





## **Valoración agraria multicriterio en un entorno con escasa información**

AZNAR BELLVER, JERÓNIMO (\*), GUIJARRO MARTÍNEZ, FRANCISCO (\*\*), Y MORENO JIMÉNEZ, JOSÉ MARÍA (\*\*\*)

(\**Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, (46022) Valencia (Spain).* (\*\*\*)*Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Zaragoza. Gran Vía 2, (50005) Zaragoza (Spain).*

E-mail: (\*)[jaznar@esp.upv.es](mailto:jaznar@esp.upv.es); (\*\*) [fraguima@upvnet](mailto:fraguima@upvnet); (\*\*\*) [moreno@unizar.es](mailto:moreno@unizar.es)

### RESUMEN

El presente trabajo presenta un nuevo procedimiento de valoración agraria multicriterio (MAVAM), especialmente diseñado para situaciones en las que se dispone de escasa información, cuantificada o no, acerca de los elementos considerados. El procedimiento propuesto, válido para trabajar en decisiones individuales y colectivas, pretende capturar e incorporar en el proceso de valoración, tanto la información objetiva asociada a los aspectos tangibles del problema como el conocimiento subjetivo del mismo vinculado al factor humano. Para ello, se combinan en un modelo de regresión dos de las técnicas de decisión multicriterio más extendidas en la práctica: el proceso analítico jerárquico (AHP) y la programación por metas (GP). La primera permite capturar, mediante la utilización de comparaciones pareadas, la información tangible e intangible derivada de los elementos conocidos. La segunda, además de proporcionar una estimación bastante robusta del modelo de regresión posibilita la integración en el proceso de valoración de la escasa información existente y la actitud personal ante la valoración. La metodología propuesta se ilustra mediante su aplicación a un caso particular de valoración de un activo agrario ubicado en la comarca de la Ribera de Valencia (España).

*Palabras clave:* Valoración, Agricultura, Decisión Multicriterio, Proceso Analítico Jerárquico (AHP), Programación por Metas, Regresión.

### **Multicriteria agricultural valuation in an environment with scarce information**

#### ABSTRACT

This paper presents a new multicriteria agricultural valuation method (MAVAM) designed specifically for situations in which there is only limited information, whether quantified or not, with respect to the elements being considered. The proposed procedure, valid for working in both individual and collective decision-making processes, aims to capture and incorporate into the valuation process both the objective information associated with the tangible aspects of the problem, as well as the subjective knowledge of that valuation process linked to the human factor. To that end, it combines in one regression model two of the most popular multicriteria decision-making techniques applied in practice: the analytical hierarchy process (AHP) and goal programming (GP). The first of these allows us to capture, by way of the use of paired comparisons, the tangible and intangible information derived from the known elements. The second, in addition to providing a fairly robust estimation of the regression model, makes it possible to integrate into the valuation process both the limited information that exists and the personal attitude adopted with respect to that valuation. The methodology is illustrated by way of its application to the particular case of valuing an agricultural asset located in the Ribera e Valencia rural district of Spain.

*Keywords:* Valuation, Agricultural, Multicriteria Decision Making, Analytic Hierarchy Process, Goal Programming, Regression Analysis.

JEL classification: I0, J2, J3, J7

Artículo recibido en Julio de 2006 y aceptado para su publicación en Marzo de 2006.

Artículo disponible en versión electrónica en la página [www.revista-eea.net](http://www.revista-eea.net), ref.: e-25209.

## 1. INTRODUCCIÓN

En lenguaje coloquial se entiende por valorar la fijación o determinación del precio de un activo. Esta interpretación del concepto de valor asociado a su aspecto más economicista es la que ha venido siguiéndose en el enfoque tradicional de ciencia, basado en el paradigma de la racionalidad sustantiva (Alonso e Iruretagoyena, 1995; Caballer 1998; Ballester y Rodríguez, 1999; Alcázar, 2003). No obstante, desde mediados de los setenta (siglo XX), y en especial con la aparición de los nuevos paradigmas decisionales (Moreno-Jiménez *et al.*, 1999; 2001; Moreno-Jiménez, 2003), cuando se emprende la valoración de algún activo se constata la necesidad de tener en cuenta otra serie de aspectos, muchos de ellos intangibles, que no tienen una traslación inmediata a términos monetarios o cuantitativos en general.

Frente al *reduccionismo economicista* de la valoración tradicional, en los últimos años se está buscando, en consonancia con las más recientes tendencias ambientalistas, un planteamiento *holístico* de los procesos de valoración que permita considerar e incorporar en los procesos decisionales todos los actores y los atributos relevantes en la resolución del problema, así como sus interdependencias e interrelaciones.

La valoración de los atributos relevantes de un problema es uno de los tópicos que más interés científico está despertando (Keeney, 1992, 1996; Saaty, 1996). En 1991, la Agencia de Protección Ambiental Americana reunió a un grupo multidisciplinar de expertos (economistas, ecologistas y de ciencias sociales) para analizar la situación de los métodos de valoración, en especial los económicos.

El foro prestó especial atención al problema de valoración del ecosistema desde la perspectiva de los diferentes actores que intervienen en el proceso de resolución. Su conclusión fue que no era posible desarrollar una definición única de valor y que el objetivo debería ser un mejor conocimiento del proceso de valoración integral seguido, profundizando para ello en la forma de estructurar las relaciones existentes entre los distintos conceptos de valor considerados. Para ello, sugirió el estudio de casos concretos y la aplicación de protocolos que mejorasen los estudios de valoración (Moreno-Jiménez, 1997).

En la actualidad, la valoración de cualquier bien está estrechamente relacionada con el conocimiento<sup>1</sup> que sobre el problema proporcionan los individuos participantes en la misma. Fijados los aspectos o atributos relevantes del proceso de valoración, se mide la relación e intensidad de estos atributos en cada una de las alternativas o activos considerados. De estas relaciones, y de los valores conocidos, se derivará el valor buscado por desconocido. Valor y conocimiento son inseparables. Su conexión vital es la acción, por lo que uno de los objetivos de los nuevos métodos de valoración

---

<sup>1</sup> Se entiende por conocimiento la interpretación de la información en un dominio específico y con un fin determinado (Moreno-Jiménez y Mata, 1992).

es ayudar a ampliar el conocimiento y relacionarlo con los valores para establecer prioridades asociadas a las actuaciones (Saaty, 1996).

Respecto a la valoración de las consecuencias asociadas a los aspectos relevantes, conviene señalar que, en general, se distinguen dos tipos de atributos: tangibles e intangibles. En el primer caso, existen escalas de intervalo o de razón con las que valorarlos, mientras que en el segundo, la valoración es mucho más compleja y existen diferentes aproximaciones para la misma (Moreno-Jiménez, 1997).

Las valoraciones resultantes (Moreno-Jiménez, 1998) no son algo abstracto y etéreo, sino algo real y concreto que: (i) reflejan nuestra propia esencia, nuestras preferencias, opiniones, gustos y acciones (conocimiento acumulado o previo); (ii) ayudan a identificar e interpretar las relaciones y propiedades (facilitan el proceso de descubrimiento); (iii) miden las intensidades de las mismas y en las mismas (favorecen la participación); (iv) permiten a los individuos la incorporación al modelo del conocimiento que paulatinamente se va adquiriendo en la resolución de problemas (retroalimentación) y (v) proporcionan ideas para detectar oportunidades de decisión y crear, con ello, nuevas y mejores alternativas (creatividad).

Los valores son el punto de partida de cualquier procedimiento de priorización. Keeney (1996) señala que a la hora de priorizar o seleccionar entre un conjunto de opciones, no hay que limitarse, como ocurría con las aproximaciones tradicionales en valoración, al análisis de las alternativas, sino que el estudio debe dirigirse hacia la interpretación de las valoraciones que se les asignan (pensamiento orientado a los valores). Por todo ello, se requiere una metodología que permita capturar el valor de las cosas, considerado desde las diferentes visiones, e integrarlo en un proceso de decisión en armonía con nuestros principios fundamentales (Saaty, 1996).

En este sentido, el procedimiento de valoración propuesto (MAVAM) ha sido diseñado a medida para entornos en los que se dispone de escasa información y se contemplan aspectos intangibles. La cuantificación de lo intangible se efectúa mediante el proceso analítico jerárquico (AHP), mientras que la integración en el proceso de valoración de la escasa información existente y la actitud personal ante la valoración se realiza a través de la programación por metas (GP), que es utilizada para estimar el modelo de regresión.

En la literatura reciente se pueden encontrar abundantes referencias donde se plantea la combinación de AHP y GP en la resolución de diferentes problemas decisionales (Schniederjans *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 1999; Badri, 2001; Yu, 2002; Yurdakul, 2004). En este caso, la finalidad es el extraer conocimiento del proceso de valoración de un bien, mediante la combinación de las dos técnicas multicriterio. El indicador monetario asignado al bien objeto de valoración es un valor de referencia relativo, obtenido en función de la información disponible. No es un valor monetario en el sentido tradicional, esto es, evaluado en términos absolutos con validez universal. No obstante, el procedimiento seguido sí es válido en otras situaciones con las mismas características (escasa información tangible e intangible).

La aplicación de este enfoque al caso de la valoración agraria se ha estructurado como sigue. La Sección 2 recoge los contenidos necesarios para la propuesta efectuada. La Sección 3 presenta el nuevo procedimiento de valoración (MAVAM). La Sección 4 incluye la aplicación de este procedimiento a la valoración de un activo agrario y, por último, la Sección 5 recoge las conclusiones más destacadas del trabajo.

## 2. VALORACIÓN

La valoración de todo bien depende del conocimiento que los individuos tienen del contexto y del problema, así como de las percepciones de la realidad de todos los implicados en el proceso de valoración. Tanto el conocimiento (interpretación de la información) como la percepción de la realidad son eminentemente subjetivos, pues vienen determinadas en función de los actores (Myrdal, 1978, p.778). De ahí que lo subjetivo e intangible debe ser incorporado de forma explícita en los procesos valorativos.

En el campo de las ciencias sociales y más aún en el de valoración de bienes, muy pocos autores han diferenciado entre información objetiva y subjetiva. Ha sido a partir de los 70, fruto del trabajo de conductivistas y psicólogos del conocimiento, cuando se ha planteado explícitamente la necesidad de incorporar la componente subjetiva asociada al valor de las cosas. Pero, ¿es posible incorporar lo subjetivo de forma “científica”, cuando la ciencia tradicional se ciñe a lo objetivo? Keeney (1992, p.154) señala que las valoraciones son subjetivas pero que el desarrollo sistemático de un modelo para los valores puede y debe ser objetivo y científico.

Cuando se quieren obtener las prioridades que un individuo asigna a un conjunto de elementos a partir de las valoraciones asignadas a los mismos, según sus juicios y preferencias, es preciso establecer un conjunto de procedimientos y herramientas que permitan aprovechar el poder intrínseco de la mente para conectar las experiencias e intuiciones con los objetivos fijados. Se requiere, como señala Saaty (1994), una nueva ciencia de juicios y prioridades que a partir de las valoraciones dadas por los individuos, posibilite alcanzar la universalidad y la objetividad. De esta forma, se podrá lograr un tratamiento objetivo de lo subjetivo (Moreno-Jiménez, 2003).

### 2.1 Métodos de Valoración

Respecto de la taxonomía de los diferentes métodos basados en valoraciones económicas de activos, la literatura ha venido manejando la clasificación tradicional de *métodos comparativos* y *métodos analíticos* (Alonso e Iruretagoyena, 1995; Caballer, 1998; Ballester y Rodríguez, 1999). En el primero de los grupos, se incluyen todos aquellos métodos que explican el precio de un *activo problema* empleando otros activos de similares características, y para los que sí se conoce el precio. Son precisamente los atributos de los activos, más conocidos en el ámbito valorativo como

signos externos o variables explicativas, los que determinan la función de valoración aplicable al activo problema. Si bien dicha función tiene carácter generalista y podría igualmente aplicarse sobre activos similares para los que se desconoce el precio. Entre las técnicas comparativas más empleadas se encuentran la de los *métodos sintéticos*, el *método de las funciones de distribución beta* (Ballestero, 1973), y la *regresión* en cualquiera de sus variantes (Murray, 1969). Una característica común a todos ellos es que la función de valoración puede considerar una o más variables, y en este último caso los modelos pueden adoptar diferentes formas funcionales.

Los métodos analíticos se caracterizan por la utilización de técnicas adaptativas, heredadas de las matemáticas actuariales, para la que no se precisa de comparación con otros activos, pero sí de la estimación de ingresos y costes presentes y futuros vinculados al activo problema. Así, pueden englobarse en este grupo el método clásico de *descuento de flujos de caja*, el del *coste de reposición*, el del *coste del viaje* (Clawson y Knetsch, 1966), así como también puede incluirse en este grupo el *método de valoración contingente* (Ciriacy-Wantrup, 1952; Davis, 1963) y el *método del valor hedónico* (Griliches, 1971; Rosen, 1974), entre otros.

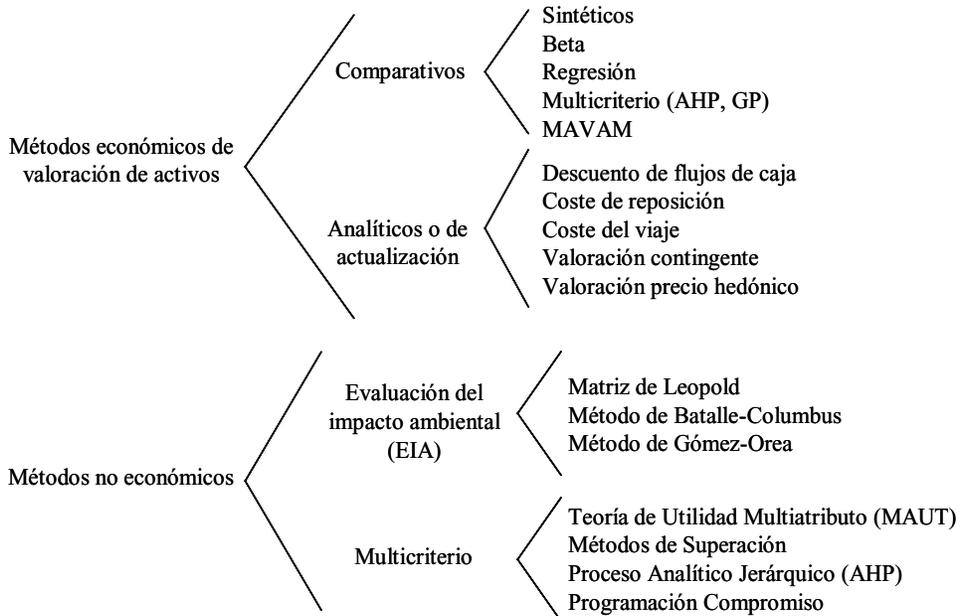
En otro ámbito de valoraciones, las hay que pretenden encontrar, no el valor de un activo sino el valor del impacto ambiental provocado por las distintas actividades productivas, encontramos también dos tipos de métodos: (i) los denominados de *evaluación del impacto ambiental*, como son la *matriz de Leopold* (Leopold *et al.*, 1971), el *método de Batalle-Columbus* (Batelle-Columbus, 1972) y el *método de Gómez-Orea* (Gómez-Orea, 1988, 1992) y (ii) algunos de los métodos de decisión multicriterio como son la teoría de la utilidad multiatributo o MAUT (Keeney y Raiffa, 1976), el proceso analítico jerárquico (AHP) de Saaty (Saaty, 1980), los métodos de superación o MS (Roy, 1968, 1985) y la programación compromiso (Romero, 1997).

La incorporación y combinación de diferentes técnicas multicriterio a la metodología valorativa viene dada por una doble vía. Por una parte, como métodos con identidad propia encuadrados dentro del grupo de métodos comparativos, como es el caso de la *suma ponderada* (Barba-Romero y Pomerol, 1997), el *proceso analítico jerárquico* (Saaty, 1980), la *programación por metas* (Charnes *et al.*, 1955) y la combinación de estos dos últimos. Por otro lado, como sucede con el *método de Diakoulaki* (Diakoulaki *et al.*, 1992), algunas técnicas multicriterio son utilizadas como complementarias de algunos métodos comparativos. Aplicaciones de estos métodos a la valoración pueden verse en Aznar y Caballer (2005), Aznar y Guijarro (2005a, 2005b, 2005c), Aragonés-Beltrán *et al.* (2007) y García-Melón *et al.* (2007).

Esta forma de proceder permite incorporar al proceso valorativo la información de carácter subjetivo, transformándola mediante un proceso racional y estructurado que permite su adecuación a los requerimientos inherentes a cada método de valoración "tradicional", ya que éstos, de por sí, únicamente manejan información cuantificable numéricamente. En la Figura 1 aparece la clasificación de los métodos de valoración detallada en los puntos anteriores.

En este trabajo a diferencia de las anteriores aplicaciones de los métodos multicriterio dichas anteriormente pero siguiendo la línea desarrollada por ellos se presenta una metodología combinada compuesta por el proceso analítico jerárquico (Saaty, 1980) y la programación por metas (Charnes *et al.*, 1955).

**Figura 1. Taxonomía de los métodos de valoración**



## 2.2 Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y Programación por Metas (GP)

El proceso analítico jerárquico -AHP- (Saaty, 1980; Moreno-Jiménez, 2002) es una técnica multicriterio discreta que permite obtener en situaciones con múltiples escenarios, actores y criterios (tangibles e intangibles) las prioridades asociadas a las alternativas comparadas, prioridades medidas en una escala absoluta.

La metodología de AHP consta de cuatro etapas: (i) modelización; (ii) valoración; (iii) priorización y (iv) síntesis. En la primera etapa se construye una jerarquía en la que se incluyen los aspectos relevantes del problema (misión, criterios, subcriterios, ..., atributos y alternativas). En la segunda se incorporan las preferencias de los individuos mediante comparaciones pareadas en las que los juicios emitidos pertenecen a la escala fundamental de Saaty. La tercera etapa proporciona mediante cualquiera de los procedimientos de priorización existentes (autovector, media geométrica, ...) las

*prioridades locales*, o prioridades<sup>2</sup> de los elementos que cuelgan de un nodo común respecto a éste, y las *prioridades globales*, o prioridades de los elementos respecto a la meta. La cuarta etapa, sintetiza mediante algún procedimiento de agregación las prioridades globales de las alternativas para los diferentes caminos que las unen con la meta o misión, para obtener las *prioridades totales* de las alternativas. Además, AHP permite evaluar la inconsistencia del decisor a la hora de emitir los juicios (Aguarón y Moreno-Jiménez, 2003).

La segunda de las técnicas multicriterio empleadas, la programación por metas –GP– (Charnes *et al.*, 1955), se encuadra entre las aproximaciones que buscan la satisfacción de metas. La expansión y popularización de esta técnica, que constituye la dimensión operativa de la filosofía satisfaciente (Simon, 1955), se produjo en los 90 (Romero, 1991) y, en la actualidad es junto a AHP una de las aproximaciones multicriterio más utilizadas en la práctica.

En lo que sigue se va a aplicar una de las variantes existente de GP, el modelo convencional conocido como Programación por Metas Ponderadas en norma  $L_1$  (Charnes *et al.*, 1955), cuya estructura es la siguiente.

$$\begin{aligned} \text{Min}_x \quad z_{[1]} &= \sum_{j=1}^r \lambda_j (d_j^- + d_j^+) \\ z_j(x) + d_j^- - d_j^+ &= \hat{z}_j, \quad j = 1, \dots, r \\ g_i(x) &\leq 0, \quad i = 1, \dots, m \\ x &\geq 0, d_j^- \geq 0, d_j^+ \geq 0 \end{aligned} \quad [1]$$

donde se contemplan  $r$  restricciones débiles para los metas consideradas ( $\hat{z}_j$ ) y  $m$  restricciones fuertes que determinan la región de factibilidad ( $g_i(x) \leq 0$ ).

En el modelo convencional de GP, se supone que tanto los objetivos como las restricciones son lineales en las variables consideradas.

La variante MINMAX emplea la métrica  $L_\infty$ , con la estructura de [2], donde se minimiza la desviación máxima en valor absoluto:

---

<sup>2</sup> En general, se entiende por prioridad una unidad abstracta válida para cualquier escala en la que se integran las preferencias que el individuo tiene al comparar aspectos tangibles e intangibles.

$$\begin{aligned}
 \text{Min}_x \quad & z_{[\infty]} = d_{MAX} \\
 & z_j(x) + d_j^- - d_j^+ = \hat{z}_j, \quad j = 1, \dots, r \\
 & d_j^- + d_j^+ \leq d_{MAX}, \quad j = 1, \dots, r \\
 & g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m \\
 & x \geq 0, d_j^- \geq 0, d_j^+ \geq 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

A continuación, se va a seguir un procedimiento de valoración agraria que partiendo del modelo de regresión con término independiente tradicionalmente considerado en este campo (Caples *et al.*, 1997), utiliza dos técnicas multicriterio para especificar el modelo (AHP y GP). La primera (AHP) permite incorporar lo tangible junto a lo intangible mediante la utilización de comparaciones pareadas, mientras que la segunda permite integrar en el proceso valorativo tanto la totalidad de la escasa información disponible como la actitud ante la valoración del individuo (tasador o valorador).

### 3. MÉTODO AGRARIO DE VALORACIÓN MULTICRITERIO (MAVAM)

En este apartado se presenta el nuevo método de valoración multicriterio que combina AHP y GP, y al que para simplificar se denomina método de valoración agraria multicriterio (MAVAM). La idea subyacente es combinar la modelización jerárquica y la consideración de intangibles del proceso analítico jerárquico con la filosofía satisfactoria de la programación por metas reflejada en la utilización de las normas  $L_1$  y  $L_\infty$  para incorporar, respectivamente, la escasa información (objetiva) existente asociada a todos los elementos conocidos del problema (norma  $L_1$ ), y la actitud ante la valoración del tasador (subjetiva) a la hora de ponderar la información más dispar del conjunto de valores monetarios conocidos (norma  $L_\infty$ ).

La combinación de las técnicas AHP y GP ya ha sido tratada con antelación en la literatura científica, como se puso de manifiesto en el primer apartado de este trabajo, por lo que a continuación se verá exclusivamente su desarrollo y aplicación en el modelo de regresión utilizado para obtener las valoraciones, centrándonos en la potencialidad de su combinación y los efectos positivos de su sinergia.

El método de valoración MAVAM puede sintetizarse en los siguientes tres pasos: **Paso 1:** Utilización de AHP para cuantificar la información subjetiva asociada a los atributos intangibles.

En este paso el experto comienza fijando las variables explicativas relevantes (*atributos*) a la hora de establecer el precio del bien en estudio, e identificando los testigos o comparables (*alternativas*) que serán utilizados como referencia en el problema de valoración. Entre los comparables se incluirá también el activo problema, esto es, aquél del que se requiere una valoración. A continuación, mediante el uso de

las matrices de comparación pareadas y la escala fundamental de Saaty, el experto puede cuantificar el grado de presencia o ausencia de determinada característica o variable explicativa en el conjunto de activos.

En valoración agraria, AHP permite la incorporación de información subjetiva relativa a diferentes aspectos relevantes de la realidad como pueden ser: la calidad del suelo de las fincas agrarias; la idoneidad de la disposición del terreno o los cultivos; el sistema de riego, las características climáticas, etc. Las variables explicativas que sean de naturaleza objetiva y cuantitativa podrán ser comparadas sin la necesidad de hacer uso de las matrices de comparación pareadas.

**Paso 2:** Utilización de un modelo de regresión “relativo” para obtener la valoración monetaria del activo en estudio. En este paso se utiliza GP para estimar los parámetros del modelo de regresión en dos posibles escenarios, según se utilice la norma  $L_1$  o la norma  $L_\infty$  al establecer la función objetivo (modelos [1] y [2] respectivamente). En este caso la relatividad del modelo de regresión viene dada por la “relatividad” de los valores asignados a las variables explicativas, pues éstos han sido calculados en el Paso 1 utilizando AHP.

**Paso 3:** Obtención de la valoración monetaria final del activo problema mediante una combinación convexa de las valoraciones obtenidas en el Paso 2 con las normas  $L_1$  y  $L_\infty$ . La solución en norma uno incorpora la escasa información disponible, mientras que la norma infinito captura la actitud subjetiva ante el proceso de valoración (cuanto más se separa el valor de un activo del conjunto de activos “homogéneos” conocidos, mayor es la componente subjetiva en la valoración). Además, esta norma infinito permite, caso de que así ocurra, tener en cuenta la proximidad del bien que se está valorando a uno de los bienes de referencia que no sigue el patrón mayoritario. Su resultado viene dado por la siguiente expresión:

$$MAVAM(X) = (1 - \alpha)V_1(X) + \alpha V_\infty(X) \quad \alpha \in [0,1], \quad [3]$$

siendo  $V_1(X)$  y  $V_\infty(X)$  los valores del bien en norma 1 e infinito, respectivamente.

Para obtener el valor del activo, se adapta el modelo [1] al ámbito valorativo. Así, siendo:  $\hat{z} = [\hat{z}_1, K, \hat{z}_r]$  el *vector meta* que recoge el precio observado para cada uno

de los  $r$  activos testigos,  $z(x^j) = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k x_k^j$   $j = 1, \dots, r$  la función de valoración a estimar, donde la aportación de cada criterio relevante adopta la forma aditiva, siendo  $x_k^j$  el valor relativo (obtenido con AHP) en el criterio  $k$ -ésimo del activo  $j$ -ésimo, y  $a_k$  el parámetro que se va a estimar mediante GP.

Respecto al parámetro  $\lambda_j$  considerado en el modelo [1], señalar que éste habitualmente recoge dos tipos de efectos. Por un lado, la importancia relativa dada a los

diferentes activos tomados como testigos<sup>3</sup> y, por otro, la influencia del factor escala. En nuestro caso, todos los activos de referencia tienen la misma importancia. Además sus valores son muy próximos por lo que no es necesario llevar a cabo el proceso de normalización, tomándose en este caso  $\lambda_j = 1$ .

La utilización de la norma  $L_1$ , o distancia Manhattan, ha sido justificada en diferentes ocasiones en la literatura como procedimiento para incorporar todas las opiniones y suavizar las posturas discrepantes (Hunt *et al.*, 1974; Rosenberg y Carlson, 1977). Son numerosos los trabajos de selección de activos urbanos (Schniederjans *et al.*, 1995) y valoración (Caples *et al.*, 1997; Kettani *et al.*, 1998) que optan por la distancia Manhattan, incluso en los problemas donde alguna o todas las variables vienen determinadas de forma difusa (Tanaka *et al.*, 1982), o de forma imprecisa (Aznar y Guijarro, 2007a, 2007b).

En general, la solución en norma  $L_1$  puede no ser única, en cuyo caso habría que recurrir a otro tipo de consideraciones de segundo orden específicas del problema<sup>4</sup>. De todas formas no es nuestra situación, ya que la solución del caso considerado en la Sección 4 es única.

El modelo propuesto no es un modelo explicativo en sentido estricto como sucede con los de regresión tradicionales, ya que los valores de las variables explicativas vienen evaluados en términos relativos, conforme a las valoraciones conocidas. Lo que se busca es aprovechar la escasa información disponible. De ahí que el método desarrollado esté construido a medida para el problema en estudio y, por consiguiente, si se modificaran los escasos testigos de los que se parte, también se modificaría la función de valoración y, consecuentemente, el precio estimado para el activo problema. En cualquier caso, esto mismo ocurre con los modelos de valoración econométricos, cuya función de valoración depende del conjunto de testigos incluidos en la muestra.

En cuanto a la bondad de los diferentes modelos empleados en valoración, en lo que sigue se utilizará el *índice de adecuación* ( $I_a$ ) propuesto por Aznar y Guijarro (2005a). Su valor trata de enfrentar la solución obtenida mediante el modelo propuesto con la que se obtendría con una solución “ingenua” del problema. Esta última sería la que aplicaría el valorador cuando la única variable conocida para la muestra de testigos fuera el precio, de manera que el valor estimado para cualquier activo problema obtendría como el promedio entre el conjunto de testigos de la muestra.

El índice de adecuación se obtendrá a partir de la relación entre la suma de desviaciones de uno y otro modelo. Su valor viene dado en [4]:

---

<sup>3</sup> Similar al procedimiento seguido en los modelos geoestadísticos de valoración (Montero, 2004).

<sup>4</sup> Véase el trabajo de Chandran *et al.* (2005).

$$I_a = \left(1 - \frac{z}{z'}\right) \times 100 \quad [4]$$

donde  $z$  recoge la suma del conjunto de variables de desviación para el modelo de valoración propuesto ( $z = \sum_{j=1}^r (d_j^- + d_j^+)$ ) en el caso de la norma 1) y  $z'$  es la suma de errores absolutos en el modelo *ingenuo* ( $z' = \sum_{j=1}^r |\hat{z}_j - \bar{z}|$ ), siendo  $\bar{z}$  el promedio de las valoraciones. De esta manera, el índice de adecuación puede fluctuar entre 0 y 100, con valores más próximos al límite superior cuanto más ajustado resulte el modelo.

#### 4. CASO PRÁCTICO

Siguiendo con el proceso secuencial de resolución propuesto en la Sección 3, se presenta en este apartado la aplicación de un caso real de valoración de una parcela agrícola en la comarca de la Ribera en Valencia (España).

##### Paso 1: Aplicación de AHP.

Enfrentados a dicha valoración se localizan, seis activos de referencia que han sufrido una transacción reciente. En inspección sobre el terreno de los activos de referencia y el activo a valorar se obtiene la información de la Tabla 1:

**Tabla 1. Información de partida con la que cuenta el experto**

Activos	Cultivo y variedad	Superficie (Has)	Edad árboles	Tipo de riego	Estado vegetativo	Calidad suelo	Expectativas	Valor (miles €/Ha)
A	Clementino de Nules	0,8	10	A manta	Bueno	Bueno	No	53
B	Clemenvilla	1,1	12	A manta	Excelente	Bueno	No	57
C	Clementino de Nules	0,5	8	A manta	Bueno	Regular	No	50
D	Clementino de Nules	0,65	22	A manta	Regular	Regular	Sí (medianas)	58
E	Clementino de Nules	0,4	15	A manta	Bueno	Regular	Sí (fuertes)	68
F	Clemenvilla	0,8	7	A manta	Regular	Bueno	No	52
X	Clementino de Nules	0,7	11	A manta	Muy bueno	Muy bueno	No	

donde el significado de los atributos relevantes es el siguiente:

*Cultivo y Variedad:* En todos los casos los activos testigos son parcelas de mandarinos clementinos, pero no de la misma variedad. Las parcelas A, C, D, E y G y la parcela que se está valorando X son variedad Clementina de Nules, la B y F son variedad Clemenvilla. Lo ideal sería contar con activos de referencia de la misma variedad que el activo a valorar, pero en la práctica valorativa la mayoría de las veces no es posible por lo que se utiliza aquello a lo que se tiene acceso, como sucede en este caso. A pesar de no coincidir exactamente el cultivo podemos considerarlo uniforme ya que las características finales de ambas variedades son muy parecidas.

*Superficie* (has). En este caso son parcelas muy similares en superficie y además representativas de la estructura minifundista de la zona por lo que como atributo relevante del precio no lo vamos a tener en cuenta.

*Edad árboles*. Atributo cuantificado, pero que también será incluido en el Paso 1 para obtener la prioridad de cada una de las parcelas consideradas. El motivo de no incluir la variable en su estado original en los modelos de programación por metas (Paso 2) está en la diferente dispersión que presentan las variables en su unidad de medida original y la dispersión en las prioridades de una variable cuantificada mediante AHP, lo que puede afectar a la relevancia de las variables explicativas y, por tanto, a su presencia en la función de valoración (efecto escala).

*Tipo de riego*: El riego puede ser en la zona el tradicional “a manta” o inundación o por goteo. Está claro que el tipo de riego influye en el precio. En este caso como en todos los activos considerados el riego es “a manta” no se considera un atributo a tener en cuenta.

*Estado vegetativo*: Atributo cualitativo a través de la cual se pretende obtener una representación de la capacidad productiva. Lo ideal sería disponer de la producción de cada una de las parcelas, al no tenerse esa información es por lo que se sule por la observación del estado vegetativo.

*Calidad del suelo*: Atributo cualitativo que influye en el precio de las parcelas. No es lo mismo disponer de un buen suelo agrícola que de uno regular o malo ya que estos últimos exigirán entre otras medidas una serie de correcciones edafológicas tanto en plantación como en cultivo que no exigen los primeros.

*Expectativas*: Con este atributo se pretende tener en cuenta aquellas circunstancias no agronómicas que influyen en el precio y que son debidas fundamentalmente a la posibilidad futura más o menos inmediata de pasar la parcela de ser suelo rústico a ser suelo urbano, bien por la proximidad a un núcleo urbano o a un polígono industrial.

*Valor*: Bajo este epígrafe aparece el precio en miles de euros de las transacciones correspondientes de los activos de referencia A a F. El valor del activo X es el que pretendemos calcular.

De los atributos incluidos en la Tabla 1, sólo aquellos que presentan diferencias entre los distintos activos (Edad árboles, Estado vegetativo, Calidad del suelo, Expectativas) van a ser empleados en la determinación del valor del activo, ya que su variabilidad explica la variación en los precios de los activos de referencia. La existencia de atributos relevantes (Cultivo y variedad, Superficie, Tipo de riego, etc.) que no se incluyen en el modelo funcional empleado en la determinación de la función del valor, es la que explica la existencia de un coeficiente independiente, ya que este sería el valor de las parcelas aunque los atributos relevantes considerados en la función fuesen nulos.

Por otro lado, si quisiéramos utilizar los métodos de valoración tradicionales, la información obtenida y presentada en la Tabla 1 no es suficiente ya que como

se sabe para la aplicación de dichos métodos es necesaria que la información sea cuantitativa, cosa que no ocurre en este caso, donde la mayoría de atributos relevantes son cualitativos y sólo tenemos cuantificadas la superficie de las parcelas y la edad de los árboles.

Mediante el método propuesto (MAVAM), sí podemos abordar la determinación del valor del activo X, ya que AHP permite cuantificar los atributos relevantes cualitativos y posteriormente mediante GP conseguir la función de valoración buscada. En el caso particular considerado, las distintas matrices de comparaciones pareadas de los activos con respecto a cada atributo y sus vectores propios, previa comprobación de su inconsistencia, vienen dados en el Apéndice 1. Las prioridades relativas de los activos, junto a sus valores monetarios vienen dados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Ponderación de las parcelas para cada atributo relevante**

Activos	Valor (miles €/Ha)	Edad árboles	Estado vegetativo	Calidad suelo	Expectativas
A	53	0,0546	0,1098	0,1533	0,0783
B	57	0,0767	0,4181	0,1328	0,1025
C	50	0,0408	0,0980	0,0498	0,0783
D	58	0,4679	0,0403	0,0627	0,2085
E	68	0,2255	0,0781	0,0559	0,4122
F	52	0,0505	0,0360	0,1817	0,0601
X	¿?	0,0841	0,2197	0,3637	0,0601

Debe resaltarse el hecho de que dos parcelas con idéntica valoración lingüística en alguna de sus variables explicativas, no necesariamente deben coincidir en la ponderación mediante AHP de dicha variable. Por ejemplo, el estado vegetativo de las parcelas A, C y E ha sido definido en la tabla 1 como “Bueno”. Sin embargo, al plantear las matrices de comparación pareadas y obtener el correspondiente vector de prioridades, obtienen coeficientes diferentes: 0’1098, 0’0980 y 0’0781, respectivamente. Esta diferente ponderación viene motivada por el proceso de comparaciones dos a dos entre las parcelas, que permite capturar las pequeñas diferencias que la definición de una escala lingüística no logra capturar.

**Paso 2:** Aplicación de GP.

A partir de la información de la Tabla 2, se calculan las soluciones de los modelos de GP en norma uno e infinito. En el primer caso el modelo ([5]) viene dado como:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_{[1]} &= \sum_{j=1}^6 (d_j^- + d_j^+) \\
 \text{s.a.} \\
 a_0 + a_1 * 0,0546 + a_2 * 0,1098 + a_3 * 0,1533 + a_4 * 0,0783 + d_1^- - d_1^+ &= 53.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,0767 + a_2 * 0,4181 + a_3 * 0,1328 + a_4 * 0,1025 + d_2^- - d_2^+ &= 57.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,0408 + a_2 * 0,0980 + a_3 * 0,0498 + a_4 * 0,0783 + d_3^- - d_3^+ &= 50.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,4679 + a_2 * 0,0403 + a_3 * 0,0627 + a_4 * 0,2085 + d_4^- - d_4^+ &= 58.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,2255 + a_2 * 0,0781 + a_3 * 0,0559 + a_4 * 0,4122 + d_5^- - d_5^+ &= 68.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,0505 + a_2 * 0,0360 + a_3 * 0,1817 + a_4 * 0,0601 + d_6^- - d_6^+ &= 52.000; \\
 d_j^-, d_j^+ &\geq 0, j = 1K 6 \\
 a_i &\text{ no restringido en signo} \\
 a_i &\geq 0, i = 1K 4
 \end{aligned}$$

[5]

donde  $a_i$  son los coeficientes del modelo de regresión relativo que se está empleando. El modelo estimado ( $z_{[1]} = 28,43$ ) viene dado en [6]:

$$z_{[1]}(X) = 43.398,46 + 3.442,01 * x_1 + 10.526,10 * x_2 + 27.051,81 * x_3 + 52.137,51 * x_4 \quad [6]$$

Puede comprobarse que esta función de valoración ([6]) estima de forma exacta el precio de los testigos B, C, D, E y F.

En el caso de la norma infinito, el modelo queda como:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_{[x]} &= d_{MAX} \\
 \text{s.a.} \\
 a_0 + a_1 * 0,0546 + a_2 * 0,1098 + a_3 * 0,1533 + a_4 * 0,0783 + d_1^- - d_1^+ &= 53.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,0767 + a_2 * 0,4181 + a_3 * 0,1328 + a_4 * 0,1025 + d_2^- - d_2^+ &= 57.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,0408 + a_2 * 0,0980 + a_3 * 0,0498 + a_4 * 0,0783 + d_3^- - d_3^+ &= 50.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,4679 + a_2 * 0,0403 + a_3 * 0,0627 + a_4 * 0,2085 + d_4^- - d_4^+ &= 58.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,2255 + a_2 * 0,0781 + a_3 * 0,0559 + a_4 * 0,4122 + d_5^- - d_5^+ &= 68.000; \\
 a_0 + a_1 * 0,0505 + a_2 * 0,0360 + a_3 * 0,1817 + a_4 * 0,0601 + d_6^- - d_6^+ &= 52.000; \\
 d_1^- + d_1^+ &\leq d_{MAX}; \\
 d_2^- + d_2^+ &\leq d_{MAX}; \\
 d_3^- + d_3^+ &\leq d_{MAX}; \\
 d_4^- + d_4^+ &\leq d_{MAX}; \\
 d_5^- + d_5^+ &\leq d_{MAX}; \\
 d_6^- + d_6^+ &\leq d_{MAX}; \\
 d_j^-, d_j^+ &\geq 0, j = 1K 6 \\
 a_i &\text{ no restringido en signo} \\
 a_i &\geq 0, i = 1K 4
 \end{aligned}$$

[7]

En este caso, el modelo resultante ( $z_{[\infty]} = 14,08$ ) viene dado en ([8]):

$$z_{[\infty]}(X) = 43.411,49 + 3.362,63 * x_1 + 10.528,34 * x_2 + 27.064,74 * x_3 + 52.181,31 * x_4 \quad [8]$$

**Paso 3:** Estimación del precio en el activo problema.

Sustituyendo los valores del activo problema (X) en la función obtenida con el modelo en norma 1, se obtiene el valor de éste por unidad de superficie:

$$V_{[1]}(X) = 43.398,46 + 3.442,01 * 0,0841 + 10.526,10 * 0,2197 + 27.051,81 * 0,3637 + 52.137,51 * 0,0601 = 58.972,75 \text{ €} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Si se emplea la función de valoración del modelo en norma infinito:

$$V_{[\infty]}(X) = 43.411,49 + 3.362,63 * 0,0841 + 10.528,34 * 0,2197 + 27.064,74 * 0,3637 + 52.181,31 * 0,0601 = 58.986,88 \text{ €} \cdot \text{ha}^{-1}$$

En general, la similitud entre las dos soluciones es tanto mayor cuanto más homogéneos son los testigos seleccionados. Si hubiera algún dato anómalo o poco homogéneo respecto de los demás, entonces la solución de ambos modelos podría diferir significativamente (véase el ejemplo incluido en Aznar y Guijarro, 2005a).

A partir de las estimaciones obtenidas con los dos modelos de programación por metas, podemos decir que el valor de la parcela X se mueve dentro del rango (58.972,75 - 58.986,88) € · ha<sup>-1</sup>, definido por la expresión:

$$\text{Valor de } X = (1 - \alpha)V_{[1]}(X) + \alpha V_{[\infty]}(X), \quad \alpha \in [0,1]$$

El experto puede utilizar  $\alpha$  para definir el valor de X en función de que considere que este es más similar a la media de los activos de referencia ( $\alpha = 0$ ) o bien que se aproxima más al testigo más distante de la muestra ( $\alpha = 1$ ).

Por lo tanto, mediante el método MAVAM propuesto se ha obtenido el valor de la unidad de superficie de un activo X partiendo de atributos relevantes cualitativos que han sido cuantificados en el propio método y de forma que el valor obtenido es una función de todos los atributos relevantes utilizados y de la importancia o ponderación de ellos. Además, se obtiene un rango de valor que permite al experto definir el valor final en función de que los atributos de X sean la media de los de referencia o se aproximen más al activo distante.

La bondad del resultado obtenido comparado con una solución *ingenua* se evidencia al calcular el índice de adecuación del mismo. Para la norma  $L_1$ , el valor del índice

de adecuación es de 99,90, esto es, 
$$I_a = \left(1 - \frac{z_{[1]}}{z'}\right) = \left(1 - \frac{28,43}{28.000}\right) * 100 = 99,90$$
, siendo  $z_{[1]}$  la distancia  $L_1$  al ideal con MAVAM; y  $z'$  la distancia  $L_1$  al ideal con el modelo ingenuo, esto es, la suma de desviaciones respecto de la media:

$$z' = |53.000 - 56.333,33| + |57.000 - 56.333,33| + |50.000 - 56.333,33| + \\ + |58.000 - 56.333,33| + |68.000 - 56.333,33| + |52.000 - 56.333,33| = 28.000$$

Para la norma  $L_\infty$ , el valor del índice de adecuación es de 99'95, donde  $z_{[\infty]}$  o distancia  $L_\infty$  al ideal con MAVAM es de 14,08.

## 5. CONCLUSIONES

La valoración de activos es una necesidad en todas las sociedades, pero con el desarrollo económico de éstas adquiere cada día mayor importancia. Existe una serie de métodos de valoración agrupados tradicionalmente en dos grandes bloques, comparativos y analíticos, que se han desarrollado y contrastado profusamente. Sin embargo, todos estos métodos trabajan con datos objetivos cuantificados de difícil obtención, y no permiten el uso de variables cualitativas. Además, la mayoría de ellos proporcionan resultados finales que son función tan solo de una variable.

Este trabajo propone una nueva metodología valorativa (MAVAM) apropiada a contextos con escasa información. MAVAM puede considerarse como un procedimiento comparativo que combina dos de las técnicas multicriterio más extendidas, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y la Programación por Metas (GP). La primera (AHP) permite la cuantificación de variables cualitativas y la incorporación de las intensidades en las preferencias, mientras que la segunda (GP) captura la información proporcionada por los escasos elementos disponibles y la actitud del tasador en el proceso de valoración.

La propuesta efectuada tiene especial relevancia en situaciones de escasez de información, mercados poco transparentes y con baja frecuencia de transacciones, como ocurre en la mayoría de los casos en valoración agraria. La valoración, o indicador monetario del bien, debe interpretarse como un valor de referencia en el contexto de escasa información en el que tiene validez.

El modelo resultante está construido a medida para los elementos conocidos, por lo que no puede trasladarse directamente a otros entornos donde se dispone de diferente información. Lo que sí puede trasladarse a otros entornos o contextos es la metodología de valoración propuesta que deberá ser adaptada a los bienes cuyos valores se conozcan.

Así mismo, se ha evaluado la bondad del procedimiento propuesto mediante el denominado índice de adecuación. Su valor refleja el comportamiento del nuevo procedimiento con relación a la situación en la que la única información de la que se dispone es el precio de los activos de referencia. La metodología seguida se ha planteado para un único tasador, su extensión al caso de múltiples tasadores su extensión al caso de múltiples tasadores será objeto de un próximo trabajo de los mismos autores.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUARÓN, J.; MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2003). "The Geometric Consistency Index. Approximated Thresholds". *European Journal of Operational Research* 147(1), 137-145.
- ALCÁZAR, M.G. (2003). *Valoración inmobiliaria*. Montecorvo. Madrid.
- ALONSO, R.; IRURETAGOYENA, M<sup>a</sup>. T. (1995). *Valoración agraria. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Mundi-Prensa, Madrid.
- ARAGONÉS-BELTRÁN, P.; AZNAR, J.; FERRÍIS-OÑATE, J.; GARCÍA-MELÓN, M. (2007). "Valuation of urban industrial land: An analytic network process approach". *European Journal of Operational Research*, en prensa.
- AZNAR, J.; CABALLER, V. (2005). "An application of the Analytic hierarchy process method in farmland appraisal.". *Spanish Journal of Agricultural Research*. Vol 3 (1), 17-24.
- AZNAR, J.; GUIJARRO, F. (2005a). "Métodos de valoración basados en la programación por metas: modelo de valoración restringido". *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 204, 29-46.
- AZNAR, J.; GUIJARRO, F. (2005b). "Modelo de valoración en ambiente de incertidumbre". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 4(7), 49-61.
- AZNAR, J.; GUIJARRO, F. (2005c). *Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio*. [www.valoracionmulticriterio.upv.es](http://www.valoracionmulticriterio.upv.es). 200 pp.
- AZNAR, J.; GUIJARRO, F. (2007a). "Estimating Regression Parameters with Imprecise Input Data in an Appraisal Context". *European Journal of Operational Research*, en prensa.
- AZNAR, J.; GUIJARRO, F. (2007b). "Modelling Aesthetic Variables in the Valuation of Paintings: an Interval Goal Programming Approach". *Journal of the Operational Research Society*, en prensa.
- BADRI, M.A. (2001). "A Combined AHP-GP Model for Quality Control Systems". *International Journal of Production Economics* 72, 27-40.
- BALLESTERO, E. (1973). "Nota sobre un nuevo método rápido de valoración". *Revista de Estudios Agrosociales*, 85, Octubre-Diciembre, 75-78.
- BALLESTERO, E.; RODRÍGUEZ, J.A. (1999). *El precio de los inmuebles urbanos*, Dossat 2000, Madrid.
- BARBA-ROMERO, S.; POMEROL, J. CH. (1997). *Decisiones multicriterio: Fundamentos teóricos y utilización práctica*. Servicio Publicaciones Universidad de Alcalá.
- BATELLE-COLUMBUS LAB (1972). *Environmental Evaluation System for Water Resource Planning*. Springfield.
- CABALLER, V. (1998): *Valoración agraria: teoría y práctica*. Mundiprensa, Madrid (España). 4<sup>a</sup> edición.

- CAPLES, S.C.; HANNA, M.E.; PREMEAUX, S.R. (1997): "Least Squares Versus Least Absolute Value in Real Estate Appraisals". *The Appraisal Journal* 65 (1) pp. 18-24.
- CHANDRAN, B.; GOLDEN, B.; WASIL, E. (2005): "Linear Programming Models for Estimating Weights in the Analytic Hierarchy Process". *Computers & Operations Research*, 32, 2235-2254.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; FERGUSON, R.O. (1955). "Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming". *Management Science* 1, 138-150.
- CIRIACY-WANTRUP, S.V. (1952). *Resource Conservation: Economics and Policies*, Agricultural Experiment Station, Berkeley: University of California Press.
- CLAWSON, M.; KNETSCH, J.L. (1966). *Economics of Outdoor Recreation*. Johns Hopkins Press, Baltimore.
- DAVIS, R. K. (1963): *The Value of Outdoor Recreation: An Economic Study of the Maine Woods*. PhD Thesis. Harvard University.
- DIAKOULAKI D., MAVROTAS G. y PAPAYANNAKIS L.(1992). "Objective weights of criteria for interfirm comparisons". 36e Journées du groupe européen Aide Multicritère à la Décision. Luxembourg.
- GARCÍA-MELÓN, M.; FERRÍS-OÑATE, J.; AZNAR-BELLVER, J.; ARAGONÉS-BELTRÁN, P.; POVEDA-BAUTISTA, R. (2007). "Farmland appraisal based on the analytic network process". *Journal of Global Optimization*, en prensa.
- GÓMEZ-OREA, D. (1988). "Evaluación del impacto ambiental de proyectos agrarios". *Estudios monográficos* nº 6. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- GÓMEZ-OREA, D. (1992). *Planificación Rural*. Ed. Agrícola Española, Madrid.
- GRILICHES, S. (1971). *Price Indexes and Quality Change. Studies in New Methods of Measurement*. Harvard University Press, Massachusetts.
- HUNT, J.G.; DOWLING, J.M.; GLAKE, F.R.L. (1974): "L1 estimation in small samples with Laplace error distributions". *Decision Sciences* 5 (1), 22-29.
- KEENEY, R.L. (1992): *Value-Focused Thinking: A path to Creative Decision-Making*. Harvard University Press. Cambridge, MA.
- KEENEY, R.L. (1996). "Value-Focused Thinking: Identifying Decision Opportunities and Creating Alternatives". *European Journal of Operational Research* 92, 537-549.
- KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. (1976): *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, Ed. Wiley, New York.
- KETTANI, O.; ORAL, M.; SISKOS, Y. (1998): A Multiple Criteria Analysis Model for Real Estate Evaluation. *Journal of Global Optimization* 12, 197-214.

- KIM, P.O.; LEE, K.J.; LEE, B.W. (1999): Selection of an Optimal Nuclear Fuel Cycle Scenario by Goal Programming and the Analytic Hierarchy Process. *Annals of Nuclear Energy* 26, 449-460.
- LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F.E.; HANSHAW, B.B. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. U.S Geological Survey Circular 645, Dep. of Interior, Washintong D.C.
- MONTERO, J.M. (2004). El precio medio del metro cuadrado de la vivienda libre: Una aproximación metodológica desde la perspectiva de la Geoestadística. *Estudios de Economía Aplicada* 22(3), 675-693.
- MORENO-JIMENEZ, J.M. (1997). "Priorización y toma de decisiones ambientales". *Actas del 1er. Encuentro Iberoamericano de Evaluación y Decisión Multicriterio*, 113-145. Santiago de Chile (Chile).
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (1998). Una aproximación multicriterio en la selección entre alternativas ambientales. El proceso analítico jerárquico. En Eduardo Martínez y Mauricio Escudey (eds.): *Evaluación Multicriterio: Reflexiones básicas y experiencias en América Latina*, capítulo 8, 137-163. UNESCO.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2002). "El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos, metodología y aplicaciones". *RECTA Monográfico* 1, 21-53.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2003). Los Métodos Estadísticos en el Nuevo Método Científico. En CASAS, J.M. y PULIDO, A.: *Información económica y técnicas de análisis en el siglo XXI*. INE, 331-348.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M.; AGUARÓN, J.; ESCOBAR, M.T. (2001). "Metodología científica en valoración y selección ambiental". *Pesquisa Operacional* 21, 3-18 .
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M.; AGUARÓN, J.; ESCOBAR, M.T.; TURÓN, A. (1999). "Multicriteria Procedural Rationality on SISDEMA". *European Journal of Operational Research* 119 (2), 338-403.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M.; MATA, E.J. (1992). "Nuevos sistemas informáticos de Ayuda a la Decisión en el contexto económico empresarial. Sistemas Decisionales Integrales". *Estudios de Economía Aplicada* vol. II, 529-536.
- MURRAY, W.G. (1969). *Farm appraisal and Valuation*. Iowa Satate University Press-Ames-Iowa.
- MYRDAL, G. (1978). "Institutional Economics". *Journal of Economic Issues* 12(4), 771-83.
- ROMERO, C. (1991). *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*, Pergamon Press, Oxford (UK).
- ROMERO, C. (1997). *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Alianza Economía.
- ROSEN, S. (1974). "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition". *Journal of Political Economy* 82, 34-55.

- ROSENBERG, B.; CARLSON, D. (1977). "A simple approximation of the sampling distribution of least absolute residual regression estimates". *Communications in Statistics - Simulation and Computation* B6, 421-438.
- ROY, B. (1968). "Classement et choix en presence de points de vue multiple (la methode ELECTRE)".
- ROY, B. (1985). *Methodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Gestión Económica.
- SAATY, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York (USA).
- SAATY, T. (1994). *Fundamentals of Decision Making*, RSW Publications.
- SAATY, T. (1996). *The Analytic Network Process*, RSW Publications.
- SCHNIEDERJANS, M.J.; HOFFMAN, J.J.; SIRMANS, G.S. (1995). "Using Goal Programming and the Analytic Hierarchy Process in House Selection". *Journal of Real Estate Finance and Economics* 11, 167-176.
- SIMON, H.A. (1955). "A behavioral model of rational choice". *Quarterly Journal of Economics*. 69, 99-118.
- TANAKA, H.; UEJIMA, S.; ASAI, K. (1982). "Linear regression analysis with fuzzy model". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 12, 903-907.
- YU, C.S. (2002). "A GP-AHP Method for Solving Group Decision-Making Fuzzy AHP Problems". *Computers & Operations Research* 29, 1969-2001.
- YURDAKAL, M. (2004). "Selection of Computer-Integrated Manufacturing Technologies Using a Combined Analytic Hierarchy Process and Goal Programming Model". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 20, 329-340.

## APÉNDICE 1:

Tabla 3. Matriz de comparaciones pareadas en función de la Edad del árbol.

	A	B	C	D	E	F	X	Vector propio
A	1/1	1/1,5	1,5/1	1/7	1/5	1/1	1/1,5	0,0546
B		1/1	2/1	1/7	1/3	1,5/1	1/1	0,0767
C			1/1	1/9	1/5	1/1,5	1/2	0,0408
D				1/1	3/1	9/1	5/1	0,4679
E					1/1	5/1	3/1	0,2255
F						1/1	1/2	0,0505
X							1/1	0,0841

CR = 4,76%

Tabla 4. Matriz de comparaciones pareadas en función del Estado vegetativo.

	A	B	C	D	E	F	X	Vector propio
A	1/1	1/5	1,5/1	3/1	2/1	3/1	1/3	0,1098
B		1/1	5/1	7/1	5/1	7/1	3/1	0,4181
C			1/1	3/1	2/1	3/1	1/3	0,0980
D				1/1	1/3	1,5/1	1/5	0,0403
E					1/1	3/1	1/3	0,0781
F						1/1	1/5	0,0360
X							1/1	0,2197

CR = 3,38%

Tabla 5. Matriz de comparaciones pareadas en función de la Calidad del suelo.

	A	B	C	D	E	F	X	Vector propio
A	1/1	1,5/1	3/1	3/1	3/1	1/1,5	1/3	0,1533
B		1/1	3/1	3/1	3/1	1/2	1/3	0,1328
C			1/1	1/1,5	1/1,5	1/3	1/5	0,0498
D				1/1	1,5/1	1/3	1/5	0,0627
E					1/1	1/3	1/5	0,0559
F						1/1	1/3	0,1817
X							1/1	0,3637

CR = 2,16%

Tabla 6. Matriz de comparaciones pareadas en función de las Expectativas.

	A	B	C	D	E	F	X	Vector propio
A	1/1	1/1,5	1/1	1/3	1/5	1,5/1	1,5/1	0,0783
B		1/1	1,5/1	1/3	1/5	1/1	1/1	0,1025
C			1/1	1/3	1/5	1/1	1/1	0,0783
D				1/1	1/3	3/1	3/1	0,2085
E					1/1	5/1	5/1	0,4122
F						1/1	1/1	0,0601
X							1/1	0,0601

CR = 1,45%

Similar al procedimiento seguido en los modelos geoestadísticos de valoración (Montero, 2004).

Véase el trabajo de Chandran *et al.* (2005).

