
Carlos Romero ()*

*Aplicaciones de la teoría
de la decisión multicriterio
en la planificación de los recursos
forestales (**)*

INTRODUCCION

En la planificación de los recursos forestales subyace un problema decisional complejo debido fundamentalmente al carácter multidimensional de las consecuencias inherentes a las correspondientes decisiones. En efecto, cualquier decisión que se toma en un proceso de planificación de un recurso forestal afecta simultáneamente a criterios de diversa naturaleza: económicos, ambientales, de asignación intergeneracional, etc.

Una importante razón que explica la complejidad del ambiente dentro del cual se planifica el uso de un recurso reside en el carácter biológico del mismo, así como en su carácter destructible-renovable. Así, el uso de un recurso como el que estamos comentando implica, por una parte, su agotamiento (*ca-*

(*) Departamento de Economía y Gestión (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes). Universidad Politécnica de Madrid.

(**) Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto financiado por la CICYT PB91-0035 Teoría de la decisión multicriterio: Desarrollos operativos y aplicaciones a la economía de los recursos naturales.

rácter destructible), mientras que por otra implica la creación de un nuevo stock por medio de un proceso biológico autorregenerativo (*carácter renovable*). Por consiguiente, el manejo de un recurso con estas características debe hacerse observando ciertos principios relacionados con la sustentabilidad del sistema si se quiere evitar su colapso.

Por otra parte, es un hecho hoy día incuestionable que los sistemas forestales —como sucede con la mayor parte de los sistemas cuyo soporte es un recurso natural— son sistemas que pretenden alcanzar objetivos múltiples de muy diferente naturaleza. Así, a título simplemente indicativo, podríamos hablar de los siguientes tipos de objetivos: *Económicos de producción*: pastos, madera, ganadería, etc. *Ambientales*: protección de la fauna, control de la erosión, evitar desequilibrios climáticos, etc. *Sociales*: nivel de empleo, asentamiento de la población, etc.

Por consiguiente, a la hora de diseñar políticas para el manejo óptimo de un sistema forestal, el centro decisor —tanto si se trata de un agente privado como público— posee una estructura de preferencias definida por más de un criterio de diferente naturaleza. Este tipo de conclusión conduce a la necesidad de recurrir a modelos decisionales en los que se pueda incorporar la multiplicidad de criterios comentada. En otras palabras, se hace necesario formular los modelos para planificar el uso de sistemas forestales dentro del marco de la teoría de la decisión multicriterio.

De los comentarios efectuados se deduce la incuestionable necesidad de encontrar un equilibrio entre diferentes objetivos y metas a la hora de modelizar un sistema forestal. Este aserto es válido independientemente del nivel al que se modelicen las decisiones, así como de que el centro decisor se trate de un agente privado o de un planificador público. Este tipo de argumentos nos conducen al uso de funciones de utilidad con varios argumentos en vez de con uno solo, tal como se acepta en la tradición neoclásica.

Permítasenos formalizar algo más estas ideas. Así, en la gestión de un espacio forestal de propiedad pública, parece ló-

gico que se persiga el interés de la sociedad en su conjunto. Dicho interés social puede subrogarse por una función de bienestar que deberá incluir entre sus argumentos todos los servicios que proporcione el espacio forestal en cuestión. Para fijar ideas, supongamos que dichos servicios son los comentados anteriormente, es decir, servicios económicos, ambientales y sociales. Si representamos por $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ el vector de estrategias forestales que puede seguir el centro decisor, tendremos que considerar las siguientes funciones:

$$\text{Servicios económicos} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n).$$

$$\text{Servicios ambientales} = f_2(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n).$$

$$\text{Servicios sociales} = f_3(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n).$$

Por tanto, la estructura general de la función de bienestar social será:

$$W = W[f_1(x), f_2(x), f_3(x)]$$

Consecuentemente, dentro de este contexto, el núcleo estructural de un modelo operativo válido para la planificación y gestión de dicho espacio forestal vendría dado por:

$$\text{Máx } W = W[f_1(x), f_2(x), f_3(x)]$$

sujeto a:

[1]

$$x \in F$$

donde el dominio alcanzable F puede ser un conjunto finito o continuo. Como en la función de bienestar social W posee tres argumentos dentro de nuestro planteamiento, o, en general, n argumentos según sea el nivel de agregación con el que trabajemos, este tipo de estructura suele denominarse teoría de la utilidad con atributos múltiples. Este tipo de enfoque, aunque de gran solidez teórica, presenta serios inconvenientes a la hora de aplicarse en la práctica. Un análisis crítico de las limitaciones de la teoría de la utilidad con atributos múlti-

ples se presentará en el apartado siguiente. Las aplicaciones de esta teoría en planificación forestal son escasas, entre ellas pueden citarse las siguientes: Bell (1977), Bertier y Montgolfier (1975) y Teeter y Dyer (1986).

LIMITACIONES DEL ENFOQUE BASADO EN FUNCIONES DE UTILIDAD MULTIATRIBUTO

El enfoque multiatributo suele aplicarse en contextos discretos, es decir, situaciones en las que el problema consiste en ordenar un conjunto finito de sistemas o alternativas evaluadas con arreglo a varios criterios. Por ejemplo, supongamos una situación en la que existen cinco regímenes de manejo de un sistema agroforestal, evaluándose cada uno de estos regímenes de acuerdo con tres atributos (por ejemplo, producción de madera, valor actual neto e impacto ambiental). El enfoque multiatributo puede formalizarse de la siguiente manera. El problema consiste en elegir de entre un conjunto finito de alternativas: x^1, x^2, \dots, x^m evaluadas de acuerdo con el conjunto de criterios: $Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_n(x)$. Con tal propósito, se determina una función de valor $u[Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_n(x)]$ llamada función de utilidad tal que se verifica:

$$u[Z_1(x^i), Z_2(x^i), \dots, Z_n(x^i)] \geq u[Z_1(x^j), Z_2(x^j), \dots, Z_n(x^j)] \Leftrightarrow x^i \succcurlyeq x^j \quad [2]$$

donde \succcurlyeq significa la preferencia o indiferencia del sistema x^i con respecto al sistema x^j . Con este enfoque, la función $u(Z)$ asocia un número real —que representa la utilidad— a cada uno de los sistemas que estamos evaluando. De esta forma se consigue un orden completo del conjunto finito de alternativas. La referencia clásica en este campo es Keeney y Raiffa (1976).

El enfoque multiatributo posee una gran solidez teórica, pese a ello su aplicabilidad, al menos en el campo de la planificación forestal, está llena de dificultades, tanto teóricas como empíricas, tal como vamos a exponer en lo que queda de este apartado.

Un primer paso para aplicar este enfoque a un problema real consiste en aceptar la propia existencia de las n funciones de utilidad $u_1[Z_1(x)], \dots, u_n[Z_n(x)]$. Para ello es necesario aceptar supuestos básicos difíciles de contrastar empíricamente y bastante controvertidos. Así, uno de los supuestos necesarios para aceptar la existencia de una función de utilidad es el de continuidad de las preferencias. Este supuesto puede considerarse aceptable en algunos casos, pero, sin embargo, resulta altamente cuestionable en un contexto de manejo de un recurso natural. En efecto, supongamos un problema de planificación forestal con dos atributos relevantes: producción de madera y un índice que mide el riesgo de colapso biológico del bosque; es obvio que aceptar en este caso la continuidad de las preferencias no sólo sería irrealista, sino que podría tener el carácter de suicidio social. En efecto, en este caso el supuesto de continuidad implicaría aceptar que siempre existe un incremento en el volumen de madera producida que compense un incremento del riesgo de colapso del bosque, por elevado que sea el valor del mismo. Dicho con otras palabras, con este tipo de atributos —muy usuales en un contexto forestal— las preferencias son dudosamente continuas, por lo que su representación por medio de una función de utilidad es cuestionable (Romero, 1991b).

Una vez que se aceptan los supuestos que garantizan la existencia de las n funciones de utilidad, el paso siguiente consiste en conjeturar una cierta descomposición para la función de utilidad multiatributo u . Para acometer esta tarea es necesario hacer supuestos acerca de la independencia o interdependencia de las preferencias del centro decisor con respecto a los n atributos en consideración. Algunos de estos supuestos se aceptan *casi axiomáticamente*, aunque son teóricamente cuestionables y en muchos casos van contra la evidencia empírica. Este aspecto —que resulta crucial en la evaluación pragmática de este enfoque— se ilustra seguidamente comentando el supuesto de *independencia de preferencias* entre atributos que es esencial para poder aceptar la mayor parte de los modelos de descomposición de la función

de utilidad u utilizados en la práctica (descomposición aditiva, multiplicativa, etc.).

Dentro del campo de la teoría de la utilidad con atributos múltiples se dice que el par de atributos Z_1 y Z_2 es preferencialmente independiente del atributo Z_3 , si el «trade-off» o tasa de intercambio entre Z_1 y Z_2 no se ve afectada por el nivel alcanzado por Z_3 (por ejemplo, Zeleny, 1982, 420-421). La independencia preferencial mutua entre los atributos es condición necesaria (aunque no suficiente) para aceptar, por ejemplo, la muy utilizada en la práctica descomposición aditiva:

$$u[Z_1(x), \dots, Z_n(x)] = w_1 u_1[Z_1(x)] + \dots + w_n u_n[Z_n(x)] \quad [3]$$

La propiedad de independencia preferencial mutua suele aceptarse —dentro de las aplicaciones del enfoque multiatributo— como una verdad casi incuestionable, cuando en realidad en muchas ocasiones no refleja adecuadamente la estructura de preferencias del centro decisor. Así, aceptar la veracidad de esta propiedad supone aceptar implícitamente —entre otras cosas— la no interacción entre las preferencias, lo cual no es obviamente realista en muchos contextos decisionales. Permítasenos ilustrar esta idea con un ejemplo intuitivo, pero muy ilustrativo. La condición de independencia preferencial implica, por ejemplo, que si una persona prefiere un menú formado por gambas, lenguado y vino blanco a otro menú formado por salmorejo, carne roja y vino tinto, también preferirá comer el primer menú cambiando el vino blanco por el tinto, en vez del segundo. Obviamente este tipo de estructura de preferencias no es válida para todos los consumidores. Para algunas personas el tipo de comida es preferencialmente independiente del tipo de bebida, mientras que para otras no.

Seguidamente pasamos a analizar esta idea —que es crucial para valorar la aplicabilidad del enfoque multiatributo en planificación forestal— con la ayuda de ejemplos relevantes en nuestro campo (Rehman y Romero, 1993). Así, en el ejemplo de la tabla 1 es razonable suponer que se cumple la condición de independencia preferencial entre atributos. En efecto,

es razonable suponer que si $A \geq B \Rightarrow C \geq D$, esto es, los atributos producción de madera y valor actual neto son preferencialmente independientes del atributo número de visitantes. En otras palabras, parece razonable aceptar en este caso que el «trade-off» o tasa de intercambio entre la producción de madera y el valor actual neto no se verá afectado por el número de visitantes.

TABLA 1
Planificación de un bosque

Criterios. Alternativas	Producción de madera (m ³ /ha)	Valor actual neto (um/ha)	Número de visitantes (visitantes/ha)
A	70	4.000	40
B	50	5.000	40
C	70	4.000	80
D	50	5.000	80

Por el contrario, en el ejemplo de la tabla 2 es razonable suponer que $A \geq B$ no implique necesariamente que $C \geq D$. En efecto, el centro decisor puede estar interesado en sacrificar 200 kg/ha de proteína, a cambio de un incremento en la producción de madera de 20 m³/ha cuando la producción de energía es de 80.000 MJ/ha; sin embargo, no está dispuesto a aceptar tal intercambio de madera-proteína cuando el nivel de producción de energía es de tan sólo 50.000 MJ/ha. En otras palabras, los atributos producción de proteína y de madera no tienen que ser necesariamente preferenciales independientes del atributo de producción de energía.

TABLA 2
Planificación de un sistema agroforestal

Criterios. Alternativas	Producción de proteína (kg/ha)	Producción de madera (m ³ /ha)	Producción de energía (MJ/ha)
A	800	60	80.000
B	1.000	40	80.000
C	800	60	50.000
D	1.000	40	50.000

Una vez que se acepta —basándose en supuestos bastante arbitrarios— un cierto modelo de descomposición de la función agregada de utilidad u los problemas tanto teóricos como operativos derivados de la aplicación del enfoque multiatributo no han acabado ni mucho menos. En efecto, el paso siguiente en la aplicación de este enfoque consiste en determinar las n funciones de utilidad unidimensionales explicitadas en el problema, así como los pesos y coeficientes implicados en las funciones de utilidad multiatributo. Para alcanzar ambos propósitos se hace necesario tanto una intensa interacción con el centro decisor como el uso de técnicas estadísticas relativamente sofisticadas.

Del análisis efectuado en este apartado se deduce claramente que las posibilidades del enfoque multiatributo en planificación forestal son bastante limitadas. En efecto, en cuanto la estructura del conjunto de restricciones tenga una cierta complejidad —como sucede normalmente en la práctica forestal— el enfoque se vuelve totalmente inoperante. Puede decirse que este tipo de enfoque tiene alguna utilidad en el campo forestal tan sólo en problemas decisionales formados por un número finito y reducido de alternativas. Sin embargo, aun en estos casos, los supuestos a veces irrealistas que subyacen al enfoque hacen que este método tenga un interés muy limitado en planificación forestal y que deba usarse siempre con gran cuidado contrastándose empíricamente sus supuestos básicos.

La argumentación que hemos desarrollado hasta ahora nos ha llevado a un aparente círculo vicioso. En efecto, por una parte resulta incuestionable la necesidad de considerar una multiplicidad de criterios de naturaleza muy diversa a la hora de planificar un recurso forestal. Sin embargo, por otra parte la consideración de una estructura teórica sólida de corte utilitario que permita acomodar dicha multiplicidad de criterios de una forma coherente parece inalcanzable. El círculo vicioso en verdad existe, aunque es posible romperlo. La forma de abordar esta tarea consiste en encontrar subrogados del enfoque multiatributo, es decir, métodos multicriterio que

sin poseer la solidez teórica de las funciones de utilidad multiatributo permiten acomodar de una manera realista la multiplicidad de criterios inherentes a un problema de planificación forestal. En lo que sigue analizaremos los pros y contras de estos posibles subrogados.

COMENTARIOS CRITICOS AL USO DE ENFOQUES MULTI OBJETIVO EN PLANIFICACION FORESTAL

Los enfoques multiobjetivo plantean el problema de optimizar simultáneamente varios objetivos. Como tal tipo de optimización simultánea es normalmente imposible —debido al usual grado de conflicto entre objetivos—, la programación multiobjetivo pretende encontrar el conjunto de soluciones eficientes en un sentido paretiano. La estructura básica de un modelo multiobjetivo viene dada por:

$$Eff Z(x) = [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_n(x)]$$

sujeto a:

$$x \in F$$

[4]

donde *eff* significa la búsqueda de soluciones eficientes en un sentido maximizador o minimizador. Existen básicamente tres métodos para generar el conjunto eficiente. El método de las ponderaciones, que asocia a cada objetivo un peso o parámetro y posteriormente combina los objetivos ponderados en una función objetivo agregada. El conjunto eficiente se genera parametrizando los pesos. El método de las restricciones implica optimizar uno de los objetivos, mientras los objetivos restantes se consideran restricciones paramétricas. El conjunto eficiente se genera parametrizando los términos independientes de las restricciones que representan los objetivos. El Simplex multicriterio implica encontrar todos los puntos extremos eficientes, desplazándose de un punto extremo eficiente a otro adyacente. Esta operación se combina con una subrutina que comprueba la posible eficiencia de cada punto extremo obte-

nido. Más detalles técnicos del enfoque multiobjetivo pueden verse, entre otros, en Cohon (1978) y Zenely (1982).

Los principales problemas asociados al uso de la programación multiobjetivo cuando se aplica al campo de la planificación forestal son de tipo computacional. En efecto, determinar el conjunto eficiente completo es una tarea prácticamente imposible, excepto para problemas de dimensiones pequeñas, lo que obviamente no sucede en el campo forestal. Así, pensemos en un problema consistente en determinar una secuencia de corta con varios cientos de variables decisionales y restricciones y que conlleve la consideración de tres o cuatro objetivos. Un problema con estas características —bastante usual en la práctica— es computacionalmente intratable vía multiobjetivo.

En efecto, existen hoy día muy pocos «softwares» capaces de generar todos los puntos extremos eficientes de un problema multiobjetivo. Las dos rutinas más populares —ambas basadas en el Simplex multicriterio— son ADBASE (Steuer, 1992) y MLP (Computing & Systems Consultant, 1987). ADBASE es capaz de resolver problemas con matrices de una dimensión alrededor de 50×50 y con un número de objetivos en torno a tres. MLP experimenta dificultades computacionales incluso para problemas más pequeños. Resulta obvio el escaso interés de estas rutinas para aplicaciones reales en el campo de la planificación forestal.

Por las razones apuntadas, la única posibilidad de aplicar el enfoque multiobjetivo a casos reales en el terreno forestal consiste en recurrir al método de las ponderaciones o al método de las restricciones, con el propósito de aproximar el conjunto eficiente. No obstante, incluso las cargas computacionales asociadas a estos métodos aproximados son importantes en problemas de cierta complejidad. Así, el método de las ponderaciones requiere resolver P^{n-1} programas lineales, siendo P el número de valores dados a los pesos y n el número de objetivos. Por otra parte, el método de las restricciones requiere resolver R^{n-1} programas lineales, siendo R el número de subintervalos en los

que se ha dividido el rango de los objetivos tratados como restricciones y nuevamente el número de objetivos. Aunque esta fuerte carga computacional se puede mitigar considerablemente recurriendo a códigos de propagación lineal paramétrica, sin embargo este tipo de problema limita considerablemente la utilidad del enfoque multiobjetivo como instrumento operativo en el campo de la planificación forestal.

Por otra parte, la aplicación del enfoque multiobjetivo genera abundante e importante información. Así, el conjunto eficiente —o en su defecto una aproximación del mismo— se puede interpretar económicamente como la superficie de transformación o frontera de posibilidades de producción entre los objetivos considerados. A partir de la misma es posible obtener los «trade-offs» o tasas de intercambio entre objetivos. Dicho con otras palabras, con este enfoque se posibilita medir el coste de oportunidad de un objetivo en términos de otro objetivo. Así, en un contexto forestal, la determinación del conjunto eficiente permite medir el coste de oportunidad de, por ejemplo, el volumen de madera producido en términos de las actividades recreativas ofrecidas por el bosque (cuantificadas, por ejemplo, en número de visitantes).

El interés práctico derivado de la interpretación económica del conjunto eficiente es especialmente relevante cuando el número de objetivos a considerar oscila entre dos y tres. En tal tipo de situación es posible dar una representación gráfica al conjunto eficiente. Así, para un problema con dos objetivos, el conjunto queda determinado por las líneas rectas que conectan los puntos extremos eficientes. En tal contexto las pendientes de dichas líneas rectas nos dan directamente el coste de oportunidad de un objetivo en términos del otro objetivo. Esta ventaja es más difícil de explotar en problemas con tres objetivos y prácticamente desaparece en problemas de mayor dimensión.

En el terreno de la planificación forestal no es en absoluto extraño, sino por el contrario muy frecuente encontrarse con problemas decisionales en los que haya que considerar cinco e

incluso más objetivos, por lo que el tipo de ventaja del enfoque multiobjetivo que acabamos de comentar es bastante relativa. No obstante, la interpretación gráfico-económica del conjunto eficiente puede explotarse en planificación forestal en análisis parciales (del tipo *ceteris paribus*). Con este tipo de análisis puede establecerse la curva de transformación de dos atributos concretos manteniéndose fijo los valores de los demás atributos.

Otra dificultad asociada con la aplicación de este enfoque a problemas de cierta dimensión reside en la enorme cantidad de información generada por este tipo de modelos. Así, en un problema multiobjetivo con una matriz de restricciones de tamaño moderado —por ejemplo, 50×50 — y con un número de objetivos en torno a cuatro, no es en absoluto extraño obtener más de 500 puntos extremos eficientes. Resulta obvio que esta situación se presentará con frecuencia en problemas de planificación forestal, dada la complejidad de los modelos en este campo. Esta característica de la programación multiobjetivo supone otra debilidad del enfoque, pues su aplicación puede suponer de hecho inundar al centro decisor con información que no va a poder digerir. A la hora de tomar una decisión tan ineficiente es generar muy poca información como generar demasiada información.

De las ideas presentadas en este apartado se deduce que aunque el enfoque multiobjetivo es un instrumento potente para introducir en los modelos decisionales, tanto la multiplicidad de criterios existentes en la realidad forestal como la estructura compleja de los problemas existentes en este campo, hacen que la utilidad práctica de este enfoque quede bastante restringida. En efecto, tanto las dificultades computacionales como la excesiva cantidad de información generada, hacen que el enfoque multiobjetivo tenga un interés relativamente limitado en planificación forestal. Puede decirse que su uso queda supeditado a analizar problemas de pequeño tamaño o bien a efectuar análisis parciales en los que se establece la curva de «trade-offs» entre dos atributos cualesquiera mientras se mantienen constantes los valores de los demás atributos.

Algunas aplicaciones interesantes del enfoque multiobjetivo en planificación forestal son las siguientes: dentro del problema del manejo del bosque (*forest management problem*) pueden citarse, entre otros, los siguientes trabajos: Allen (1986), De Kluyver *et al.* (1980), Hallefjord *et al.* (1986) y Steuer y Schuler (1978). La planificación de la secuencia de corta ha sido analizada dentro de un enfoque de programación multiobjetivo por Ritters *et al.* (1982). Finalmente, Bare y Mendoza (1988) introducen interactivamente las preferencias del centro decisor en un problema decisional con dos objetivos: maximización de la producción de madera y maximización del número de animales de ciertas especies beneficiosas que puede soportar el bosque.

EL ENFOQUE SATISFACIENTE: VENTAJAS E INCONVENIENTES

La programación por metas fue introducida por Charnes, Cooper y Ferguson (1955) y Charnes y Cooper (1961). Este enfoque multicriterio se considera hoy día como la dimensión operativa de la filosofía simoniana del satisfacer (Simon, 1955, 1957, 1979). Dentro de este paradigma decisional, el centro decisor en vez de optimizar una supuestamente existente función de utilidad, pretende únicamente satisfacer en la medida de lo posible un conjunto de metas que resultan relevantes para el problema analizado. El proceso de minimización se puede realizar de maneras diferentes. Los dos métodos más utilizados son la programación por metas ponderadas y la programación por metas lexicográficas. Con el primer método se agregan todas las metas en una función objetivo que se forma con todas las variables de desviación no deseadas.

La estructura básica de un modelo con metas ponderadas viene dada por:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n (\alpha_i n_i + \beta_i p_i)$$

sujeto a:

$$f_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad [5]$$

$$x \in F$$

donde:

n_i = Variable de desviación negativa asociada al atributo i -ésimo.

p_i = Variable de desviación positiva asociada al atributo i -ésimo.

α_i = Peso relativo asociado a la variable n_i ($\alpha_i > 0$ sólo cuando n_i es una variable no deseada).

β_i = Peso relativo asociado a la variable p_i ($\beta_i > 0$ sólo cuando p_i es una variable no deseada).

$f_i(x)$ = Expresión matemática del atributo i -ésimo.

b_i = Nivel de aspiración asociado al atributo i -ésimo.

La programación por metas lexicográficas, en vez de pesos relativos utiliza pesos absolutos o excluyentes, que se asignan a las metas que han sido agrupadas previamente en diferentes niveles de prioridad. Dentro de este enfoque las metas situadas en las prioridades más elevadas se intentan satisfacer primero y sólo entonces se consideran las metas situadas en prioridades más bajas. La estructura básica de un modelo lexicográfico viene dada por:

$$\text{Lex min } a = [h_1(n, p), h_2(n, p), \dots, h_q(n, p)]$$

sujeto a:

$$f_i(n) + n_i - p_i = b_i \quad [6]$$

$$x \in F$$

donde Lex min significa un proceso de optimización lexicográfico. Explicaciones más detalladas de este enfoque pue-

den verse, entre otros, en los trabajos de Lee (1972) e Ignizio (1976).

La principal ventaja de la programación por metas en general, y muy especialmente en el campo de la gestión de los recursos forestales, reside en su gran operatividad computacional. Así, para resolver un modelo basado en metas ponderadas o relativas, basta con recurrir al algoritmo del Simplex. Por tanto, por elevada que sea la complejidad del problema forestal que estemos analizando, el enfoque basado en metas ponderadas posee una operatividad suficiente.

En lo referente a los modelos lexicográficos, dada la estructura vectorial de su función objetivo, no pueden resolverse por aplicación directa del Simplex. Sin embargo, existen métodos basados en este algoritmo, tales como el «método secuencial» (Ignizio y Perlis, 1979) —que consiste en esencia en un Simplex iterativo— o el «Simplex multifase» (Lee, 1972) o el «algoritmo partitivo» (Arthur y Ravindran, 1978, 1980), que son capaces de resolver modelos basados en metas lexicográficas de elevada dimensión, con una sola «pasada» de computador.

Una posible debilidad de la programación por metas cuando se aplica al campo forestal reside en la enorme cantidad de información que este enfoque demanda del centro decisor para poder construir el correspondiente modelo. En efecto, para una aplicación real de este enfoque, el centro decisor debe proporcionar información referente a valores de los niveles de aspiración, pesos relativos a asociar a cada variable de desviación no deseada, ordenación absoluta o excluyente de las prioridades, etc. Es obvio que, dada la creciente complejidad de los sistemas forestales, no es fácil para el centro decisor proporcionar valores fiables para estos parámetros.

Esta aparente debilidad de la programación por metas puede mitigarse considerablemente por medio de un análisis de sensibilidad. De esta forma se pueden ensayar diferentes valores para aquellos parámetros sobre cuyos valores el centro decisor se encuentre menos seguro. Otra forma de mitigar este problema consiste en recurrir a una metodología interactiva. Con este mé-

todo se pretenden obtener los valores de parámetros tales como niveles de aspiración, pesos relativos, etc., por medio de una interacción entre el modelo y el centro decisor a través del analista. La interacción se convierte en un diálogo en el que el modelo responde a unos valores iniciales del parámetro en cuestión (por ejemplo, niveles de aspiración) que responden a unas preferencias tentativas e iniciales por parte del centro decisor. La respuesta se examina por parte del centro decisor con respecto a esa solución en concreto. El proceso continúa de una manera interactiva e iterativa hasta que el centro decisor encuentra una solución satisfactoria. Spronk (1980) es una buena referencia de un método que permite obtener interactivamente los valores de los parámetros básicos de un modelo basado en metas.

Otra posible debilidad de un modelo de programación por metas es la escasa información proporcionada por este tipo de enfoque. En efecto, un modelo con metas ponderadas o lexicográficas proporciona una única solución; esto es, la solución más próxima con respecto al vector de niveles de aspiración elegidos por el centro decisor. Sin embargo, esta debilidad es más aparente que real. Nuevamente basta con recurrir a un análisis de sensibilidad para que un modelo basado en metas pueda generar una importante cantidad de información de gran utilidad para el centro decisor.

Por tanto, dentro del campo de la planificación de recursos forestales, la programación por metas se revela como un método robusto capaz de generar información útil que facilite a los centros decisores —tanto privados como públicos— la toma racional de sus decisiones. Dicho con otras palabras, los enfoques multicriterio basados en metas constituyen —al menos en el terreno forestal— un buen subrogado de la estructura teórica basada en funciones de utilidad con atributos múltiples (véase expresión [1] del § 1). No obstante, debe indicarse que la aplicación mecánica de la programación por metas puede llevar, y de hecho ha llevado, a formulaciones equivocadas de los modelos, lo cual conduce obviamente a resultados incorrectos. Un análisis de la naturaleza de este tipo de problemas, así como de las maneras de evitarlos, pueden verse en Romero (1991a).

La robustez de la programación por metas en la gestión de recursos forestales queda corroborada por una extensa literatura de la que pueden citarse los trabajos de Arp y Lavigne (1982), Bottoms y Bartlett (1975), Chang y Buongiorno (1981), Field (1973), Kahalas y Groves (1978), Schuler y Meadows (1975) y Schuler *et al.* (1977), en los que se aplican diferentes variantes de la programación por metas a lo que se suele denominar el problema del manejo del bosque.

La programación por metas ha sido también profusamente aplicada al problema de la planificación de la secuencia de corta. Dentro de este tipo de problema pueden citarse los siguientes trabajos: Field *et al.* (1980), Hotvedt (1983), Hotvedt *et al.* (1982) y Kao y Brodie (1979). Otras aplicaciones de la programación por metas en planificación forestal son las siguientes: Walker (1985), en la que se analiza un problema de reforestación; Portefield (1976), en el contexto de un programa de mejora genética, y Mitchell y Bare (1981), en un problema de muestreo estratificado para diseñar un inventario forestal.

LA PROGRAMACION COMPROMISO Y LA PLANIFICACION FORESTAL

El primer paso dentro del enfoque compromiso consiste en establecer lo que Yu (1973) y Zeleny (1973) denominan el punto o la alternativa ideal. Las coordenadas de la alternativa ideal vienen dadas por los valores óptimos de los correspondientes objetivos, forzando el proceso de optimización al cumplimiento de las restricciones del problema. Cuando el punto o alternativa ideal es inalcanzable, que es lo usual en la práctica, la elección óptima, o mejor solución compromiso, viene dada por la solución eficiente más próxima al punto ideal. Dependiendo de la métrica que se elija tendremos diferentes funciones de distancia, lo que nos permitirá establecer diferentes conjuntos compromiso. Para abordar tal tarea formulamos el siguiente problema de optimización:

$$\text{Min } L_\pi = \left[\sum_{j=1}^n W_j^\pi \left| \frac{Z_j^* - Z_j(x)}{Z_j^* - Z_{*j}} \right|^\pi \right]^{1/\pi}$$

sujeto a:

$$x \in F \quad [7]$$

donde:

- $Z_j(x)$ = Expresión matemática del objetivo j-ésimo.
- Z_j^* = Valor ideal o ancla para el objetivo j-ésimo.
- Z_{*j} = Valor anti-ideal para el objetivo j-ésimo. La inversa del recorrido $Z_j^* - Z_{*j}$ pretende normalizar los diferentes objetivos.
- W_j = Peso o importancia relativa asociada al objetivo j-ésimo.
- π = Métrica o parámetro definidor de la familia L_π de funciones de distancia.

Para diferentes valores de la métrica π se obtienen diferentes soluciones compromiso. Yu (1973) demostró que para problemas con dos objetivos, los puntos L_1 y L_∞ definen un subconjunto de la frontera eficiente denominado por Zeleny (1974) *conjunto compromiso*. Las otras mejores soluciones compromiso pertenecen al conjunto acotado por dichos puntos L_1 y L_∞ . Esta propiedad deja de ser cierta cuando el número de objetivos es superior a 2 (Freimer y Yu, 1976). Planteada en estos términos, la programación compromiso resulta especialmente interesante en el terreno forestal sólo cuando el número de objetivos a considerar no es superior a dos, lo cual representa una situación poco frecuente. Dicho con otras palabras, en el campo de la gestión forestal el enfoque compromiso no presenta ventajas con respecto a los enfoques satisfacientes basados en programación por metas que expusimos en el apartado anterior.

Sin embargo, la programación compromiso con dos objetivos, hibridada con algunos resultados recientes que conec-

tan los conjuntos compromiso con los óptimos utilitarios puede convertirse en un instrumento potente para analizar un problema estrechamente relacionado con la gestión forestal: la valoración económica y recreativa de un espacio natural. En lo que sigue vamos a aproximarnos a este interesante problema. Para ello representemos por x_1 los rendimientos madereros y por x_2 los rendimientos recreativos generados por un espacio forestal. A partir de una información estrictamente tecnológica obtendremos la curva de transformación $T(x_1, x_2) = K$, que representa el dominio tecnológico factible de combinaciones de los dos productos considerados. Los valores anclas o ideales x_1^* y x_2^* corresponden normalmente a los puntos de corte de la curva de transformación con los ejes de coordenadas (por ejemplo, $x_1^* = T(x_1, 0)$, $x_2^* = T(0, x_2)$).

Para aproximar la combinación óptima entre rendimientos madereros y recreativos, como paso previo a la estimación del valor del espacio forestal, comenzaremos por determinar las importancias relativas o pesos a asociar a cada producto. En nuestro contexto parece razonable conceptualizar dichos pesos como precios internos o valores sombra, al no estar relacionado con el escenario de producción al menos el posible precio de mercado de los servicios recreativos. Para ello vamos a utilizar algunos resultados de un trabajo recientemente publicado en el que se demuestra (Ballester y Romero, 1993a):

$$W_1 x_1^* = W_2 x_2^* = R \quad [8]$$

siendo W_1 y W_2 el peso normalizador asociado a los *outputs* madereros y recreativos, respectivamente, y R el coste de los recursos necesarios para producir una determinada combinación (x_1, x_2) sobre la curva de transformación. Para aclarar el significado de la condición [8] representemos por \bar{R} el valor agregado interno de los dos productos (por ejemplo, $\bar{R} = W_1 x_1 + W_2 x_2$). Parece razonable que un sistema consistente de pesos sombra debe cumplir las siguientes dos condiciones:

1.^a El valor sombra \bar{R} de la combinación (x_1, x_2) debe superar al correspondiente coste agregado de los recursos, es decir:

$$\bar{R} = W_1x_1 + W_2x_2 > R \quad [9]$$

2.^a La diferencia entre el valor interno de la combinación de productos \bar{R} y el coste de los recursos ha de ser lo más pequeño posible, es decir:

$$\text{Min } (\bar{R} - R) \quad [10]$$

En el trabajo mencionado se demuestra que el único conjunto de pesos (W_1, W_2) que minimiza [10] sujeto a la restricción [9] es el dado por la expresión [8]. Consecuentemente, en nuestro escenario de búsqueda de un compromiso o equilibrio entre dos productos madereros y recreativos, tomaremos los siguientes pesos:

$$W_1 = \frac{R}{x_1^*}, W_2 = \frac{R}{x_2^*} \quad [11]$$

Para estos pesos el límite L , del conjunto compromiso se obtendrá particularizando la estructura dada por [7] para $\pi = 1$ a nuestro contexto, obteniendo:

$$\text{Min } R \frac{x_1^* - x_1}{x_1^*} + R \frac{x_2^* - x_2}{x_2^*}$$

sujeto a:

$$T(x_1, x_2) = K \quad [12]$$

Este modelo es equivalente a la siguiente estructura más sencilla:

$$\text{Máx } \frac{x_1}{x_1^*} + \frac{x_2}{x_2^*}$$

sujeto a:

$$T(x_1, x_2) = K \quad [13]$$

Para los pesos dados por [11], el límite L_∞ del conjunto compromiso, como es usual dentro de este enfoque, se obtendrá resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{x_1}{x_1^*} - \frac{x_2}{x_2^*} = 0 \quad [14]$$

$$T(x_1, x_2) = K$$

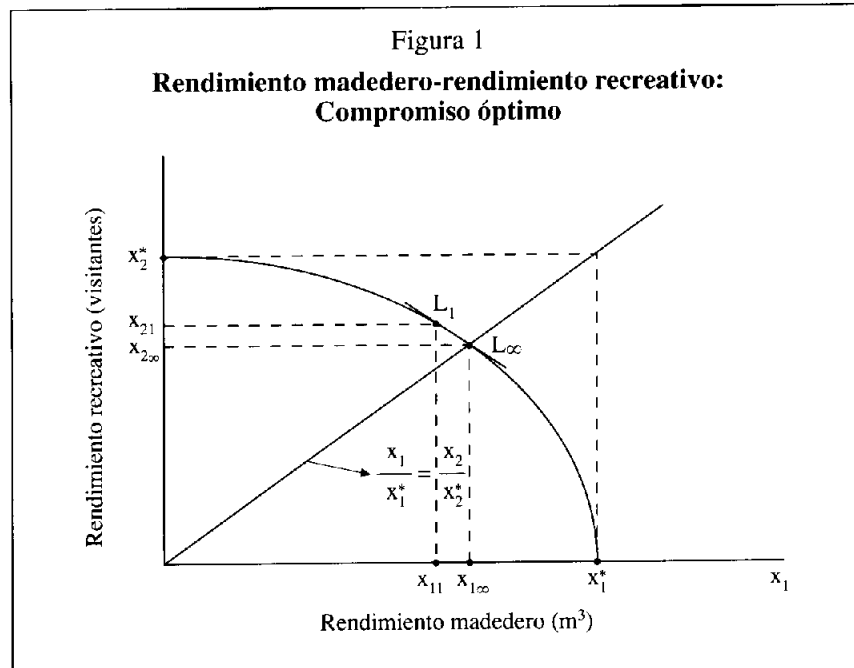
Tal como se ha apuntado en otros trabajos (Ballester y Romero, 1993b), el punto L_1 puede interpretarse como la solución de máxima eficiencia técnica, mientras que el punto L_∞ representa la solución más equilibrada. En todo caso, tal como se demuestra en otro trabajo (Ballester y Romero, 1991), siempre que las relaciones marginales de sustitución entre los productos madereros y recreativos se comporten coherentemente con la ley de las relaciones marginales de sustitución decrecientes, el óptimo de la desconocida función de utilidad $u(x_1, x_2)$ caerá dentro de los límites del conjunto compromiso. Es decir, las combinaciones óptimas madera-servicios recreativos implican una producción de madera comprendida entre las x_{11} y las $x_{1\infty}$ toneladas y un rendimiento recreativo comprendido entre los x_{21} y los $x_{2\infty}$ visitantes (fig. 1). Dichas cifras estiman o subrogan el valor de los dos propósitos o servicios proporcionados por el espacio forestal objeto de la valoración.

Para ilustrar tanto la lógica como la posible articulación operativa de estas ideas, vamos a recurrir a un sencillo ejemplo. Supongamos que la curva de transformación o curva frontera de posibilidades de producción es:

$$x_1^2 + 9x_2^2 = 36.000.000 \quad [15]$$

siendo x_1 el *output* maderero medido en metros cúbicos y x_2 el *output* recreativo medido en número de visitantes. De [15] se deduce inmediatamente que los valores ideales o anclas para cada uso del espacio forestal son:

$$x_1^* = 6.000 \text{ m}^3 \quad x_2^* = 2.000 \text{ visitantes}$$



El nivel de coste R que nos permite estar sobre la curva de transformación se estima en 12 millones de pesetas. Por tanto, los precios sombra que asignamos a los *outputs* maderero y recreativo, según [11], es igual:

$$W_1 = \frac{12.000.000}{6.000} = 2.000 \text{ ptas/m}^3;$$

$$W_2 = \frac{12.000.000}{2.000} = 6.000 \text{ ptas/visitante}$$

De estos valores se deduce que para nuestros cálculos podríamos tomar como coeficientes normalizadores, por ejemplo, $W_1 = 0,25$ y $W_2 = 0,75$.

A partir de estos datos la solución compromiso de máxima eficiencia o solución L_1 se obtiene según [12] o [13], resolviendo el siguiente problema de optimización:

$$\text{Máx } 0,25x_1 + 0,75x_2$$

sujeto a:

$$x_1^2 + 9x_2^2 = 36.000.000 \quad [16]$$

cuya solución es:

$$x_1 = 4.243 \text{ m}^3 \quad x_2 = 1.414 \text{ visitantes}$$

La solución compromiso de máximo equilibrio o solución L_∞ se obtiene según [14], resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} x_1 - 3x_2 &= 0 \\ x_1^2 + 9x_2^2 &= 36.000.000 \end{aligned} \quad [17]$$

cuya solución coincide con la anterior. La metodología propuesta da un valor óptimo al espacio forestal objeto de la valoración de 4.243 m³ y 1.414 visitantes, lo cual conduce al siguiente indicador monetario como valor interno agregado \bar{R} del espacio forestal:

$$\bar{R} = 2.000 \times 4.243 + 6.000 \times 1.414 = 16.970.000 \text{ ptas.}$$

CONCLUSIONES

En este último apartado vamos a sintetizar al máximo, y a modo de resumen, las conclusiones alcanzadas a lo largo de este trabajo. Así, se ha intentado mostrar con la mayor claridad posible que las decisiones en planificación forestal se toman en un medio complejo, con información que dista mucho de ser perfecta, teniendo que considerarse una amplia gama de criterios de naturaleza muy diversa que usualmente entran en conflicto entre sí. En este contexto posee un escaso valor pragmático formular modelos decisionales que emanen del enfoque decisional tradicional, en el que subyace el fortísimo supuesto de que los centros decisores optimizan sus decisiones en base a un único y bien definido objetivo.

Una vez aceptada la multiplicidad de criterios que subyace en la mayoría —si no en la totalidad— de los problemas de planificación forestal, la primera idea para abordar el problema propuesto consiste en formular funciones de utilidad con varios atributos. Este enfoque que se analizó con cierto detalle en el §2 se revela de muy escasa utilidad por dos tipos de razones distintas. Una razón reside en el carácter continuo de los subconjuntos alcanzables (por ejemplo, número infinito de soluciones factibles) en la mayor parte de los problemas de planificación forestal, cuando, sin embargo, el valor práctico del enfoque multiatributo se reduce prácticamente a problemas decisionales discretos (por ejemplo, número finito y no elevado de soluciones factibles).

Por otra parte, los supuestos que hay que aceptar para establecer una determinada descomposición de la función de utilidad con atributos múltiples son siempre de difícil corroboración empírica. Esta dificultad es aún mayor cuando, como sucede con los problemas forestales, los atributos a considerar corresponden a criterios de naturaleza muy diversa. Así, aceptar un supuesto de independencia de preferencias entre criterios de naturaleza económica, social y ecológica es muy cuestionable, cuando no irreal.

Descartando el enfoque multiatributo como un instrumento potente con un valor general en el campo de la planificación forestal, se analiza la alternativa multiobjetivo. Este enfoque posee una gran solidez teórica, se apoya en supuestos realistas y es aplicable a problemas de optimización restringida a conjuntos continuos. Sin embargo, la aparente potencialidad del enfoque multiobjetivo queda considerablemente mitigado, si no totalmente eclipsada, cuando el tamaño del problema (número de objetivos, variables y restricciones) es elevado. Dado que muchos de los problemas reales que se presentan en el campo de la planificación forestal poseen un tamaño importante, el interés operativo del enfoque multiobjetivo es bastante reducido.

Una alternativa a explorar ante esta situación consiste en asumir una lógica decisional no optimizadora, sino satisfa-

ciente, como ha propuesto Simon. Dentro de este marco teórico se acepta que dada la complejidad del marco decisional, así como la imperfección de la información, el centro decisor no intenta —porque no puede— optimizar una función que defina correctamente sus preferencias, sino que por el contrario se conforma con satisfacer, en la medida de lo posible, una serie de metas que desearía alcanzar. Esta óptica decisional que conforma una *racionalidad acotada* («bounded rationality») parece reflejar muy adecuadamente el marco real en el que se desenvuelven los problemas de planificación forestal.

La dimensión operativa de la lógica simoniana del satisfacer reside en la llamada programación por metas. Este enfoque se comenzó a aplicar de una manera incipiente en economía forestal en 1973, a raíz del trabajo pionero de D. B. Field. Desde esa fecha las aplicaciones del enfoque basado en metas a problemas de planificación forestal no han sido precisamente escasas. Sin embargo, las enormes expectativas que despertó este enfoque en el terreno forestal se han ido desvaneciendo en los últimos años. La razón de la «crisis» de este enfoque se debe a dos razones distintas. Por una parte, el valor empírico de los resultados obtenidos en algunas aplicaciones no ha sido muy bueno. Así, no es extraño encontrar en la literatura aplicada resultados generados por modelos de programación por metas inesperados, inferiores, cuando no equivocados. Por otra parte, una serie de investigadores procedentes del campo de la investigación operativa (Zeleny fundamentalmente) y de la economía forestal (Dyer *et al.* fundamentalmente) han encontrado aparentemente una serie de debilidades teóricas que desacredita el enfoque basado en metas.

Por tanto, puede decirse que en la actualidad la programación por metas constituye un paradigma que se enfrenta a una «crisis» Kuhniana asediado por aparentes anomalías, tanto empíricas como teóricas. En este artículo se ha pretendido mostrar que estas aparentes anomalías (*temas críticos* con un lenguaje más técnico) no son inherentes a la lógica que subyace a la programación por metas, sino que, por el contrario, se deben a un mal uso del enfoque. En definitiva,

utilizados correctamente los enfoques decisionales basados en metas constituyen un potente instrumento que operativiza la lógica situacional simoniana del satisfacer. Dicho instrumento y dicha lógica constituyen un marco teórico muy adecuado para insertar en él problemas de planificación forestal.

Finalmente, en el último apartado del artículo se muestra cómo la programación compromiso no presenta ventajas con respecto a la programación por metas desde un punto de vista de gestión de los recursos forestales. Sin embargo, cuando el enfoque compromiso se conecta convenientemente con la optimización utilitaria, puede convertirse en un instrumento importante para valorar activos forestales de uso múltiple.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, J. C. (1992): «Multiobjective regional forest planning using the noninferior set estimation (NISE) method in Tanzania and the United States». *Forest Science*, 32, 517-533.
- ARP, P. A., y LAVIGNE, D. R. (1982): «Planning with goal programming: A case study for multiple-use of forested land». *Forestry Chronical*, 58, 225-232.
- ARTHUR, J. L., y RAVINDRAN, A. (1978): «An efficient goal programming algorithm using constraint partitioning and variable elimination». *Management Science*, 24, 867-868.
- ARTHUR, J. L.; RAVINDRAN, A., y PAGP, A. (1980): «Partitioning algorithm for (linear) goal programming problems». *ACM Transactions Mathematical Software*, 6, 378-386.
- BALLESTERO, E., y ROMERO, C. (1991): «A theorem connecting utility function optimization and compromise programming». *Operations Research Letters*, 10, 421-427.
- BALLESTERO, E., y ROMERO, C. (1993a): «Weighting in compromise programming: A theorem on shadow prices». *Operations Research Letters*, 13, 325-329.
- BALLESTERO, E., y ROMERO, C. (1993b): «Economic optimization by compromise programming: The joint production model». *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2, 65-72.
- BARE, B., y MENDOZA, G. (1988): «Multiple objective forest land management planning: An illustration». *European Journal of Operational Research*, 34, 44-55.

- BELL, D. E. (1977): «A decision analysis of objectives for a forest pest problem». En: Bell, D. E.; Keeney, R. L., y Raiffa, H. (eds.). *Conflicting objectives in decisions*. John Wiley & Sons, Chichester, capítulo 18.
- BERTIER, P., y MONTGOLFIER, J. (1974): «On multicriteria analysis: An application to a forest management problem». *Metra*, 13, 33-45.
- BOTTOMS, K. E., y BARTLETT, E. T. (1975): «Resource allocation through goal programming». *Journal Range Management*, 28, 442-447.
- CHANG, S. J., y BUONGIORNO, J. (1981): «A programming model for multiple use forestry». *Journal of Environmental Management*, 23, 41-54.
- CHARNES, A., y COOPER, W. W. (1961): *Management models and industrial applications of linear programming*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W., y FERGUSON, E. (1955): «Optimal estimation of executive compensation by linear programming». *Management Science*, 1, 138-151.
- COHON, J. L. (1978): *Multiobjective programming and planning*. Academic Press. Nueva York.
- DE KLUYVER, C. A.; DAELLENBACH, H. G., y WHYTE, A. G. D. (1980): «A two-stage, multiple objective mathematical programming approach to optimal thinning and harvesting». *Forest Science*, 26, 674-686.
- DYER, A. A.; HOF, J. G.; KELLY, J. W.; CRIM, S. A., y ALWARD, G. S. (1979): «Implications of goal programming in forest resource allocation». *Forest Science*, 25, 535-543.
- DYER, A. A.; HOF, J. G.; KELLY, J. W.; ALWARD, G. S., y CRIM, S. A. (1983): «Implications of goal programming in forest resource allocation: A reply». *Forest Science*, 29, 837-840.
- FIELD, D. B. (1973): «Goal programming for forest management». *Forest Science*, 19, 125-135.
- FIELD, R. C.; DRESS, P. E., y FORTSON, J. C. (1980): «Complementary linear and goal programming procedures for timber harvests scheduling». *Forest Science*, 26, 121-133.
- FREIMER, M., y YU, P. L. (1976): «Some new results on compromise solutions for group decision problems». *Management Science*, 22, 688-693.
- HALLEFJORD, Å.; JÖRNSTEN, K., y ERIKSSON, O. (1986): «A long range forestry planning problem with multiple objectives». *European Journal of Operational Research*, 26, 123-133.
- HOTVEDT, J. E. (1983): «Application of linear goal programming to forest harvest scheduling». *Southern Journal of Agricultural Economics*, 15, 103-108.

- HOTVEDT, J. E.; LEUSCHNER, W. A., y BUHYOFF, G. J. (1982): «A heuristic weight determination procedure for goal programs used for harvest scheduling models». *Canadian Journal of Forestry*, 12, 292-298.
- IGNIZIO, J. P. (1976): *Goal programming and extensions*. Lexington Books, Massachusetts.
- IGNIZIO, J. P., y PERLIS, J. H. (1979): «Sequential linear goal programming: Implementation via MPSX». *Computers & Operations Research*, 6, 141-145.
- KAHALAS, H., y GROVES, D. L. (1978): «Modeling for organizational decision-making: Profit vs social values in resource management». *Journal of Environmental Management*, 6, 73-84.
- KAO, C., y BRODIE, J. D. (1979): «Goal programming for reconciling economic, even flow and regulation objectives in forest harvest scheduling». *Canadian Journal of Forest Research*, 9, 525-531.
- KEENEY, R. L., y RAIFFA, H. (1976): *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- LEE, S. M. (1972): *Goal programming for decision analysis*. Auerbach Publishers, Philadelphia.
- MITCHELL, B. R., y BARE, B. B. (1981): «A separable goal programming approach to optimizing multivariate sampling designs for forest inventory». *Forest Science*, 27, 147-162.
- PORTERFIELD, R. L. (1976): «A goal programming model to guide and evaluate tree improvement programs». *Forest Science*, 22, 417-430.
- REHMAN, T., y ROMERO, C. (1983): «The application of the MCDM paradigm to the management of agricultural systems: Some basic considerations». *Agricultural Systems*, 41, 239-255.
- RITTERS, K.; BRODIE, J. D., y KAO, C. (1982): «Volume versus value maximization illustrated for Douglas-Fir with thinning». *Journal of Forestry*, 80, 86-89 y 107.
- ROMERO, C. (1991a): *Handbook of critical issues in goal programming*. Pergamon Press, Oxford.
- ROMERO, C. (1991b): «On misconceptions in goal programming». *Journal of the Operational Research Society*, 42, 927-928.
- SCHULER, A., y MEADOWS, J. C. (1975): «Planning resource use on national forests to achieve multiple objectives». *Journal of Environmental Management*, 3, 351-366.
- SCHULER, A. T.; WEBSTER, H. H., y MEADOWS, J. C. (1977): «Goal programming in forest management». *Journal of Forestry*, 75, 320-324.
- SIMON, H. A. (1955): «A behavioral model of rational choice». *Quarterly Journal of Economics*, 69, 99-118.
- SIMON, H. A. (1957): *Models of man*. John Wiley & Sons, Nueva York.

- SIMON, H. A. (1979): «Rational decision making in business organizations». *American Economic Review*, 69, 493-513.
- SPRONK, J. (1981): *Interactive multiple goal programming*. Martinus Nijhoff Publishing, Boston.
- STEUER, R. E. (1992): *Manual for the ADBASE multiple objective linear programming package*. College of Business Administration. The University of Georgia.
- STEUER, R. E., y SCHULER, A. T. (1978): «An interactive multiple objective linear programming approach to a problem in forest management». *Operations Research*, 26, 254-269.
- TEETER, L. D., y DYER, A. A. (1986): «A multiattribute utility model for incorporating risk in fire management planning». *Forest Science*, 32, 1032-1048.
- WALKER, H. D. (1985): «An alternative approach to goal programming». *Canadian Journal of Forest Research*, 15, 319-325.
- YU, P. L. (1973): «A class of solutions for group decision problems». *Management Science*, 19, 936-946.
- ZELNY, M. (1973): «Compromise programming». En: Cochrane, J. L., y Zeleny, M. (eds.). *Multiple criteria decision making*. University of South Carolina Press, Columbia, 262-301.
- ZELNY, M. (1974): «Compromise programming and the method of the displaced ideal». *Computers & Operations Research*, 1, 479-496.
- ZELNY, M. (1982): *Multiple criteria decision making*. McGraw-Hill, Nueva York.

Palabras clave: Planificación de recursos forestales, análisis multicriterio.

RESUMEN

La planificación de los recursos forestales es un problema inherentemente multicriterio, pues los espacios forestales son sistemas que pretenden alcanzar objetivos de naturaleza muy diversa (económicos, ambientales, sociales, etc.) que usualmente entran en conflicto. En este artículo se pretende dar una panorámica de las ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos multicriterio en el campo forestal. Del análisis efectuado parece deducirse una superioridad de los enfoques satisficentes, basados en metas para problemas de gestión forestal y de la programación compromiso para problemas de valoración de activos forestales.

RÉSUMÉ

La planification de ressources forêtières est un problème inhérent au multicritère, car les espaces forêtières son des systèmes qui prétendent des objectifs très divers (éco-

nomiques, ambiens, sociaux, etc.) qui sont en conflit généralement. Ce travail prétend montrer les avantages et les inconvénients des différentes méthodes multicritère dans le domaine forestier. On peut déduire de l'analyse effectuée la supériorité des méthodes qui se basent en buts pour les problèmes de gestion forestières et en programmation compromis dans le cas des problèmes de valoration d'actifs forestiers.

SUMMARY

The management of forestry resources is a clear multicriteria problem. In fact, forestry spaces are systems which pretend to achieve objectives of very different nature such as: economic, environmental, social, etc. This paper aims to provide an overview of the main pros and cons of the different multicriteria approaches when are applied to the forestry field. From the analysis undertaken can be deduced a certain superiority of the satisficing methods based in goals for forestry management problems and of compromise programming for the appraisal of forestry assets.