

UNA EVALUACION CRITICA DE LOS METODOS INTERACTIVOS DE PROGRAMACION MULTICRITERIO

PEDRO ARIAS MARTÍN

Dpto. de Economía y Ciencias Agrarias
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid
28040 Madrid

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una aplicación de la programación multicriterio interactiva a la planificación agraria y pretende de seleccionar a priori qué método puede ser más adecuado a un problema de programación multicriterio. Para realizar esta selección se han definido un conjunto de características obtenidas bajo consideraciones tanto subjetivas como objetivas. Los métodos de programación multicriterio interactivos que se han contrastado* se han analizado tanto a nivel teórico como práctico, lo que ha permitido evaluar relativamente cada método así como obtener sus ventajas e inconvenientes.

Palabras clave: Programación multicriterio, métodos interactivos, solución eficiente, planificación agraria.

Clasificación AMS: 90C31.

SUMMARY

The purpose of this article is to select, in advance, wich method can be the most adequate in order to solve a multicriterion problem. A set of objective and subjective characteristics is defined as a useful tool for methods selection. Interactive multicriteria methods are contrasted and analyzed from theoretical

* STEM, Ideal Desplazado, Geoffrion et al (G.D.F.), Belenson y Kapur, Zionts-Wallenius, Steuer, Surrogate Worth Trade-off (S.W.T.), Satisfacción de Metas, Programación por Metas Secuenciales Interactivas (I.S.G.P.), Programación por Metas Múltiples Interactivas (I.M.G.P.), Ponderaciones Recursivas.
Recibido: Enero 1990.
Revisado: Junio 1991.

and practical point of view. This enables to evaluate each method and obtain its advantages and weaknesses.

Key words: Multicriterion programming, interactive methods, efficient solution, agricultural planning.

1. INTRODUCCION

La existencia de recursos limitados condiciona el desarrollo de las actividades económicas. Este hecho lleva a introducir restricciones que acotan el conjunto de soluciones a alcanzar. No obstante, aunque la introducción de restricciones implica una reducción del tamaño del conjunto de soluciones, sigue planteándose el problema de efectuar una selección de entre infinitas soluciones. Ello obliga a definir un criterio o criterios de ordenación para poder expresar las preferencias del centro decisor.

Tradicionalmente esta ordenación se realizaba mediante la consideración de un único criterio, con lo que se plantea un problema de búsqueda, pero no de elección. Sin embargo, tal como afirman diversos autores¹, esta estructura no se ajusta a lo que ocurre en los procesos reales de toma de decisiones, ya que salvo casos particulares, los problemas reales se plantean bajo múltiples criterios, que en la mayoría de las ocasiones presentan un claro conflicto. En respuesta a este enfoque surge la programación multicriterio.

Estas técnicas han sido objeto de múltiples clasificaciones. Entre otras, la que distingue la programación por metas y la programación multiobjetivo; la que agrupa a los métodos según la naturaleza de los datos (estocásticos o determinísticos) y la naturaleza del mecanismo de generación de alternativas (Zionts, 1985); siendo quizás la más extendida la establecida por Hwang-Masud (1979) que agrupa los métodos según la fase del proceso en la que se precisa información del decisor y el tipo de información necesaria. Así, dentro de esta última clasificación, este trabajo se centra en la programación multicriterio interactiva.

La programación multicriterio interactiva ha sido tratada amplia-

¹ Véase entre otros: Cohon, J. L. (1978); Roy, G. G. (1980); Zeleny, M. (1982); Goicoechea, A., *et al* (1982) y Romero, C., y Rehman, T. (1989).

mente en la literatura ², ajustándose al siguiente esquema [Romero, C., y Rehman, T. (1989), p. 108].

Modelo \leftrightarrow Analista \leftrightarrow Decisor

En ella el analista interactúa con el decisor e introduce en el modelo las respuestas obtenidas. De esta forma, se genera otra solución que nuevamente se presenta al decisor para su evaluación. Este ciclo se repite hasta que el decisor considere que la solución alcanzada es satisfactoria o hasta que no se puedan generar nuevas soluciones de acuerdo con sus preferencias.

2. FORMULACION DEL MODELO

El modelo planteado consta de cuatro objetivos (margen bruto, riesgo de variación del margen bruto respecto a su media, mano de obra y mecanización) sometido a noventa y nueve restricciones de carácter técnico (ocupación del suelo, frecuencia de los cultivos, sucesión de cultivos, etc.). Asimismo, se han considerado ciento una variables para definir el modelo de planificación.

La aplicación práctica del modelo, según los métodos citados, se lleva a cabo en la comarca de La Campiña (Guadalajara), para la que se pretende organizar eficientemente su superficie de regadío. Para ello se ha optado por una política de continuidad, en el sentido de considerar como viables los más representativos de cada grupo de cultivos a nivel provincial, seleccionándose los siguientes:

- Cereales (trigo, cebada, maíz).
- Leguminosas grano (judía).
- Cultivos industriales (girasol).
- Forrajeros (alfalfa, veza-avena).
- Tubérculos (patata).
- Hortalizas (tomate, pimiento, judía verde).

² Entre otros autores, se pueden destacar a Benayoun *et al* (1971); Geoffrion *et al* (1972); Haimes y Hall (1974); Zeleny (1974, 1982); Zionts-Wallenius (1976); Steuer (1977, 1986); Chankong y Haimes (1983) y Grauer *et al* (1984).

2.1. Formulación de objetivos

Los objetivos que se plantean responden a aspiraciones que el agricultor intenta satisfacer bajo los siguientes aspectos:

- *Seguridad*, es decir, prefiere cultivos poco arriesgados que no sufran grandes oscilaciones en cuanto a su margen bruto.
- *Búsqueda* de una alternativa de cultivos que, compatible con el criterio anterior, maximice su margen bruto.
- *Selección* de cultivos que empleen poca mano de obra (no especializada) ya que además de su carácter estacional, es escasa.
- *Tendencia* hacia cultivos mecanizados que permitan la mejora de las condiciones de trabajo.

Estos aspectos conducen a los siguientes criterios:

- a) *Riesgo de variación del margen bruto respecto de su valor medio (pta./ha)*

Para la obtención de este criterio se aplica el método MOTAD de Hazell (1971) para el período (1978-1985). Su formulación general es:

$$\sum_{i=1}^{12} [(MB_{ji} - MB_i) \cdot X_i] + D_j - U_j = 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 8$$

Por consiguiente, la suma de estas desviaciones en sentido absoluto (D_j, U_j) definen el siguiente criterio:

$$\text{Riesgo} = \sum_{j=1}^8 (D_j + U_j)$$

donde:

MB_{ji} = Margen bruto en el período j del cultivo i .

MB_i = Margen bruto medio del cultivo i .

D_j, U_j = Desviaciones negativa y positiva, respectivamente, respecto al nivel fijado.

- b) *Margen bruto (pta./ha)*

El margen bruto de cada cultivo, que se pretende maximizar, se obtiene como diferencia entre sus ingresos y sus costes variables.

La formulación general consiste en:

$$\text{Margen bruto} = \sum_{i=1}^{12} MB_i \cdot X_i$$

MB_i = Margen bruto del cultivo i .

X_i = Superficie del cultivo i .

c) Mano de obra (h/ha)

La expresión que determina la formulación de este objetivo es:

$$\text{Mano de obra} = \sum_{j=1}^{12} M_j$$

donde:

M_j = Variable de holgura correspondiente a las restricciones de mano de obra no especializada.

d) *Mecanización*

La formulación matemática de este objetivo se encuentra constituida por la mano de obra especializada, cuya expresión es:

$$\text{Mecanización} = \sum_{j=1}^{12} T_j$$

donde:

T_j = Variable de holgura correspondiente a las restricciones de mano de obra especializada.

2.2. Formulación de restricciones

Las restricciones que se plantean con periodicidad mensual se han dividido en los siguientes grupos:

1. Agronómicas.
2. De mano de obra.
3. De desplazamiento de actividades.

Restricciones agronómicas

Estas se dividen en los siguientes subgrupos:

a) *Ocupación de superficie*

Estas restricciones indican que en cada período la superficie ocupada no puede superar a la disponible, es decir:

$$\sum_{i \in I_j} X_i \leq S$$

donde:

- I_j = Conjunto de índices con el que se denotan las superficies ocupadas por cada cultivo en el período j .
- X_i = Superficie ocupada por cada cultivo.
- S = Superficie disponible.

b) *Frecuencia de los cultivos*

Estas se justifican porque agronómicamente es aconsejable que ciertos cultivos no se repitan en la misma parcela, ya que ello influye negativamente en sus rendimientos. Así, si un cultivo i cuya superficie es X_i permanece plantado m años en la misma parcela y es conveniente que no se repita durante n años.

Las restricciones que reflejan este condicionante se expresan de la siguiente forma:

$$X_i \leq [m/(m + n)] \cdot S$$

donde:

- X_i = Superficie dedicada al cultivo i .
- m = Número de años que permanece plantado el cultivo i .
- n = Número de años recomendados que han de transcurrir para que vuelva el cultivo i a la misma parcela.
- S = Superficie disponible.

c) *Sucesión de cultivos*

Otro de los condicionantes a tener en cuenta, es la sucesión de cultivos, que expresa la relación de dependencia entre cultivos en la misma parcela. Su formulación requiere que la superficie ocupada por

los posibles cultivos siguientes sea menor o igual que la de los precedentes.

d) Relación de actividades

Existen actividades que se relacionan con otras no sólo cualitativamente, sino también cuantitativamente. Este es el caso de la alfalfa, descompuesto su cultivo en cuatro hojas (una de implantación, dos de régimen (de segundo y tercer año) y una en régimen de último año). Esta relación se expresa de la siguiente forma:

$$X_i = K \cdot K_j \quad , \quad K \neq 0$$

donde:

- X_i = Superficie dedicada a alfalfa de implantación o de último año.
- X_j = Superficie dedicada a alfalfa en régimen, de segundo y tercer año.
- K = Constante que expresa la proporción entre alfalfa de implantación o de último año y la de régimen (correspondiente al segundo y tercer año).

Restricciones de mano de obra

a) Mano de obra especializada

La cantidad de mano de obra especializada es variable y viene fijada no sólo por el plan de cultivos seleccionado, sino también por la proporción o participación de cada cultivo en este plan. Por mano de obra especializada se ha considerado la realizada por el tractorista (h/ha) distribuida en los distintos períodos considerados.

Su formulación general es:

$$\sum_{i \in I_j} [C_i \cdot X_i] - T_j = 0 \quad , \quad \forall j \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 12$$

donde:

- X_i = Superficie ocupada por un cultivo, en un período j .
- C_i = Coeficiente técnico de la labor que se realiza en el período j .
- I_j = Conjunto de índices que reflejan las labores de tracción en el período j .

b) *Mano de obra no especializada*

Al igual que en la especializada, su cuantía es variable y depende del plan de cultivos seleccionado. Como cuantificador de estas necesidades se considera la mano de obra de peón (h/ha) distribuida en los distintos períodos considerados.

Su formulación general es:

$$\sum_{i \in I_j} [C_i \cdot X_i] - M_j = 0 \quad , \quad \forall j \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 12$$

donde:

X_i = Superficie ocupada por un cultivo, en un período j .

C_i = Coeficiente técnico de la labor que se realiza en el período j .

I_j = Conjunto de índices que reflejan las labores de peón en el período j .

Restricciones de desplazamiento de actividades

En la actividad agraria es frecuente que condiciones climatológicas desfavorables impidan el desarrollo de ciertas labores. Asimismo, existen labores que pueden ser desplazadas en el tiempo sin que ello repercuta en el cultivo. Ello lleva a tenerlo en cuenta a la hora de planificar las restricciones de mano de obra como de ocupación de superficie. Por consiguiente, estas restricciones de desplazamiento van a reflejar la relación superficial que han de cumplir dichas actividades ante la posibilidad de desplazar labores en períodos consecutivos. Así, su formulación general es:

$$\sum_{i \in J_i} X_j - X_i = 0$$

donde:

X_i = Superficie del cultivo i .

X_j = Superficie en la que puede realizarse una labor, correspondiente a una actividad desplazable.

J_i = Conjunto de índices que definen la actividad desplazable.

Finalmente indicar que, la aplicación práctica de los métodos de decisión expuestos ha requerido un decisor con el que poder interaccionar. Este proceso se ha realizado con un técnico superior conocedor de la realidad agraria tanto a nivel nacional como del entorno que se estudia.

3. EVALUACION RELATIVA Y SUBJETIVA DE LOS METODOS

El amplio desarrollo de los métodos multicriterio interactivos incide, en numerosas ocasiones, en un desconocimiento no solamente de su existencia, sino también de las exigencias que un determinado método conlleva en su proceso iterativo e interactivo de generación de soluciones. Esto origina que su selección se realice, a veces, con criterios muy subjetivos, cuales son: gustos o mayor familiaridad con uno de ellos. Estos criterios no son los adecuados, siendo más conveniente que la selección se realice después de un estudio previo que determine la adaptabilidad de un método a un problema y la eficiencia de su utilización.

Para simplificar el trabajo de búsqueda, análisis y selección de métodos, a continuación se desarrollan un conjunto de características subjetivas que se han obtenido al estudiar y aplicar los métodos mencionados. Asimismo se recogen sus ventajas e inconvenientes que se han observado no solamente en la generación de soluciones del problema particular formulado sino también del análisis teórico realizado para cada uno.

La conclusión general que se obtiene para el problema planteado, en cuanto al análisis de los planes de cultivo y de los valores de los objetivos correspondientes a las soluciones preferidas por el decisor, es que los distintos métodos conducen a soluciones similares³. En consecuencia, desde un punto de vista absoluto, ningún método goza de preferencias frente al resto. Ello lleva a considerar cuestiones relativas y subjetivas en la selección de un método.

Estas cuestiones que van a permitir la selección de un método se centran en el proceso interactivo e iterativo de generación de soluciones. En este proceso intervienen tres entes: modelo, analista y decisor, dando lugar, según el resultado del análisis, a la mayor o menor adecuación y eficiencia de uno u otro método. Por ello, se ha considerado un conjunto de características, agrupadas bajo los tres entes citados, que pretenden hacer una validación subjetiva y relativa de los métodos, que facilite la elección del más indicado.

³ Véase cuadro 1. El desarrollo iterativo e interactivo del método de Ponderaciones Recursivas puede observarse en Arias, 1989a. Asimismo el desarrollo de los restantes métodos se recoge en Arias, 1990b.

4. SELECCION SUBJETIVA DE METODOS INTERACTIVOS⁴

La selección se lleva a cabo en base al análisis de ciertas características y cuyo desarrollo es el siguiente:

1. *Clasificación del método según el tipo de algoritmo empleado en su resolución.* Así, se han establecido tres grupos:

- a) Métodos que se basan en un soporte geométrico de distancia.
- b) Métodos que utilizan objetivos ponderados.
- c) Métodos que, de alguna forma, utilizan metas.

2. *Tipo de información requerida al decisor (Ordinal, Cardinal y de Indicación).*

Es importante que el decisor conozca previamente cómo tendrá que aportar sus conocimientos y experiencia. Esta información puede ser de tres tipos:

a) *Cardinal:* Dependiendo del método, el decisor va a tener que definir bien el valor de relajación de los objetivos satisfactorios, las tasas marginales de sustitución o los niveles de aspiración.

b) *Ordinal:* El decisor se ve obligado a jerarquizar sus preferencias en una escala de órdenes.

c) *De indicación:* El decisor señala unas preferencias no factibles de asignación ordinal ni cardinal. La información que se precisa es diversa, pudiendo definirse los siguientes subtipos:

c.1) Indicación para la eliminación de regiones factibles.

c.2) Selección de objetivos a optimizar o señalización del objetivo que se toma de referencia para definir las tasas marginales de sustitución.

c.3) Señalización de vectores de soluciones a sustituir.

c.4) Señalización de la aceptabilidad o no de los intercambios (trade-offs) o duales.

c.5) Señalización de la mejor solución en cada iteración dentro de un conjunto de soluciones.

c.6) Indicación del objetivo u objetivos que el decisor considera que alcanzan niveles satisfactorios.

c.7) Aceptación o rechazo del coste de oportunidad producido.

⁴ Véase cuadro 2.

3. *Cantidad de soluciones a analizar en cada iteración.* Así, se puede considerar dos grupos de métodos:

a) Los que generan un intervalo de soluciones.
b) Los que conducen a soluciones discretas. Según el número de soluciones a analizar se establecen dos subgrupos:

b.1) Métodos que generan una única solución.
b.2) Métodos que presentan un conjunto de soluciones.

4. *Dificultad operativa del método (bajo, medio, alto) al incrementar el número de objetivos.*

Refleja la dificultad que la aplicación del método tiene para el analista o el decisor, ante el aumento del número de objetivos (tomados como referencia dos objetivos). En todos se incrementa la dificultad, por lo que varía su evaluación entre media y alta.

5. *Dificultad operativa del método al incrementar el número de restricciones o variables (bajo, medio, alto).*

Este criterio únicamente busca resaltar la operatividad de los métodos estudiados. Así, en el de Zions-Wallenius se ha observado que incrementa su dificultad a medida que aumenta el número de restricciones y de variables. En los restantes métodos se considera baja, para aquellos métodos en los que se resuelven uno o dos problemas de programación matemática por iteración y media en aquellos que es mayor.

6. *Requerimientos previos de información al decisor (sí, no).*

Se refiere a la necesidad de solicitar información al decisor antes de iniciar el proceso algorítmico del método. Ello requiere decisores más experimentados. De los métodos considerados, los que exigen mayor nivel de información previa, son los que utilizan metas.

7. *Grado de intervención del decisor en la generación de soluciones (bajo, medio, alto).* Indica el nivel de participación del decisor en la generación de soluciones.

8. *Dificultad con que puede encontrarse el decisor frente a la información que se le solicita (baja, media, alta).* Este criterio refleja la existencia de métodos que solicitan al decisor respuestas sobre conceptos con los que no está familiarizado o son de difícil comprensión bien por la definición de las tasas marginales de sustitución, bien por

la señalización de preferencias de intercambios (trade-offs), o por la asignación de valores ordinales a variables duales.

9. *Posibilidad de que se produzcan inconsistencias (sí, no)*, no como consecuencia de que el decisor sea inconsistente sino por la excesiva complejidad de la información que se le solicita o bien por un alto o bajo grado de participación en la generación de soluciones.

10. *Número de programaciones matemáticas a resolver entre iteraciones para generar una o varias soluciones*. En ésta característica se le expresa al analista el número de planteamientos de programación matemática a resolver entre iteraciones. Así, se pueden considerar tres grupos, según el número de programaciones a resolver:

- a) Métodos con un número determinado de programaciones.
- b) Métodos cuyo número de problemas depende del número de objetivos.
- c) Métodos, cuyo número de problemas es variable.

11. *Conocimientos previos del analista para el desarrollo de cada método (generales, específicos)*. Este criterio evalúa la especialización del analista para el desarrollo de cada método. Así se han agrupado en dos bloques:

- a) Métodos que necesitan conocimientos generales, principalmente basados en matemática tradicional y programación lineal.
- b) Métodos que necesitan, además de los generales, conocimientos específicos de carácter diverso.

12. *Laboriosidad en la obtención de nuevas soluciones (baja, media, alta)*, que viene, en cierta forma, medida por la duración temporal de las tareas de aquel al generar soluciones.

5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS METODOS

Se analizan en este apartado las ventajas e inconvenientes que se han ido obteniendo de la aplicación y estudio de cada uno de los métodos considerados.

1. *El método STEM* presenta, entre sus ventajas, la de ser operativo, no presentando dificultad matemática en su proceso algorítmico.

Además genera soluciones que no solamente pertenecen a puntos extremos sino también a puntos interiores de la frontera eficiente.

Entre sus inconvenientes están:

a) El establecimiento de los valores de relajación de los objetivos que han alcanzado valor satisfactorio, lo cual requiere un decisor con una visión global del problema a resolver.

b) Las posibles distorsiones que se pueden producir en la definición de las ponderaciones (al normalizar con la norma euclídea) cuando existe entre los coeficientes de unos objetivos y otros gran diferencia numérica.

c) Generación de soluciones que pueden ser eficientes o débilmente eficientes con lo que habrá de asegurarse de su eficiencia.

2. *El método del Ideal Desplazado* tiene como ventajas la escasa información que requiere del decisor, que se reduce únicamente a que éste excluya zonas de posibles soluciones y desplace el ideal.

Entre sus inconvenientes se pueden citar:

a) El que no presente una o varias soluciones, sino un intervalo no discreto definido por un conjunto de soluciones.

b) El tener que eliminar, en un proceso secuencial, subconjuntos de la región eficiente que no considere satisfactorios. Esto es difícil de realizar cuando se trabaja con más de dos objetivos, ya que no permite su representación gráfica en el espacio de dos dimensiones. Por ello, en el caso en el que intervengan más de dos objetivos, en general, es poco operativo para el decisor.

c) Al presentarle al decisor un subconjunto de soluciones, no le es fácil examinar lo que ocurre en los puntos interiores del subconjunto. En consecuencia, puede suceder, que en alguna iteración se eliminen soluciones satisfactorias.

d) El que se puedan obtener valores de los objetivos fuera del recorrido redefinido en una iteración determinada, al no considerarse la meta impuesta por el decisor al eliminar intervalos de soluciones.

3. *El método G.D.F.* presenta entre sus ventajas la rapidez de generación de una solución. No obstante, ello se debe a que, en general, al medir la rapidez no se tiene en cuenta el tiempo que emplean analista y decisor en fijar los valores de intercambio. Entre sus inconvenientes destacan:

a) La necesidad de seleccionar la mejor solución en cada iteración, de un conjunto de éstas.

b) La elección del objetivo de referencia, para establecer los intercambios (trade-offs) con respecto a cada uno de los restantes objetivos. Esta elección se dificulta cuando aumenta el número de objetivos.

c) La definición de las tasas marginales de sustitución o intercambios. Además, si éstas coinciden de una iteración a otra y la solución obtenida no satisface al decisor, suele costar mucho esfuerzo a éste modificar sus intercambios. Sin ésta modificación obviamente sería imposible llegar a una solución.

4. *El método de Belenson y Kapur* presenta entre sus ventajas, el que establece un máximo de p iteraciones para generar $(p + 1)$ soluciones ($p =$ Número de objetivos). Por lo que en pocas iteraciones se obtiene una solución del problema, bien con una solución satisfactoria o sin ella.

Entre sus inconvenientes destacan:

a) No contempla la posibilidad de insatisfacción del decisor para la solución generada en una iteración, lo que llevaría a finalizar el método sin ofrecer una solución satisfactoria. Ello se podría resolver retrocediendo a la iteración previa y sustituyendo la solución precedente por otra menos preferida.

b) Se pueden, en una nueva iteración, repetir soluciones ya obtenidas. Esta cuestión la resuelve el método volviendo a la iteración previa y sustituyendo la solución obtenida en esa iteración, por otras soluciones.

c) No siempre existe una relación entre las preferencias del decisor y las nuevas soluciones que se van generando, dado que al decisor sólo se le pide que exprese cuál es su vector de soluciones menos preferido.

d) La variabilidad de las soluciones obtenidas en las iteraciones imposibilita la fijación secuencial de las preferencias del decisor.

5. *El método de Zionts-Wallenius* presenta entre sus ventajas, el presentar *la fase de decisión* de una forma interesante ya que la definición de los intercambios se realiza a través de los costes marginales del simplex multicriterio, es decir, por medio de la definición de los intercambios (trade-offs) entre objetivos.

Entre sus inconvenientes destacan:

a) Los intercambios que se le presentan al decisor en la fase de decisión sólo son válidos para un cierto intervalo.

b) *La fase de cálculo* es muy laboriosa, aumentando su dificultad con el número de restricciones y de variables.

c) La posibilidad de entrar en inconsistencias por el alto grado de participación del decisor al tener que definir éste sus preferencias frente a los intercambios (trade-offs).

d) El vector de ponderaciones, obtenido en *la fase de cálculo*, a asignar a cada objetivo en cada iteración no es único.

e) La posibilidad de que las preferencias del decisor no coincidan con el vector de ponderaciones.

6. *El método de Steuer* presenta, entre sus ventajas, su operatividad, no existiendo dificultad matemática en su resolución algorítmica. Por otro lado, precisa poca información del decisor y converge en un número finito de iteraciones.

Entre sus inconvenientes destacan:

a) El que en cada iteración se le presente demasiadas soluciones para la elección de una de ellas.

b) El que se pueda entrar en bucles si la solución seleccionada en iteraciones, sin ser la satisfactoria, coincide. Ello, además provoca que las ponderaciones también coincidan.

7. *El método Surrogate Worth Trade-off (S. W. T.)* presenta entre sus ventajas, la consideración de significativos conceptos de orden económico en caso de que el método se emplee con un decisor muy cualificado.

Entre los inconvenientes destacan:

a) El aumento del número de objetivos dificulta, en gran medida, la evaluación por el decisor de los intercambios, así como el cálculo de valores de intercambio equivalentes.

b) La dificultad de búsqueda del punto de indiferencia si el decisor no proporciona coherentemente estos valores ordinales a los intercambios (trade-offs). No obstante, en el supuesto de que éstos sean coherentes, se pueden obtener niveles en los objetivos no aceptables para la solución de indiferencia, a pesar de que los coeficientes de correlación (R^2) en las funciones de regresión sean altos. En consecuencia, un valor alto del coeficiente de correlación no garantiza la indiferencia.

c) Los valores de los duales que se presentan al decisor sólo son válidos para un intervalo generalmente reducido de la solución considerada.

d) La asignación de valores ordinales a los intercambios (trade-offs) resulta dificultosa para el decisor.

8. *El método de Satisfacción de Metas* tiene como ventaja, la operatividad en la generación de soluciones, ya que éstas se modifican rápidamente, en base a sus duales.

La elección del objetivo a optimizar no representa generalmente inconvenientes, aunque sí los presentan las siguientes cuestiones:

a) La definición por el decisor de los niveles de aspiración.

b) La definición de las relajaciones en los criterios. En este punto el analista debe tener en cuenta que la información obtenida a través de los duales es sólo válida en un intervalo de la solución considerada.

9. *El método I.S.G.P.* presenta, entre sus ventajas, la obtención de soluciones no-dominadas y la rapidez en la convergencia del método.

Entre sus inconvenientes están:

a) La definición de los niveles de aspiración.

b) La presentación al decisor de $(p + 1)$ soluciones en cada iteración para su evaluación ($p =$ Número de objetivos).

c) El aumento del número de subproblemas de programación matemática, al incrementar el número de objetivos.

10. *El método I.M.G.P.* tiene entre sus ventajas la facilidad de realizar el proceso de interacción con el decisor y la fácil comprensión de la información que se le pide.

Entre sus inconvenientes se pueden citar:

a) La definición por el decisor de los niveles de aspiración.

b) La necesidad de frecuente intervención del decisor para evaluar los costes de oportunidad producidos en la matriz de potencia.

c) El número de problemas a resolver aumenta cuando lo hace el número de objetivos, siendo en cada iteración de $p \times p$ ($p =$ Número de objetivos).

11. *El método de Ponderaciones Recursivas*, propuesto por el autor, presenta las siguientes características:

a) Su operatividad ya que pasa de una iteración a la siguiente de forma rápida al modificar las ponderaciones de forma sencilla.

- b) La información solicitada al decisor es sencilla, únicamente se le pide que indique cuáles son los objetivos a no mejorar.
- c) La forma recursiva que presenta la determinación de las ponderaciones hace que sea difícil entrar en bucles.
- d) En cada iteración influyen todas las decisiones que ha tomado el decisor hasta el momento debido a la recursividad en la definición de las ponderaciones.

5. CONCLUSIONES

Una vez analizadas las características para la selección de métodos, así como sus ventajas e inconvenientes, se pueden sintetizar desde un punto de vista subjetivo, las siguientes características deseables en la selección de un método:

- a) Requerir una información de indicación.
- b) Presentar al decisor una única solución para su evaluación en cada iteración.
- c) Suponer un aumento mínimo de la dificultad operativa al incrementar el número de objetivos, restricciones o variables.
- d) No exigir información a priori, excepto en aquellos casos en que el decisor presente gran experiencia.
- e) No solicitar excesiva participación del decisor, aunque sí la suficiente como para que sus preferencias se tengan en cuenta al generar soluciones.
- f) Ofrecer y solicitar información de fácil comprensión para el decisor.
- g) Resolver un número reducido de programaciones matemáticas a resolver por iteración.
- h) Requerir poca laboriosidad por iteración.

REFERENCIAS

- ALONSO, R., y IRURETAGOYENA, M. T. (1989): «Los métodos multicriterio en la programación de actividades agrarias», *Comunicaciones I.N.I.A.*, 29.

- ARIAS, P. (1989a): «El método de Ponderaciones Recursivas de Programación multicriterio y su aplicación a la planificación agraria», *I.N.I.A., Econ.*, 4(2): 175-190.
- ARIAS, P. (1990b): «Las técnicas interactivas de programación multicriterio en planificación agraria», *Comunicaciones I.N.I.A.*, 34.
- BELENSON, S. M., y KAPUR, K. C. (1973): «An algorithm for solving multicriterion linea programming problems with examples», *Op. Res. Q.*, 24(1): 65-77.
- BENAYOUN, R.; DE MONTGOLFIER, J.; TERGNY, J., y LARICHEV, O. (1971): «Linear programming with multiple objective functions: Step method (STEM)», *Mathematical Programming*, 1: 366-375.
- CHANKONG, V., y HAIMES, Y. (1983): «Multiobjective decisionmaking. Theory and methodology», *Elsevier Science (USA)*.
- COHON, J. R. (1978): *Multiobjective programming and Planning*, Academic Press, New York (USA).
- GEOFFRION, A.; DYER, J., y FEINBERG, A. (1972): «An interactive approach for multicriterion optimization, with an application to the operation of an Academic Department», *Management Science*, 19: 357-368.
- GOICOECHEA, A.; DUCKSTEIN, L., y BULFIN, R. L. (1976): «Multiobjective stochastic programming: the PROTRADE method», *Paper presented to Operations Society of America*, Miami Beach, nov. 3-5.
- GOICOECHEA, A.; DUCKSTEIN, L., y FOGEL, M. H. (1979): «Multiple objective under uncertainty: an illustrative application of PROTRADE», *Water Resources Research*, 15: 203-210.
- GOICOECHEA, A.; HANSEN, D. R., y DUCKSTEIN, L. (1982): *Multiobjective decision analysis with engineering and business applications*, John Wiley and Sons (USA).
- GRAUER, M., y WIERZBICKI, A. (1984): *Interactive decision analysis*, Ed. Springer-Verlag, Berlin.
- HAZELL, P. (1971): «A linear alternative to quadratic and semi-variance programming», *Amer. J. Agric. Econ.*, 53: 53-62.
- HWANG, C., y MASUD, A. (1979): *Multiple objective decisionmaking, methods and applications*, Ed. Springer-Verlag, Berlin (Germany).
- MASUD, A. S., y HWANG, C. L. (1981): «Interactive Sequential Goal Programming», *J. Op. Soc.*, 32: 391-400.
- ROMERO, C., y REHMAN, T. (1989): «Multiple criteria analysis for agricultural decisions», *Elsevier Science Publishers*, Netherlands.

- ROY, G. G. (1980): «A man-machine approach to multicriteria decision making», *Int. J. Man-Machine Studies*, 12: 203-215.
- SAKAWA, M., y FUMIKO, S. (1982): «Interactive multiobjective decision-making in environmental systems using sequential proxy optimization techniques (SPOT)», *Automatica.*, 18 (2): 155-165.
- SAKAWA, M., y FUMIKO, S. (1983): «Interactive multiobjective decision-making in environmental systems using the fuzzy sequential proxy optimization technique», *Large Scale Systems*, 4: 223-243.
- SPRONK, J. (1981): «Interactive Multiple Goal Programming as an aid for capital budgeting and financial planning with multiple goals», en R. L. Crum and F. G. J. Derkinderen (eds.), *capital Budgeting under Conditions of Uncertainty*, chapter 10, Martinus Nijhoff.
- STEUER, R. E. (1977): «An interactive multiple objective linear programming procedure», in *TIMS Studies in the Management Sciences* (Edited by M. K. Starr and M. Zeleny), 6:225-239.
- STEUER, R. E. (1986): «Multiple criteria optimization: *Theory computation and application*, John Wiley and Sons, New York (USA).
- TEGHEM, J., y KUNSCH, P. L. (1985): «Application of multi-objective stochastic linear programming to power systems planning», *Engineering Costs and Production Economics*, 9: 83-89.
- WALLENUS, H.; WALLENUS, J., y VARTIA, P. (1978): «An approach to solving multiple criteria macroeconomic policy problems and an application», *Management Science*, 24 (10): 1021-1030.
- ZELNY, M. (1982): *Multiple criteria decision making*, McGraw-Hill, Inc. (USA).
- ZIONTS, S. (1985): «Multiple Criteria Mathematical programming: an overview and several approaches», *Multiple Criteria Decision Methods and Applications* (Ed.) Springer-Verlag, Berlin (Germany) 85-128.
- ZIONTS, S., y WALLENUS, J. (1976): «An interactive programming method for solving the multiple criteria problem», *Management Science*, 22 (6): 652-663.

CUADRO 1
Soluciones eficientes y planes de cultivo, según los distintos métodos¹

Métodos	Objetivos		Distribución superficial por cultivos (tanto por uno)													
	Riesgo*	Margen bruto*	Mano de obra**	Mecanización**	Girasol	Trigo	Cebada	Maiz	Veza-Avena	Judía seca	Patata ciclo medio	Patata ciclo tardío	Alfalfa	Tomate	Pimiento	Judía verde
STEM	34.560,7	120.487,4	85,0	24,0	—	0,003	0,043	0,187	0,109	0,141	—	—	0,434	0,056	—	0,038
Ideal desplazado	36.671,3	125.756,3	89,7	24,4	0,002	—	0,085	0,180	0,037	0,160	—	—	0,450	0,022	0,012	0,052
Geoffrion	36.780,2	121.520,7	84,7	24,6	0,015	0,030	—	0,175	0,075	0,165	—	—	0,470	0,030	—	0,040
Zionts-Wallenius	34.976,5	116.175,8	74,5	24,0	0,015	—	0,035	0,180	0,085	0,180	—	—	0,445	0,025	—	0,035
Steuer	35.512,2	116.837,0	75,9	24,2	0,015	0,015	0,015	0,180	0,075	0,180	—	—	0,460	0,025	—	0,035
Satisfacción de metas	34.477,0	119.681,3	77,6	23,0	—	—	0,042	0,202	0,122	0,172	0,006	—	0,381	0,025	0,015	0,035
I.S.G.P.	33.855,8	120.000,0	80,0	23,0	—	—	0,045	0,202	0,132	0,152	0,003	—	0,381	0,025	0,020	0,040
I.M.G.P.	35.000,0	125.000,0	85,0	22,0	—	—	0,035	0,225	0,170	0,153	—	0,004	0,320	0,035	0,030	0,028
Ponderaciones recursivas	35.681,1	116.668,7	75,7	24,2	0,016	0,028	—	0,178	0,078	0,178	—	—	0,466	0,025	—	0,031

¹ Los métodos de Belenson y Kapur y surrogado (S.W.T.) no aparecen en la tabla ya que con ellos no se llegó a una solución satisfactoria.

* Objetivos expresados en (pta./ha).

** Objetivos expresados en (h/ha).

CUADRO 2

VALIDACION RELATIVA DE LOS METODOS

Características	MODELO					DECISION					ANALISTA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Métodos		Cardinal De indicación	Intervalo de soluciones	Media	Baja	No	Medio	Media	No	1	Generales (Geometría)	Baja	
STEM	Mínimax	De indicación	Dependiente de parametrización	Alta	Baja	No	Medio	Media	No	2	Generales (Geometría)	Media	
IDEAL DESPLAZADO	Programación compromiso	Cardinal De indicación		Alta	Baja	No	Medio	Alta	No	1	Específicos (Tasas marginales) sustitución	Media	
G.D.F.	Objetivos ponderados	De indicación	1	Media	Baja	No	Bajo	Baja	Si	2	Específicos (Teoría de juegos)	Media	
BELENSON- KAPUR	Objetivos ponderados	De indicación	1	Alta	Alta	No	Alto	Alta	Si	Variable	Específicos (duales)	Alta	
ZIONTS- WALLENIUS	Objetivos ponderados	De indicación	$2p + 1^*$	Media	Media	No	Bajo	Baja	No	$2p + 1$	Generales (Geometría)	Media	
STEUER	Objetivos ponderados	Cardinal, Ordinal De indicación	1	Alta	Media	Si	Alto	Alta	Si	Variable	Específicos (Duales, infe- rencia estadística)	Alta	
SURROGADO	Metas	Cardinal	1	Media	Baja	Si	Medio	Media	No	1	Específicos (duales)	Baja	
SATISFACCION DE METAS	Metas	Cardinal De indicación	$p + 1$	Alta	Media	Si	Medio	Media	No	$\frac{2(p+1)}{3(p+1)}$	Generales (Geometría)	Alta	
I.S.G.P.	Metas	Cardinal De indicación	$p \times p$	Alta	Media	Si	Alto	Media	No	$p \times p$	Generales (Geometría)	Alta	
I.M.G.P.	Metas	De indicación	1	Media	Baja	No	Bajo	Baja	No	1	Generales (Geometría)	Baja	
PONDERA- CIONES RECURSIVAS	Objetivos ponderados	De indicación		Media	Baja	No	Bajo	Baja	No				

* p : número de objetivos.

DEFINICION

DE CARACTERISTICAS

1. Clasificación del método según el tipo de algoritmo empleado en su resolución.
2. Tipo de información requerida al decisor (ordinal, cardinal, de indicación).
3. Cantidad de soluciones a analizar por el decisor en cada iteración.
4. Grado de operatividad del método al incrementar el número de objetivos, tomando como referencia dos objetivos (bajo, medio, alto).
5. Grado de operatividad del método al aumentar el número de restricciones o variables (bajo, medio, alto).
6. Requerimientos previos de información al decisor (si, no).
7. Grado de intervención del decisor en la generación de soluciones (bajo, medio, alto).
8. Dificultad con que puede encontrarse el decisor frente a la información que se le solicita (baja, media, alta).
9. Posibilidad de que se produzcan inconsistencias (si, no).
10. Número de programaciones matemáticas a resolver entre iteraciones, para generar una o varias soluciones.
11. Conocimientos previos del analista para el desarrollo de cada método (generales, específicos).
12. Laboriosidad en la obtención de nuevas soluciones (baja, media, alta).