se desea maximizar $z_k(\mathbf{x})$, en realidad, el objetivo es que se verifique $z_k(\mathbf{x}) \geq \tilde{u}_k$, con lo cual, podemos eliminar esta segunda restricción, dejar únicamente la primera de ellas:

$$z_k(\mathbf{x}) + e_k \geq \tilde{u}_k,\ e_k \geq 0$$

y exigir que se verifique la restricción estocástica con una determinada probabilidad, $b_k \in$ (0, 1):

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) + e_k \geq \tilde{u}_k\right) \geq b_k$$

Por otro lado, si en el problema de partida se desease minimizar la función objetivo $z_k(\mathbf{x})$, la restricción probabilística que habría que plantear es:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) \leq \tilde{u}_k + e_k\right) \geq b_k$$

A partir de estos resultados, podemos considerar otra posible forma de plantear estas restricciones probabilísticas, que, a nuestro juicio, es más acorde con la filosofía de la programación de metas. El planteamiento de las restricciones probabilísticas que proponemos es el siguiente.

(i) Si en el problema de partida se desea maximizar la función objetivo, la restricción probabilística de metas que debe plantearse es:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) + n_k \geq \tilde{u}_k\right) \geq b_k,\ n_k \geq 0$$

con $b_k \in (0,1)$, probabilidad fijada a priori. En el problema de metas se minimiza la variable n_k.

(ii) Si se desea minimizar la función objetivo k-ésima, la restricción probabilística que se establece es:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) - p_k \leq \tilde{u}_k\right) \geq b_k,\ p_k \geq 0$$

con $b_k \in (0,1)$, probabilidad fijada a priori. En el problema de metas se minimiza la variable p_k.

(iii) Finalmente, si se desea que la función objetivo alcance exactamente la meta se deben fijar dos probabilidades, $b_{1k},\ b_{2k} \in (0,1)$ y las restricciones probabilísticas asociadas a la estocástica en el problema de metas son:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) + n_k \geq \tilde{u}_k\right) \geq b_{1k},\ \ P\left(z_k(\mathbf{x}) - p_k \leq \tilde{u}_k\right) \geq b_{2k},\ n_k,\ p_k \geq 0$$

En este caso, en el problema de metas se minimiza a la vez las dos variables de desviación: p_k y n_k.

De esta forma, soslayamos el problema que surge al plantear la restricción con igualdad y, además, medimos la desviación del objetivo respecto de la meta fijada mediante la(s) variable(s) de desviación no deseada(s) en cada caso (n_k en el primero, p_k en el segundo y p_k y n_k en el tercero).

Obsérvese, además, que el planteamiento propuesto por Stancu-Minasian es un caso particular del caso (iii) propuesto, en el que se igualan las dos variables de desviación: $n_k = p_k = e_k$.

Una vez planteadas las restricciones probabilísticas, pasamos a ver cómo transformar éstas para su incorporación en el problema de metas.

Transformación de las restricciones probabilísticas.

Consideremos la desigualdad:

$$P\left(z_k(\mathbf{x}) + n_k \geq \tilde{u}_k\right) \geq b_k$$

Puesto que $P\left(z_k(\mathbf{x}) + n_k \geq \tilde{u}_k\right) = P\left(\tilde{u}_k \leq z_k(\mathbf{x}) + n_k\right) = F_k\left(z_k(\mathbf{x}) + n_k\right)$ y suponemos que la función de distribución de $\tilde{u}_k$, F_k, es estrictamente creciente, la restricción probabilística puede expresarse también como:

$$z_k(\mathbf{x}) + n_k \geq F_k^{-1}(b_k).$$

Procediendo de igual forma con la restricción $P\left(z_k(\mathbf{x}) - p_k \leq \tilde{u}_k\right) \geq b_k$, se tiene que ésta es equivalente a exigir que se verifique:

$$z_k(\mathbf{x}) - p_k \leq F_k^{-1}(1 - b_k)$$

Veamos a continuación cómo es la restricción resultante cuando la meta estocástica sigue la distribución normal. Realizamos este análisis sólo para la primera de las restricciones consideradas.

ACaso normal.

Supongamos que el nivel de aspiración *k*-ésimo, $\tilde{u}_k$, sigue la distribución normal con valor esperado $\overline{u}_k$ y varianza s_k^2. En ese caso, la restricción probabilística

$$P\left(\tilde{u}_k \leq z_k(\mathbf{x}) + n_k\right) \geq b_k$$

puede transformarse, estandarizando la variable aleatoria, de la siguiente forma:

$$P\left(\frac{\tilde{u}_k - \overline{u}_k}{s_k^2} \leq \frac{z_k(\mathbf{x}) + n_k - \overline{u}_k}{s_k^2}\right) = \Phi\left(\frac{z_k(\mathbf{x}) + n_k - \overline{u}_k}{s_k^2}\right) \geq b_k$$

donde Φ es la función de distribución de la normal cero uno. Puesto que esta función es estrictamente creciente, tenemos que esta desigualdad es equivalente a:

$$z_k(\mathbf{x}) + n_k \geq \overline{u}_k + \Phi^{-1}(b_k)s_k$$

Si comparamos la restricción obtenida con la restricción estocástica de partida se observa que la variable aleatoria se "sustituye" en la restricción determinista equivalente por la expresión $\overline{u}_k + \Phi^{-1}(b_k)s_k$, que depende de la probabilidad fijada.

Si comparamos esta restricción con:

$$z_k(\mathbf{x}) + n_k \geq \overline{u}_k$$

que es la que hubiésemos obtenido si se hubiese considerado apropiado "sustituir" la meta estocástica por su valor esperado, se observa que la diferencia entre ambas es el término $\Phi^{-1}(b_k)s_k$ que tendrá signo positivo (negativo) si la probabilidad fijada, b_k, es mayor (menor) que 0.5. Para $b_k = 0.5$ el valor de $\Phi^{-1}(b_k)$ es cero.

3. UN MODELO MULTIOBJETIVO ESTOCÁSTICO PARA LA EFICIENCIA DE LA ACTIVIDAD DOCENTE EN LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA.

En este apartado vamos a describir un modelo de ayuda a la toma de decisiones en el ámbito universitario. El problema que se desea resolver mediante este modelo es el de dotación de plazas docentes en la universidad. En las universidades españolas esta cuestión (la dotación de plazas docentes a las áreas de conocimiento) es competencia del rectorado y, en general, cuando se adoptan se tienen en cuenta distintos criterios, de los que pueden destacarse los siguientes: cubrir la docencia de las áreas de conocimiento, mejorar la calidad de la misma, mejorar la formación del profesorado, …. Evidentemente, estas decisiones están sujetas a la limitada disponibilidad de recursos de la universidad y esto hace que los objetivos del problema entren en conflicto. A partir de aquí surge, de manera natural, la idea de resolver esta cuestión mediante las técnicas de la programación multicriterio. Así, Mustafa y Goh (1996) recogen más de cien trabajos en los que se utiliza la metodología multicriterio para la toma de decisiones en las instituciones educativas.

A continuación se presenta un modelo para la toma de decisiones, en lo que a dotación de plazas docentes se refiere, en el ámbito de la Universidad de Málaga (UMA). Tal y como se ha señalado en la introducción del trabajo, partimos del modelo realizado por Caballero y otros (1998), que plantean el problema señalado y lo modelizan sobre la base del Libro Blanco del Profesorado de la Universidad de Málaga (1998), realizado por el Vicerrectorado de Ordenación Académica y la Dirección General del Profesorado de esta universidad. Si se analiza dicho modelo, se observa que algunos de los parámetros que influyen en las metas que fija el decisor dependen de parámetros cuyos valores son desconocidos en el momento de tomar la decisión. Estos valores pueden ser considerados como variables aleatorias y esto da lugar a que el problema resultante sea de programación por metas, con metas estocásticas, problema cuya resolución ha sido analizada ya en el apartado 2. Con el fin de enriquecer el modelo, aplicamos los resultados teóricos obtenidos en este trabajo al mismo.

A continuación, pasamos a describir el modelo. En primer lugar, se definen los parámetros, variables de decisión, restricciones técnicas y objetivos que intervienen en el mismo y posteriormente se plantea su resolución mediante programación por metas estocásticas. Previamente, hay que señalar que el reparto de las dotaciones de plazas se realiza para unidades funcionales, entendiendo la unidad funcional como la mínima unidad docente. En nuestro caso, las unidades funcionales coinciden con las áreas de conocimiento de la Universidad de Málaga, salvo en el área de Economía Aplicada, donde las unidades funcionales son los departamentos que la integran.

3.1. Parámetros del modelo.

Pasamos a describir los parámetros que van a intervenir en el modelo. El subíndice *i* corresponde a cada unidad funcional de la universidad, $i = 1, 2, \ldots, 142$.

- Salario (SAL_i) es el coste medio anual de la plantilla del profesorado de cada unidad funcional. Así mismo, denotamos por SALAT al salario medio de un profesor Asociado a tiempo completo y por SALAF el salario medio de un profesor Ayudante de Universidad.

- Capacidad Docente (medida en créditos):

  * total (T_i): suma de los créditos que debe impartir cada profesor de la unidad funcional, según su categoría y en base a la normativa vigente. Este parámetro indica la docencia que, en teoría, debería impartir cada área.

  * de los funcionarios doctores ($CDFDoctores_i$): capacidad docente de los profesores con categoría de Catedrático de Universidad, Titular de Universidad o Catedrático de Escuela en la unidad funcional.

- Carga Docente Real (R_i): Este parámetro mide el número de créditos que la unidad funcional deberá impartir en el próximo curso. Su valor es la suma del número de créditos teóricos por el número de grupos teóricos más el número de créditos prácticos por el número de grupos prácticos de cada una de las asignaturas que impartirá la unidad funcional en el próximo curso.

  El número de créditos de cada asignatura (teóricos y prácticos) viene fijado por el plan de estudios del centro donde se imparte ésta, en cambio, el número de grupos por asignatura es un valor desconocido por el centro decisor en el momento en el que se toman las decisiones acerca de la dotación de plazas docentes, ya que depende del número de alumnos que se matriculen en la asignatura y de la disponibilidad de aulas del centro en el que se imparte. Esto da lugar a que consideremos a la carga docente real, R_i, como una variable aleatoria, $\tilde{R}_i$, que sigue la distribución normal con valor esperado $\overline{R}_i$ y varianza $s^2_{R_i}$.

- Participación Académica de las Asignaturas (PAA_i): Es un indicador numérico, medido en créditos, que refleja las necesidades de financiación básica de cada unidad funcional, con respecto a la financiación global de la universidad. Este índice fue diseñado por Contreras y otros (1995) con la finalidad de homogeneizar los datos de las universidades andaluzas, para poder realizar un análisis comparativo de la realidad existente en el sistema universitario andaluz. Por tanto, de alguna forma, representa la docencia que la Universidad de Málaga (UMA) está dispuesta a financiar en cada unidad funcional.

- Número total de créditos demandados a la unidad funcional i (L_i): Este parámetro recoge la docencia total demandada por los alumnos a la unidad funcional i. Para definir este parámetro vemos, previamente, otros dos:

    * Créditos de la asignatura j ($CREASIG_{ij}$): Número de créditos de cada asignatura que imparte la unidad funcional. El subíndice j representa a cada una de las asignaturas que imparte la unidad i.

    * Número de alumnos matriculados en cada asignatura (M_{ij}): Recoge el número de alumnos que se matricularán en el próximo curso en la asignatura j de la unidad funcional i. Este valor es desconocido en el momento de tomar las decisiones acerca de la dotación de plazas. Para asignaturas de segundo curso en adelante, el valor que alcance este parámetro dependerá del número de suspensos, número de abandonos, …. A estos factores se une, en las asignaturas de primer curso, otros como el número de plazas ofertadas por cada centro. Esto nos lleva a considerar este parámetro como una variable aleatoria, $\tilde{M}_{ij}$.

  A partir de estos dos parámetros se define el número total de créditos demandados a la unidad i, L_i, como la suma del número de alumnos matriculados en cada asignatura que imparte el área, $\tilde{M}_{ij}$, multiplicado cada uno de ellos por el número de créditos de la asignatura, $CREASIG_{ij}$; pero, puesto que hemos considerado $\tilde{M}_{ij}$ como variable aleatoria, $\tilde{L}_i$ también lo es. Por tanto, el número total de créditos demandados a la unidad funcional i es:

$$\tilde{L}_i = \sum_j CREASIG_{ij}\, \tilde{M}_{ij}$$

  Suponemos que $\tilde{L}_i$ sigue la distribución normal con valor esperado $\overline{L}_i$ y varianza $s^2_{L_i}$.

3.2. Variables de decisión.

a) Contratación de nuevo profesorado.

- $UCONAS_i$: Importe monetario destinado a la contratación de nuevos profesores Asociados a Tiempo Completo (ATC). Estos profesores tienen una carga docente de 27 créditos por año académico. Este tipo de profesores se contrata, fundamentalmente, para cubrir necesidades docentes.

Obsérvese que esta variable está medida en pesetas. Más adelante será necesario medir esta variable en créditos. Para ello podemos considerar su normalización de la siguiente forma:

$$NUCONAS_i = \frac{UCONAS_i}{\frac{SALAT}{27}}$$

Con ello, la variable $NUCONAS_i$ expresa el número de créditos en el que se incrementa la capacidad docente de la unidad i al destinar la cuantía $UCONAS_i$ a la contratación de nuevos profesores asociados.

- $UCONAY_i$: Cuantía destinada a la contratación de nuevos profesores Ayudantes de Facultad (AF), cuya carga docente es de 12 créditos por curso académico, substancialmente inferior a la del profesor asociado, lo cual facilita la dedicación de estos profesores a actividades relacionadas con la investigación.

Al igual que en la variable anterior, en determinados casos necesitaremos normalizar esta variable y expresarla en créditos. En este caso la normalización que realizamos es:

$$NUCONAY_i = \frac{UCONAY_i}{\frac{SALAF}{12}}$$

La variable $NUCONAY_i$ determina el número de créditos en el que se incrementa la capacidad docente de la unidad i al destinar la cuantía $UCONAY_i$ a la contratación de nuevos profesores ayudantes.

b) Mejora: Cuantía destinada a la mejora del profesorado de cada unidad funcional conocimiento, entendiendo ésta como:

- La estabilización de profesores contratados de la unidad, pasando éstos a ser funcionarios (Catedráticos de Escuela Universitaria o Titulares de Universidad).

- La promoción de profesores funcionarios Titulares de Escuela que ascienden a la categoría de Catedrático de Escuela Universitaria o Titular de Universidad.

Para estas dotaciones se considera una única variable de decisión por cada unidad funcional, que denominamos $UMEJ_i$ y que representa la cantidad de dinero que se da a la unidad i para este fin.

En este apartado no hemos considerado la promoción a Catedrático de Universidad porque, por una parte, esta dotación proviene de una partida presupuestaria diferente y, por otro, la dotación de estas plazas se realiza en cada universidad siguiendo criterios particulares propios de cada rectorado.

Al igual que en los casos anteriores, procedemos a la normalización de esta variable para medirla en créditos. En este caso normalizamos la variable dividiéndola por el cociente de la variación en salarios que se produce al cambiar de categoría profesional (de profesor Ayudante, Asociado o Titular de Escuela a Titular de Universidad o Catedrático de Escuela) partido por la carga docente del profesor en su nueva categoría (24 créditos), es decir:

$$NUMEJ_i = \frac{UMEJ_i}{\frac{\text{Variación Salarios}}{24+24+24}}$$

De esta forma, la variable $NUMEJ_i$, al igual que las anteriores, representa el número de créditos en el que se incrementa la capacidad docente de los funcionarios doctores de la unidad funcional i.

La variación en salarios se ha medido mediante la suma de las siguientes cuantías:

* Media del salario medio de un profesor Titular de Universidad y del salario medio de un Catedrático de Escuela menos salario medio de un profesor Titular de Escuela.

* Media del salario medio de un profesor Titular de Universidad y del salario medio de un Catedrático de Escuela menos el salario de un profesor Ayudante de Universidad.

* Media del salario medio de un profesor Titular de Universidad y del salario medio de un Catedrático de Escuela menos el salario de un profesor Asociado a Tiempo Completo.

3.3. Restricciones técnicas.

1) Cotas sobre las variables de decisión.

Para cada unidad funcional el decisor establece cotas superiores sobre el número de profesores Ayudantes (no superior a tres) y Asociados (menor o igual que dos). Además se limita la cuantía destinada a la mejora (UMEJ), que se fija en U1 = 5.000.000 de pesetas:

$$0 \leq \mathrm{UCONAY_i} \leq 3\ \mathrm{SALAF}, \quad 0 \leq \mathrm{UCONAS_i} \leq 2\ \mathrm{SALAT},$$

$$0 \leq \mathrm{UMEJ_i} \leq \mathrm{U1}, \quad \mathrm{i} = 1, 2, \ldots, 142.$$

2) Restricción presupuestaria.

La dotación total a las unidades funcionales no debe sobrepasar la parte del presupuesto que la universidad está dispuesta a dedicar a la incorporación de nuevos profesores y a la mejora de la situación profesional de los que ya forman parte de la plantilla. Esta cantidad es, en el año en curso, de UT = 1.100.000.000 de pesetas, con lo cual, se debe verificar que:

$$\sum_{i=1}^{142}\left(\mathrm{UCONAS_i} + \mathrm{UCONAY_i} + \mathrm{UMEJ_i}\right) \leq \mathrm{UT}$$

3) Puesto que la contratación de nuevos profesores puede llevarse a cabo mediante contratos de profesores Asociados y de profesores Ayudantes, consideramos que, con el fin de fomentar la tarea investigadora, es conveniente favorecer la entrada de profesores ayudantes. Para ello se establece el conjunto de restricciones:

$$\frac{\mathrm{UCONAS_i}}{\mathrm{SALAT}} \leq \frac{\mathrm{UCONAY_i}}{\mathrm{SALAF}}, \ \mathrm{i} = 1, 2, \ldots, 142$$

4) Como se ha señalado anteriormente, el presupuesto de la universidad se divide en contratación de nuevos profesores (UCONAS y UCONAY) y mejora de la situación laboral de los existentes (UMEJ) para estabilización o promoción. Con el fin de evitar que los recursos financieros existentes se dediquen sólo a la contratación de nuevos profesores, exigimos que la dotación total para la contratación de nuevos profesores ayudantes no supere el 30% del presupuesto total:

$$\sum_{i=1}^{142} \mathrm{UCONAY}_i \leq 0.3\mathrm{UT}, \quad i = 1,\ 2,\ \ldots,\ 142.$$

Obsérvese que, puesto que la dotación para la contratación de asociados será siempre menor o igual que la dotación para la contratación de ayudantes, por la restricción del apartado anterior, al exigir que el total destinado a la contratación de ayudantes sea menor o igual que el 30% del presupuesto, se limita también la cuantía total destinada a la contratación de asociados. De esta forma se deja más del 40% del presupuesto para la estabilización y promoción del profesorado.

3.4. Objetivos.

Una vez descritas las restricciones del problema, veamos a continuación los objetivos que fija el decisor para el problema.

Los objetivos de nuestro modelo son, para cada unidad funcional:

1) La dotación de plazas para que cada unidad funcional cubra sus necesidades docentes.

2) Cubrir las necesidades de financiación de cada una de las áreas de conocimiento, en función de lo que le corresponde a cada unidad funcional según la PAA.

3) Aumentar el número de profesores funcionarios doctores.

4) Disminuir el número de alumnos por profesor.

5) Financiar sólo aquellas áreas de conocimiento cuyo coste real medio por crédito impartido quede por debajo del coste real medio por crédito en la UMA.

3.5. Metas y niveles de prioridad.

Una vez construidas las restricciones técnicas del problema y descritos los objetivos del mismo, vamos a plantear su resolución mediante programación por metas lexicográficas. Para ello, como se ha comentado al principio del trabajo, hemos de fijar un nivel de aspiración para cada objetivo y, a partir de ahí se construyen las metas del problema. Hecho esto, si el decisor desea establecer algún tipo de orden en el cumplimiento de las metas, es decir, si considera que algunas de ellas son infinitamente preferidas al resto, se establecen niveles de prioridad entre metas, que recogen preferencias excluyentes entre ellas. Tal y como señala Romero (1992), si una meta pertenece a un nivel de prioridad, el logro de ésta es inconmensurablemente preferido al de cualquier otra situada en un nivel de prioridad inferior y, por tanto, pasamos de un nivel de prioridad a otro sólo cuando las metas situadas en el primero se han satisfecho en la medida de lo posible.

A partir de los cinco bloques de objetivos descritos anteriormente, en nuestro problema consideramos cinco niveles de prioridad, uno por cada bloque de objetivos. En cada nivel de prioridad se recoge el mismo objetivo para cada unidad funcional y, por tanto, cada nivel tiene 142 objetivos. En cada nivel de prioridad se ha dado el mismo peso a todos los objetivos, y, como veremos a continuación, se ha considerado una función de logro de tipo lineal. Pasamos a describir los cinco niveles de prioridad. El orden que establece el decisor es el que se ha seguido en el apartado 3.4 para describir los objetivos.

Primer nivel de prioridad.

El primer nivel de prioridad recoge el *deseo de garantizar que se cubran las necesidades docentes de todas las unidades funcionales*, que, para cada unidad funcional podemos expresar como:

$$0.95\mathrm{T_i} + \mathrm{NUCONAS_i} + \mathrm{NUCONAY_i} \geq \tilde{\mathrm{R}}_\mathrm{i},\ \mathrm{i} = 1, 2, \ldots, 142,$$

es decir, se desea que la capacidad docente total de cada unidad funcional (T_i) más el incremento en créditos en cada unidad funcional por la contratación de nuevos asociados ($NUCONAS_i$) y de nuevos ayudantes ($NUCONAY_i$) sea mayor o igual que la carga docente real de la unidad funcional ($\tilde{\mathrm{R}}_\mathrm{i}$). Como se observa en la desigualdad, la capacidad docente, Ti, aparece ponderada con 0.95. Este factor se fija por deseo del decisor, con el fin de dar una pequeña holgura a la capacidad docente de cada unidad funcional que permita a éstas hacer frente a imprevistos tales como bajas de profesores, abandonos, reducción de docencia por cargo académico de alguno de los miembros, etc.

Obsérvese, por otro lado, que el nivel de aspiración de esta meta es la variable aleatoria $\tilde{\mathrm{R}}_\mathrm{i}$, que suponemos normal con valor esperado $\overline{\mathrm{R}}_\mathrm{i}$ y varianza $s^2_{R_i}$. Para tratar esta meta seguimos el procedimiento visto en el apartado anterior, y, por tanto, transformamos la desigualdad:

$$0.95\ \mathrm{T_i} + \mathrm{NUCONAS_i} + \mathrm{NUCONAY_i} + \mathrm{n_{1i}} \geq \tilde{\mathrm{R}}_\mathrm{i}$$

en determinista exigiendo que se verifique con una probabilidad $\beta_1 \in (0, 1)$, con lo que se obtiene la expresión:

$$\mathrm{NUCONAS_i} + \mathrm{NUCONAY_i} + \mathrm{n_{1i}} \geq \overline{\mathrm{R}}_\mathrm{i} + \Phi^{-1}(\beta_1)s_{R_i} - 0.95\ \mathrm{T_i}$$

donde n_{1i} es la variable de desviación no deseada para la unidad funcional i.

La función de logro que fijamos para este primer nivel de prioridad, que recoge las variables de desviación no deseadas del mismo, es: $\mathrm{h_1}(\mathbf{n_1}) = \sum_{\mathrm{i}=1}^{142} \mathrm{n_{1i}}$.

Segundo nivel de prioridad.

El segundo objetivo del problema es *cubrir las necesidades de financiación de cada una de las áreas de conocimiento*. Entendemos que este objetivo se cumple cuando la capacidad docente de cada unidad funcional no es inferior a lo que marque la PAA. Así pues, podemos expresar esto como:

$$\mathrm{T_i} + \mathrm{NUCONAS_i} + \mathrm{NUCONAY_i} \geq \mathrm{PAA_i},\ \mathrm{i} = 1, 2, \ldots, 142$$

Introduciendo la variable de desviación n_{i2}, la expresión anterior se transforma en:

$$\mathrm{NUCONAS_i} + \mathrm{NUCONAY_i} + \mathrm{n_{i2}} \geq \mathrm{PAA_i} - \mathrm{T_i},\ \ \mathrm{i} = 1, 2, \ldots, 142$$

y, en el problema de metas, la función de logro es de la forma: $\mathrm{h_2}(\mathbf{n_2}) = \sum_{\mathrm{i}=1}^{142} \mathrm{n_{2i}}$.

Tercer nivel de prioridad.

En este tercer nivel se desea que en cada unidad funcional se *aumente el número de funcionarios doctores*. Para ello el decisor establece que se dotará de plazas de funcionarios a las áreas de conocimiento para que, al menos el 60% de la docencia de éstas (0.6 T_i), sea impartida por profesores Titulares de Universidad, Catedráticos de Escuela Universitaria o Catedráticos de Universidad, lo que podemos expresar como:

$$\mathrm{CDFDoctores}_i + \mathrm{NUMEJ}_i \geq 0{,}6\ \mathrm{T}_i$$

De esta forma se incentiva a los profesores no doctores para que lo sean, mediante una mejora de su situación laboral, y se potencia la mejora en la formación investigadora del personal docente de la universidad.

Si introducimos la variable de desviación negativa, se obtiene:

$$\mathrm{NUMEJ}_i + n_{i3} \geq 0{,}6\ \mathrm{T}_i - \mathrm{CDFDoctores}_i,\ i = 1, 2, \ldots, 142,$$

En el problema de metas, la función de logro de este nivel de prioridad es $h_3(\mathbf{n_3}) = \sum_{i=1}^{142} n_{3i}$.

Cuarto nivel de prioridad.

En este nivel de prioridad, correspondiente al cuarto bloque de objetivos recogido en el apartado anterior, se desea *disminuir el número de alumnos por profesor* y, de esa forma, mejorar la calidad de la enseñanza. Para ello el decisor manifiesta su deseo de que el ratio de alumnos por profesor y por grupo sea, como máximo, de 60, bajo el supuesto de que el profesor se encuentra al máximo de su carga docente. En función de los parámetros definidos previamente, podemos expresar este ratio como el cociente entre el número total de créditos demandados a la unida funcional ($\tilde{\mathrm{L}}_i$) dividido por el número de créditos que puede impartir la misma, con lo cual, se desea que se verifique:

$$60 \geq \frac{\tilde{\mathrm{L}}_i}{\mathrm{T}_i + \mathrm{NUCONAS}_i + \mathrm{NUCONAY}_i}$$

que podemos expresar también como:

$$60(\mathrm{NUCONAS}_i + \mathrm{NUCONAY}_i + \mathrm{T}_i) \geq \tilde{\mathrm{L}}_i$$

Puesto que, para cada i $\in$ {1, 2, …, 142}, el número total de créditos demandados a la unidad i, $\tilde{\mathrm{L}}_i$, es una variable aleatoria normal, de valor esperado $\overline{\mathrm{L}}_i$ y varianza $s^2_{L_i}$, el tratamiento que damos a esta meta es el que se ha analizado anteriormente en el apartado 2 de este trabajo. Así pues, fijamos una probabilidad $\beta_2 \in (0, 1)$ y para todo i exigimos que se verifique ésta con la probabilidad fijada, obteniendo la expresión:

$$\mathrm{NUCONAS}_i + \mathrm{NUCONAY}_i + n_{i4} \geq \frac{1}{60}(\overline{\mathrm{L}}_i + \Phi^{-1}(\beta_2) s_{L_i}) - \mathrm{T}_i$$

Para cada unidad funcional, la variable de desviación n_{i4}, i = 1, 2, …, 142, es no deseada y, por tanto, la función de logro es $h_4(\mathbf{n}_4) = \sum_{i=1}^{142} n_{4i}$

Quinto nivel de prioridad.

En este nivel de prioridad se recoge el bloque de objetivos correspondiente al deseo del decisor de *financiar sólo aquellas áreas de conocimiento cuyo coste real medio por crédito impartido quede por debajo del coste real medio por crédito en la UMA.*

Actualmente, según los datos del Libro Blanco del Profesorado (1998), este coste es de 259.590 pesetas por crédito. Este deseo del decisor podemos expresarlo como:

$$\frac{\mathrm{SAL}_i + \mathrm{UCONAS}_i + \mathrm{UCONAY}_i + \mathrm{UMEJ}_i}{\tilde{\mathrm{R}}_i} \geq 259.590$$

o bien:

$$\mathrm{SAL}_i + \mathrm{UCONAS}_i + \mathrm{UCONAY}_i + \mathrm{UMEJ}_i \geq 259.590\, \tilde{\mathrm{R}}_i$$

Al igual que en el primer y cuarto niveles de prioridad, en la desigualdad anterior aparece la variable aleatoria $\tilde{\mathrm{R}}_i$, que suponemos normal con valor esperado $\overline{\mathrm{R}}_i$ y varianza $s^2_{R_i}$. Procediendo de forma semejante a los casos anteriores, fijando una probabilidad $\beta_3 \in (0, 1)$, obtenemos, en este caso:

$$\mathrm{UCONAS}_i + \mathrm{UCONAY}_i + \mathrm{UMEJ}_i + n_{i5} \geq 259.590\,(\overline{\mathrm{R}}_i + s_{R_i}\Phi^{-1}(\beta_3)) - \mathrm{SAL}_i$$

De nuevo, para cada unidad funcional la variable de desviación no deseada es n_{i5}, i = 1, 2, …, 142, y la función de logro es $h_5(\mathbf{n_5}) = \sum_{i=1}^{142} n_{5i}$.

3. 6. Formulación matemática del modelo determinista equivalente.

A partir de todo lo descrito hasta ahora el problema resultante es:

$$\text{Lex Min } \left(\sum_{i=1}^{142} n_{i1}, \sum_{i=1}^{142} n_{i2}, \sum_{i=1}^{142} n_{i3}, \sum_{i=1}^{142} n_{i4}, \sum_{i=1}^{142} n_{i5} \right)$$

$$\begin{aligned}
\text{s.a }\ & 0 \leq \mathrm{UCONAY}_i \leq 3\mathrm{SALAF} \\
& 0 \leq \mathrm{UCONAS}_i \leq 2\mathrm{SALAT} \\
& 0 \leq \mathrm{UMEJ}_i \leq \mathrm{U1} \\
& \sum_{i=1}^{142} \left(\mathrm{UCONAS}_i + \mathrm{UCONAY}_i + \mathrm{UMEJ}_i \right) \leq \mathrm{UT} \\
& \sum_{i=1}^{142} \mathrm{UCONAY}_i \leq 0.3\mathrm{UT} \\
& \frac{\mathrm{UCONAS}_i}{\mathrm{SALAT}} - \frac{\mathrm{UCONAY}_i}{\mathrm{SALAF}} \leq 0 \\
& \frac{\mathrm{UCONAS}_i}{\mathrm{SALAT}/27} + \frac{\mathrm{UCONAY}_i}{\mathrm{SALAF}/12} + n_{i1} \geq \overline{\mathrm{R}}_i - 0.95\mathrm{T}_i + \Phi^{-1}(\beta_1)\, s_{R_i}
\end{aligned}$$

$$\frac{\mathrm{UCONAS_i}}{\frac{\mathrm{SALAT}}{27}} + \frac{\mathrm{UCONAY_i}}{\frac{\mathrm{SALAF}}{12}} + \mathrm{n_{i2}} \geq \mathrm{PAA_i} - \mathrm{T_i}$$

$$\frac{\mathrm{UMEJ_i}}{\frac{\text{Variación Salarios}}{24+24+24}} + \mathrm{n_{i3}} \geq 0{,}6\ \mathrm{T_i} - \mathrm{CDFDoctores_i}$$

$$\frac{\mathrm{UCONAS_i}}{\mathrm{SALAT}/27} + \frac{\mathrm{UCONAY_i}}{\mathrm{SALAF}/12} + \mathrm{n_{i4}} \geq \frac{1}{60}(\overline{\mathrm{L}}_\mathrm{i} + \Phi^{-1}(\beta_2)s_{L_i}) - 0.95\mathrm{T_i}$$

$$\mathrm{UCONAS_i} + \mathrm{UCONAY_i} + \mathrm{UMEJ_i} + \mathrm{n_{i5}} \geq 259.590(\overline{\mathrm{R}}_i + \Phi^{-1}(\beta_3)s_{R_i}) - \mathrm{SAL_i}$$

con i = 1, 2, ..., 142.

Pasamos a especificar los valores de algunos parámetros fijados para la resolución del problema. Hay que señalar que algunos de los datos necesarios para la resolución del problema, tales como la capacidad docente total de cada unidad funcional (T_i), Participación Académica de las Asignaturas (PAA_i),… no se especifican en el trabajo por razones obvias. En cualquier caso, estos datos están recogidos en el Libro Blanco del Profesorado (1998).

Los datos fijados para el resto de parámetros son los siguientes:

- El salario anual de un profesor Ayudante de Universidad es 3.333.444 (SALAF = 3.333.444) y el de un asociado es 3.703.108 pesetas (SALAT = 3.703.108). Por otro lado, a partir de los datos del Libro Blanco de la Universidad de Málaga (1998) el valor del parámetro Variación Salarios toma un valor de 4.898.288.

- El decisor fija el presupuesto total de la universidad para la docencia en 1100 millones de pesetas (UT = 1.100.000.000) y la cantidad máxima destinada a la mejora de profesores que ya están en plantilla, para cada unidad funcional, en cinco millones de pesetas (U1 = 5.000.000).

- Para la determinación del valor esperado y la varianza de las dos variables aleatorias de cada unidad funcional que aparecen en el problema: carga docente real ($\tilde{\mathrm{R}}_\mathrm{i}$) y número total de créditos demandados a la unidad funcional ($\tilde{\mathrm{L}}_\mathrm{i}$), se ha tomado como valor esperado el dato que aparece en el Libro Blanco del Profesorado y como varianza un 1 % del mismo.

- Las probabilidades fijadas para las metas en las que intervienen las variables aleatorias anteriormente señaladas son las siguientes: Para la primera de ellas, correspondiente al *deseo de garantizar que todas las unidades funcionales cubran las necesidades docentes*, se ha fijado una probabilidad de 0.95 (β_1 = 0.95). Para la segunda, situada en el cuarto nivel de prioridad y correspondiente a *reducir el número de alumnos por profesor*, se ha fijado la probabilidad 0.9 (β_2 = 0.9) y, finalmente, para la tercera, situada en quinto nivel de prioridad y correspondiente a *financiar sólo las unidades funcionales cuyo coste medio por crédito impartido quede por debajo del coste real medio por crédito de la UMA*, se ha fijado la probabilidad 0.85 (β_3 = 0.85). Obsérvese que la probabilidad fijada es la misma para todos los objetivos de un mismo nivel de prioridad. Además, la probabilidad exigida disminuye con el nivel de prioridad, algo lógico, puesto que los niveles de prioridad reflejan la importancia relativa que da el decisor a las metas.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Una vez planteado el problema, nos centramos ahora en la resolución del mismo y en el análisis de las soluciones obtenidas. Para resolver el problema se ha implementado un programa en lenguaje FORTRAN y se ha utilizado la librería NAG, versión 17. Pasamos a analizar los resultados obtenidos por niveles de prioridad. Puesto que el número de variables de decisión del problema, sin contar las variables de desviación de cada meta, es de 426, tres por cada unidad funcional ($UCONAS_i$, $UNONAY_i$ y $UMEJ_i$, i = 1, 2, …, 142), no detallamos la solución sino que mostramos un análisis global de la misma.

En el **primer nivel** de prioridad se desea que, con una probabilidad de 0.95, *todas las unidades funcionales puedan cubrir la carga docente real a la que tienen que hacer frente*. En este nivel de prioridad no se produce ningún incumplimiento y reciben dotaciones para contratación de nuevo profesorado 13 unidades funcionales, el 9,15% del total. En cuanto a la parte del presupuesto que se reparte en este nivel, hay que señalar que para la contratación de nuevos asociados y nuevos ayudantes, la cantidad que se reparte, en ambos casos, representa el 3,57% de la parte del presupuesto que se destina a la contratación de este tipo de profesores, en función de las cotas impuestas por el decisor. Por tanto, podemos afirmar que, con una probabilidad de 0.95, se cumple la primera de las metas.

En el **segundo nivel** de prioridad, correspondiente a *dotar de nuevas plazas docentes a las unidades en función de su PAA*, se producen incumplimientos en 4 unidades funcionales (el 0,028% del total de ellas). Reciben dotaciones 27 unidades funcionales (el 19% de ellas). El análisis de la solución muestra que en las 4 unidades en las que se incumple la meta, la dotación monetaria destinada a la contratación de nuevos profesores Ayudantes y Asociados llega hasta la cota superior impuesta por el decisor, que limita esta dotación a dos profesores Asociados y tres Ayudantes por unidad funcional. Esto implica que, en estas unidades, el incumplimiento de la meta se produce por esta cota y no porque se agote el de presupuesto. No obstante, para poder pasar al siguiente nivel, se ha relajado la meta, para las unidades que incumplen, hasta el máximo nivel que pueden alcanzar.

En cuanto a la cantidad de dinero distribuida hasta ahora, hay que señalar que del total disponible para la contratación de nuevos profesores asociados se ha repartido el 21,11% y en el caso de los ayudantes el porcentaje es del 25,17%.

Las metas del **tercer nivel** de prioridad corresponden al deseo del decisor de que *al menos el 60% del profesorado de cada unidad funcional sea funcionario*, en la categorías profesionales donde es necesario el título de doctor. Para ello se dota a las unidades funcionales de dinero para la estabilización o promoción de su personal. La solución obtenida en este nivel muestra que, de nuevo, algunas unidades funcionales no llegan al nivel de aspiración correspondiente. En concreto, 37 unidades funcionales incumplen la meta. El motivo de esto es el mismo que en el nivel de prioridad dos. Se producen porque el decisor estableció que una unidad funcional puede recibir, como mucho, 5 millones de pesetas para mejorar la situación del personal docente adscrito a la misma, y hay unidades funcionales para las que esta cantidad resulta insuficiente, en función del nivel de aspiración, y no verifican la meta. Al igual que en el nivel anterior, para estas unidades funcionales se ha relajado la meta inicial.

El número de unidades que reciben dotaciones en este nivel es de 91, el 64% del total, y de la cantidad total de dinero que se destina para la mejora, el reparto que se realiza en este nivel representa el 75,6%.

Al llegar al **cuarto nivel** de prioridad, algunas de las unidades funcionales ya han recibido dotaciones para la estabilización o promoción de parte de su personal y para la contratación de nuevos profesores, pero aún queda parte del presupuesto por repartir. En este nivel, la meta a alcanzar, para cada unidad funcional, es que *el número de alumnos por profesor sea, como máximo, de 60*, con una probabilidad de, al menos, 0.9, bajo el supuesto de que el profesorado se encuentra al máximo de su capacidad docente. El problema que se plantea en este nivel es el siguiente: las variables de desviación no deseadas, n_{4i}, están ponderadas por igual en la función de logro. Al minimizar esta función, se minimiza el incumplimiento global, pero puede ocurrir que se reparta el dinero dotando mucho a algunas unidades y poco a otras. Para evitar esto se ha introducido en este nivel de prioridad un criterio minimax, de tal forma que se minimiza el porcentaje del máximo incumplimiento, consiguiendo un reparto del presupuesto disponible más equitativo. Sumando las cantidades distribuidas en este nivel y las de los niveles previos, se reparte el 100% del dinero disponible para ayudantes y el 83,51% para asociados entre el 44% de las unidades funcionales. No se agota el presupuesto disponible para asociados por la cota que impone el decisor entre el número de profesores asociados y ayudantes que está dispuesto a contratar por unidad funcional. Se observa que hay un menor número de unidades (en tantos por ciento) que reciben la máxima cuantía posible por unidad funcional, con lo cual, se confirma que hay un reparto más equitativo del presupuesto. Al igual que en los niveles de prioridad anteriores, en este nivel se siguen produciendo algunos incumplimientos, por lo que, para continuar, hemos de relajar las correspondientes metas.

Finalmente, en el **quinto nivel** de prioridad, donde las metas corresponden al deseo del decisor de *no financiar aquellas unidades funcionales con coste real por crédito mayor que el coste real medio de la UMA*, con una probabilidad de, al menos, 0.85, se da una situación paralela a la del cuarto nivel y se sigue el mismo procedimiento señalado anteriormente para conseguir un reparto equitativo del presupuesto restante. En este momento se ha agotado la parte del presupuesto correspondiente a contratación de nuevos profesores. La única partida disponible es, por tanto, la de estabilización y promoción de profesores en plantilla. Reciben dotación por este concepto, en este nivel, 18 unidades funcionales, que, junto con lo asignado en el nivel 3 para mejora, se reparte, en total, el 87,7% del presupuesto para este fin.

BIBLIOGRAFÍA.

Charnes, A., Cooper W. W. y Symonds, G. H. (1958). "*Cost Horizons and Certainty Equivalents: An Approach to Stochastic Programming of Heating Oil*". Management Science, vol. 4, nº 3, pág. 235-263.

Caballero, R., Galache, T., Gómez, T., Molina, J. y Torrico, A. *"Efficient Assignment of Financial Resources within a University System". Study of the University of Málaga.* En fase de revisión para su publicación en la revista European Journal of Operationals Research.

Caballero, R., Gómez, T., González, M., Rey, L. y Ruiz, F. (1998). *"Equilibrium Policies among University Departmens"*. En: Girón, J. y Martínez, L., (Eds), *Decision Analysis Applications*. Kluwer Acad. Pub., Boston.

Contreras, F., Repeto, J. R., García, P., Álvarez-Manzaneda, E., Márquez, S., Hernández, J., Martín, G., Ferraro, J. L. y Ramírez de Arellano, A. (1995). *"La Financiación de las Universidades Andaluzas"*. Auditoría Pública, vol. 3, pág. 16-24.

Ignizio, J. P. (1976). *Goal Programming and Extensions*. Lexington Books. Massachusets.

Kall, P. (1982). "*Stochastic Programming*". European Journal of Operational Research, vol. 10, pág. 125-130.

Libro Blanco del Profesorado de la Universidad de Málaga (1998)**.** Segunda edición, Rectorado de la Universidad de Málaga.

Mustafa, A. y **Goh, M.** (1996). *"Multi-criterion Models for Higher Education Administration"*. Omega International Journal Management Science, vol. 24, nº 2, pág. 167-178.

Romero, C. (1993). *Teoría de la Decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones.* Alianza Universidad Textos, Madrid.

Stancu-Minasian, I. M. (1984). *Stochastic Programming with Multiple Objective Functions*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.

Stancu-Minasian, I. y Tigan, S. (1988). "*A Stochastic Approach to Some Linear Fractional Goal Programming Problems*". Kybernetika, vol. 24, nº 2, pág. 139-149.