

# The Anáhuac Journal

Business and Economics

The Academic Journal of the Universidad Anáhuac-México Sur

---

Volume 16, Number 1 • First Semester 2016

ISSN 1405-8448

Edited by Antonio García de la Parra Motta



LIDeditorial  
.com

# Los métodos de decisión multicriterio discretos. Un punto de vista racional aplicado a la toma de decisiones

Rodrigo Palacios Saldaña y Joaquín Pacheco Bonrostro

## Resumen

*Este artículo busca contribuir a la aplicación de los métodos de decisión multicriterio (MCDM) a problemas reales. Para ello se van a detallar los conceptos básicos de la decisión multicriterio, los diferentes métodos existentes y su aplicación en el planeación energética. La decisión multicriterio en sus diversas acepciones es un conjunto de herramientas multidisciplinares con un gran potencial y altamente empleadas para el análisis de problemas complejos. Estos métodos han sido desarrollados desde diferentes ámbitos de la investigación y con distintas bases matemáticas, lo que dificulta la iniciación en este campo.*

*La aplicación de MCDM en la planeación energética es destacable y extrapolable a otros campos; y durante su evolución ha pasado de requerir para su análisis métodos simples como el costo-beneficio, a requerir herramientas capaces de recoger una realidad multicriterio. En la planeación ha sido necesario englobar aspectos medioambientales, sociales y técnicos; especialmente tras la irrupción de nuevas fuentes de energía, principalmente las renovables, el aumento de la relevancia de la emisión de GEI y la dependencia que se genera con respecto a los países de los cuales se importa la energía primaria.*

**Palabras clave:** MCDM, decisión multicriterio discretos, energía, modelos de planeación, toma de decisión.

**Clasificación JEL:** O210, Q4.

## Abstract

*This paper implements multi-criteria decision methods (MCDM) into real problems. In order to do so, the details of the basics of multi-criteria decision and the different methods and their application in energy planning will be stated.*

*The multi-criteria decision, in its multiple meanings, is a multidisciplinary set of tools with great potential, highly used for the analysis of complex problems. These methods have been developed from different fields of research and different mathematical bases, making it difficult to start in this field.*

*The application of MCDM in energy planning is remarkable and can be extrapolated to other fields that have evolved from using simple methods such as cost-benefit have been required for their analysis to require tools able to collect a multi-criteria reality. In energy planning, it has been necessary to encompass environmental, social and technical aspects especially after the arrival of mainly renewable new source of energy increasing the relevance of GHG emissions and dependence generated to the countries of which the primary energy is imported.*

**Keywords:** MCDM, Multi-Criteria, Decision-Making, Energy, Planning Models, Energy Planning.

**JEL Classification:** O210, Q4.

## 1. Introducción

Los métodos multicriterio ayudan a llevar a el proceso de toma de decisión desde una perspectiva racional, haciendo el proceso más reflexivo, consciente y deliberativo. Esta expresión se popularizó a través de la obra de Zeleny (1973).

Es una metodología normativa que sirve de guía en el proceso y facilita la obtención de una decisión consecuente con los objetivos establecidos de acuerdo con las preferencias, gracias al análisis sistemático de las alternativas a través de sus atributos tanto cualitativos como cuantitativos, y mediante un proceso estructurado que mejora el flujo de información entre el analista y el tomador de decisiones (Løken, E., 2007).

Estas características son propicias para la aplicación de MCDM como ayuda en la toma de decisiones, así como en procesos de jerarquización de alternativas o simplemente para estructurar el proceso. Esto hace de estas técnicas unas buenas, aunque no únicas, herramientas para el estudio y desarrollo de la toma de decisiones.

En este documento se realiza una revisión de los métodos más empleados en problemas reales, así como casos de aplicación en el ámbito energético. De manera que sirva tanto a novatos como a expertos en el campo, con la finalidad de conocer el alto potencial de estas herramientas y sus posibilidades de aplicación.

La planeación en el sector eléctrico es una tarea compleja, ya que comprende objetivos dispares, y en algunos casos contrapuestos. Además, su análisis engloba elementos con diferentes grados de incertidumbre y pertenecientes a ámbitos relativamente distintos.

La aplicación de métodos multicriterio discretos en el campo de la planeación energética se remonta a los años ochenta (Saaty, T.L., 1978), cuando los métodos existentes empezaron a probarse en esta área. Posteriormente se desarrollaron nuevas versiones, así como nuevos métodos, que actualmente continúan evolucionando, adaptándose a las nuevas necesidades, desarrollando hibridaciones y ampliando su aplicación en escenarios difusos (Chen, C.T., 200; Fenton, N. y Wang, W., 2006; Jiang, Q. y Chen, C.H., 2005)

Además de la planeación energética, estos métodos también se han empleado en otras decisiones del sector. La comparación de los procesos de producción de película fina en paneles solares fotovoltaicos (Cavallaro, F., 2010), la elección de paneles de concentración solar (Cavallaro, F., 2009), la investigación operativa para la explotación de energía geotérmica (Goumas, M.G., Lygerou, V.A. y Papayannakis, L.E., 1999), la localización de instalaciones de gas natural (Massara, V.M. y Udaeta, M.E.M., 2011) o el estudio

del desarrollo industrial de una región en la que las alternativas de desarrollo están directamente relacionadas con la elección de fuentes de energía primaria (Solnes, J., 2003), entre otros. Incluso se utilizan en ámbitos transversales como el estudio de los subsidios a percibir por parte de los diferentes productores y usuarios de la red eléctrica (Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010) o en el análisis de los agentes colectivos que surgen en torno a la instauración de un nuevo plan energético (Moragues-Faus, A.M. y Ortiz-Miranda, D., 2010). Este éxito se debe a que tienen capacidad para considerar el estado de desarrollo de las tecnologías, la sostenibilidad y en especial la incertidumbre.

## 2. Planteamiento del problema

### *Conceptos básicos*

Dentro del campo de la toma de decisiones hay una serie de conceptos que serán utilizados asiduamente. Para evitar confusiones, se definen a continuación (Ríos Insua, S., Bielza, C. y Mateos, A, 2002).

**Tomador de decisiones:** persona que plantea el problema y debe de tomar la decisión.

**Analista:** persona que ayuda al tomador de decisiones durante el proceso.

**Alternativas:** cada una de las posibles decisiones que puede seleccionar el tomador de decisiones. Son un número finito y generalmente pequeño de posibilidades determinadas, que se puede definir como  $A = \{A1, A2, \dots, Am\}$ .

**Criterios:** son puntos de vista o parámetros relevantes que se van a tener en cuenta para seleccionar la alternativa. Pueden ser cuantitativos o cualitativos y se pueden definir como  $C = \{C1, C2, \dots, Cn\}$ .

**Atributo:** es el valor de cada alternativa con respecto a cada criterio; es decir, las características que definen a las alternativas. Deben ser objetivos y poder expresarse mediante un valor o función, y se pueden definir como  $X_{mn}$ , valoración de la alternativa  $A_m$  para el criterio  $C_n$ .

**Pesos:** es la medida de la relevancia de los criterios, ya sea individual o relativa entre ellos.

**Matriz de decisión:** es uno de los elementos principales de la toma de decisiones multicriterio. Recoge la valoración de cada alternativa para cada uno de los criterios, es decir, los atributos. Esta matriz expresa todos los atributos de las diferentes alternativas de acuerdo con cada uno de los criterios establecidos. En ella, cada fila recoge la valoración de una alternativa respecto a los  $n$  criterios establecidos. Mientras que cada columna expresa los valores de cada una de las  $m$  alternativas respecto a un criterio. Como se puede ver en la tabla 1.

**Tabla 1.** Matriz de decisión

|       | C1    | C2    | C3    | ..... | Cn    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A1    | X11   | X12   | X13   | ..... | X1n   |
| A2    | X21   | X22   | X23   | ..... | X2n   |
| A3    | X31   | X32   | X33   | ..... | X3n   |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| Am    | Xm1   | Xm2   | Xm3   | ..... | Xmn   |

Fuente: elaboración propia.

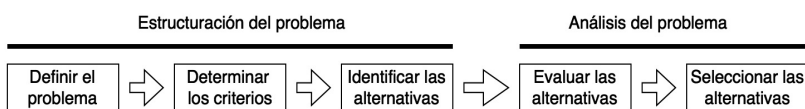
### Estructura

Los MCDM son una serie de métodos matemáticos de diversa complejidad cuya principal función es ayudar al tomador de decisiones a desempeñar su trabajo con la mayor eficiencia posible. Actualmente, la toma de decisiones en muchos ámbitos tiene una serie de interrelaciones muy complejas para poder ser comprendidas y analizadas mentalmente como un solo proceso.

Para facilitar la toma de decisiones es común dividir el proceso en dos etapas, como se muestra en la figura 1: la estructuración del problema y su análisis (Barba-Romero, S., 1987). Es importante realizar los pasos de forma independiente, aunque su interrelación es lo que nos permitirá desarrollar todo el proceso. Intentar solapar las diferentes fases condicionará las conclusiones y difuminará los aportes de estos métodos.

La etapa de estructuración del problema se compone de tres partes. En primer lugar, y pieza clave, es definir la situación. Es necesario que este proceso nos presente un problema concreto a solucionar. La segunda fase consiste en definir el o los criterios de decisión, en este caso trataremos de problemas con criterios múltiples y consideraremos los mono-objetivo como una simplificación. Y la tercera fase es la identificación de los atributos de las alternativas que puedan dar solución al problema planteado, así como la valoración de cada una de ellas en los criterios previamente establecidos.

La segunda etapa, el análisis del problema, la desarrollaremos más adelante, puesto que es aquí donde difieren los métodos, ya que emplean diferentes estrategias para evaluar y seleccionar las alternativas, de acuerdo con sus principios metodológicos.

**Figura 1.** Etapas del proceso de decisión

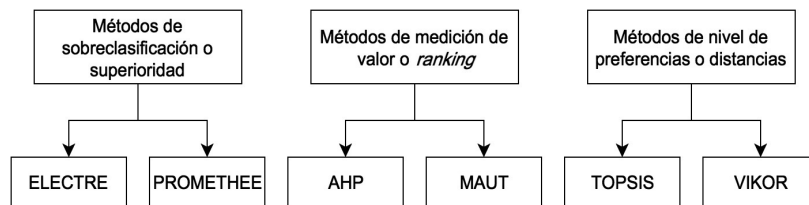
Fuente: elaboración propia.

No hay que olvidar que los MCDM son técnicas, no herramientas, de decisión en sí mismas. Su función es ayudar en el proceso, ya sea como base del proceso o en alguna de las diferentes fases, jerarquizar los criterios, estructurar el problema, definir el objetivo y organizar o sintetizar el gran conjunto de variables. Por ello, para su correcto uso es necesario conocer los errores típicos, así como su robustez y eficacia (Stewart, T.J., 1992). También es frecuente que el tomador de decisiones prescindiera del analista en favor del software especializado. Sin ser consciente de que la computadora solo es un soporte y que si el problema no se modeliza correctamente, se limitará a trabajar con un modelo predefinido, no adaptado al problema que intenta solucionar. En este, para muchos, nuevo camino es recomendable seguir directrices para elegir el método a utilizar (Guitouni, A. y Martel, J.M., 1998).

### 3. Principales métodos empleados

En este apartado se detallan los seis métodos más empleados en la literatura para este tipo de problema. Como se recoge en la figura 2, se agrupan en tres familias: métodos de sobreclasificación o superioridad, métodos de medición de valor o *ranking* y métodos de nivel de preferencias o distancias. En los siguientes apartados se presentan la definición y las características de estos métodos, su aplicación y, por último, se muestra una tabla que resume las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

**Figura 2.** Clasificación MCDM



Fuente: elaboración propia.

#### *Métodos de sobreclasificación o superioridad*

Esta familia se caracteriza por establecer relaciones de sobreclasificación entre las diferentes alternativas. El concepto de sobreclasificación y su desarrollo se caracteriza por ser menos sólido teóricamente pero más sencillo de implementar en situaciones reales. Su base son los conceptos de concordancia y discordancia.

La alternativa *A1* sobreclasifica a *A2*, tan buena o preferible; cuando *A1* es igual o superior a *A2* en la mayoría de los criterios (concordancia) y cuando en el resto de criterios la diferencia no es relevante (discordancia).

Las relaciones de sobreclasificación se caracterizan por no ser compensatorias. Al no estar permitido el intercambio de logros entre atributos (Flament, M., 1999) y que su análisis intradimensional genera situaciones con alternativas incomparables y la búsqueda de información es de eliminación por aspectos (Hogarth, R.M., 1987).

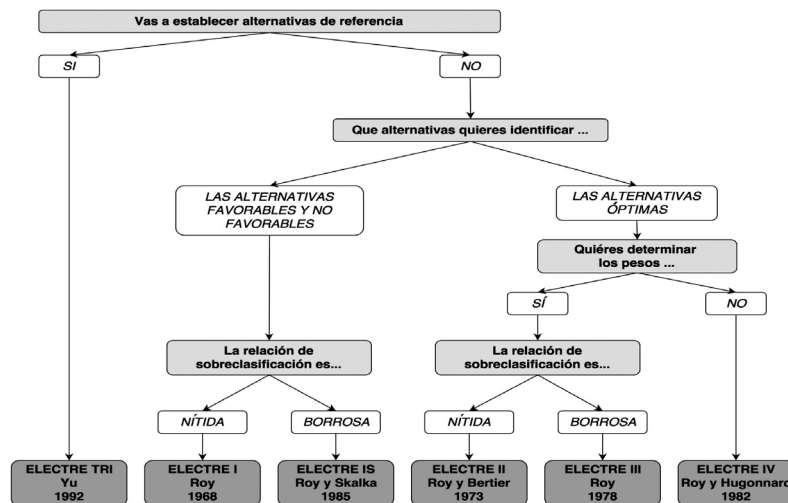
La mayor deficiencia de los métodos de sobreclasificación es la falta de criterios axiomáticos, que en el caso de la familia ELECTRE son nulos y en PROMETHEE aún son un problema abierto.

*ELECTRE: ELimination Et Choix Traduisant la REalité*  
(Eliminación y elección que traducen la realidad)

La familia de métodos ELECTRE tiene su origen en los años sesenta, como aproximación y complemento de la teoría de utilidad multiatributo. El método ELECTRE fue desarrollado en su origen por Bernard Roy (1968) en el LAMSADE de la Universidad Paris-Dauphine.

La familia de métodos ELECTRE es de las más desarrolladas y se utiliza con múltiples variantes de acuerdo con el tipo de problema al que nos enfrentemos, los resultados que queramos obtener, así como la información previa y los datos de entrada. Tal como se detalla en la figura 3.

**Figura 3.** Familia de métodos ELECTRE



Fuente: Maystre, L.Y., Pictet, J. y Simos, J. (1994).



Todos ellos se caracterizan por reducir el tamaño del conjunto de alternativas eficientes. Este proceso se desarrolla mediante la partición del conjunto de alternativas en subconjuntos más óptimos de acuerdo con los criterios del tomador de decisiones ELECTRE-I (Roy, B., 1975), al aumentar su utilidad e incluir los pesos de los criterios ELECTRE-II (Roy, B. y Bertier, P., 1973). Ambos métodos han incorporado un mayor espacio de incertidumbre o fuzzy a través de ELECTRE-IS (Roy, B. y Skalka, J.M., 1984) y ELECTRE-III (Roy, B., 1981). Mientras que para otro tipo de problemas se ha ampliado la familia de métodos con ELECTRE-TRI (Yu, W., 1992), para la clasificación de alternativas de acuerdo con categorías o parámetros predefinidos por el tomador de decisiones ELECTRE-IV (Roy, B. y Hugonnard, J.C., 1982).

Es importante destacar que ELECTRE-I y ELECTRE-II utilizan lógica de sobreclasificación nítida; mientras que el resto utiliza lógica de clasificación borrosa, al emplear cuasi-criterios o pre-criterios. Por estas características el método más utilizado y que mejor permite ayudar en el proceso de toma de decisiones referentes a la planeación energética es ELECTRE III (Barda, O.H., Dupuis, J. y Lencioni, P., 1990; Catalina, T., Virgone, J. y Blanco, E., 2011; Løken, E., 2007; Papadopoulos, A. y Karagiannidis, A., 2008), ya que este método define dos ordenamientos de las alternativas, uno ascendente, desde la peor hasta la mejor alternativa, y otro descendente, a partir de la mejor alternativa; lo que ofrece al tomador de decisiones dos clasificaciones complementarias.

Además, la introducción de umbrales permite mayor flexibilidad en las relaciones de sobreclasificación. El umbral de preferencia  $P$  establece en qué medida la valoración de una alternativa será mejor respecto de otra, para que esta sea preferida. El umbral de indiferencia  $Q$  establece la magnitud para que la preferencia entre dos alternativas sea considerada indiferente. Y el umbral de veto  $V$  establece cuánto mayor debe ser una alternativa respecto de otra, para no preferir la segunda.

Una de las primeras aplicaciones en este campo se realizó para la selección de un proyecto de una compañía eléctrica en Nueva Zelanda (Buchanan, J.T., Sheppard, P.J. y Vanderpooten, D., 1999). En el campo energético su aplicación mayoritaria ha sido en el desarrollo de la planeación energética (Beccali, M., Cellura, M. y Ardente, D., 1998; Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Mirasgedis, S., Zaimi, S. y Lalas, D.P., 2003; Mróz, T.M., 2008), lo que permitió desarrollar análisis que engloban la gestión y el transporte (Papadopoulos, A. y Karagiannidis, A., 2008), la profundización en la estimación de la demanda (Mourmouris, J.C. y Potolias, C., 2013), el desarrollo de clasificaciones teóricas que facilitan al tomador de decisiones priorizar entre diferentes alternativas de generación de energía eléctrica (Beccali, M., Cellura, M. y Mistretta, M., 2003; Catalina, T., Virgone, J. y Blanco, E., 2011; Georgopoulou, E., Lalas, D. y Papagiannakis, L., 1997; Siskos, J. y

Hubert, P., 1983) y, en particular, la comparación del potencial de las energías renovables frente a las convencionales (Georgopoulou, E., Lalas, D. y Papagiannakis, L., 1997; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010). También ha sido empleado para la localización y selección de proyectos, así como el emplazamiento de plantas de energía térmica (Barda, O.H., Dupuis, J. y Lencioni, P., 1990).

Haralambopoulos y Polatidis (2003) han elaborado un marco de referencia para el análisis de los proyectos de energía renovable, y de forma similar se ha aplicado a la eficiencia energética, lo que permitió clasificar las diferentes acciones posibles (Haydt, G., Leal, V. y Dias, L.C., 2014; Neves, L.P., Martins, A.G., Antunes, C.H. y Dias, L.C., 2008).

Como muestra de su implantación, valga el ejemplo de su extensión a otros campos como la eficiencia energética en edificación (Roulet, C.A., Flourentzou, F., Labben, H.H., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E. y Richalet, V., 2002), en el proceso de producción de paneles fotovoltaicos de película fina (Cavallaro, F., 2010) o en la gestión de residuos sólidos (Hokkanen, J. y Salminen, P., 1997).

*PROMETHEE - Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations (Método para enriquecer la evaluación ordenando las preferencias).*

La familia de métodos PROMETHEE (Mareschal, B., Brans, J.P. y Vincke, P., 1984) tiene su origen en la década de los ochenta, como continuación del trabajo de Roy. Su discípulo, Jean Pierre Brans, desarrolló las bases del método (Brans, J.P., 1986). Esto provoca que a veces se refieran a estos dos métodos como de la escuela franco-belga o europea.

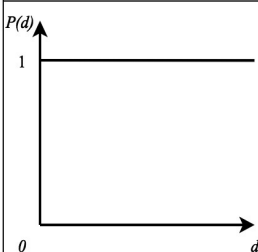
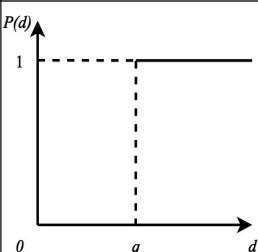
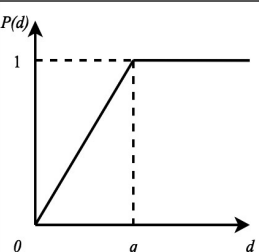
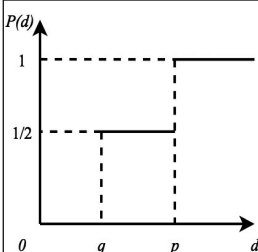
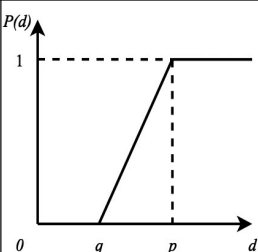
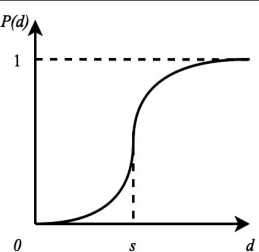
El MCDM se puede considerar más intuitivo y comprensible por el tomador de decisiones, lo que junto con el desarrollo del software PROMCALC (PROMethee CALCulations) (Brans, J.P. y Mareschal, B., 1994) que desarrollaron los mismos autores, hizo posible su aplicación en numerosos problemas de localización y selección de proyectos.

Este método parte de la matriz de decisión que se mencionó anteriormente y de los pesos establecidos por el tomador de decisiones. A partir de estos datos se realizarán comparaciones biunívocas; es decir, cada uno de los atributos de las alternativas se corresponderá y comparará con uno y solo uno de los atributos de las otras alternativas, de acuerdo con los criterios. Esta comparación se realizará conforme a una función de preferencias para cada criterio, con el fin de establecer el grado de preferencia asociado a cada alternativa.

Para facilitar la elección de estas funciones se establecen seis tipos de funciones básicas, aunque se pueden utilizar funciones más complejas

(Barberis, G.M.F. y Ródenas, M.D., 2006). Estas seis funciones básicas establecen los criterios de preferencia generalizados. Como se muestra en la tabla 2, se consideran suficientes para la mayoría de casos prácticos, ya que es el tomador de decisiones quien debe elegir la función a utilizar. Las funciones son de criterio usual, de cuasi-criterio de criterio con preferencia lineal, de criterio de nivel, de preferencia lineal con indiferencia y de tipo gaussiano, cada una de ellas con sus respectivos umbrales de preferencia estricta  $P$ , área de indiferencia  $Q$  y  $S$  y valor intermedio entre  $P$  y  $Q$ .

**Tabla 2.** Criterios de preferencia generalizados. Función de preferencia  $P(d)$

| Criterio usual   | Quasi criterio   | Criterio con preferencia lineal  |
|--|--|--|
|  $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq 0; & 0 \\ \text{si } d > 0; & 1 \end{cases}$   |  $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq q; & 0 \\ \text{si } d > q; & 1 \end{cases}$   |  $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq 0; & 0 \\ \text{si } 0 \leq d \leq p; & \frac{d}{q} \\ \text{si } d > p; & 1 \end{cases}$ |
| Criterio de nivel  | Preferencia lineal con indiferencia  | Criterio gaussiano   |
|  $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq q; & 0 \\ \text{si } q < d \leq p; & \frac{1}{2} \\ \text{si } d > p; & 1 \end{cases}$ |  $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq q; & 0 \\ \text{si } q < d \leq p; & \frac{d-q}{p-q} \\ \text{si } d > p; & 1 \end{cases}$ |  $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq 0; & 0 \\ \text{si } d > 0; & 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} \end{cases}$               |

Fuente: Brans, J.P., Vincke, P. y Mareschal, B. (1986).

Los métodos PROMETHEE también forman una amplia familia en constate evolución. Según su desarrollo, el primero es el PROMETHEE-I que ofrece un *ranking* parcial de las alternativas del que se obtienen los flujos positivos y negativos de sobreclasificación; es un método prudente que deja en manos del tomador de decisiones la responsabilidad cuando ambos flujos no coinciden. PROMETHEE-II aporta un *ranking* completo y elimina el problema de la discordancia entre flujos, a través de un flujo neto de sobreclasificación; elimina las incompatibilidades pero pierde robustez, ya que solo considera las diferencias entre flujos. Al ser procesos similares, se recomienda utilizar ambos simultáneamente, así como complementar el análisis con el módulo de interacción visual GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) (Mareschal, B., Brans, J.P., 1988), que ofrece una descripción gráfica que mejora las deficiencias de percepción del método PROMETHEE.

Para problemas en los que debe seleccionarse un grupo de alternativas de acuerdo con un conjunto de restricciones, existe el método PROMETHEE-V (Brans, J.P. y Mareschal, B., 1992), que también se puede considerar una extensión de lo anteriormente comentado. La primera fase consiste en aplicar el método PROMETHEE-GAIA, para posteriormente añadir las restricciones adicionales mediante programación lineal.

El PROMETHEE VI (Brans, J.P. y Mareschal, B., 1995) se puede considerar otro complemento del método PROMETHEE-GAIA, que ofrece al tomador de decisiones información sobre su punto de vista del problema, y además permite observar la influencia de los pesos de los criterios en la decisión final, clasificando el problema como problema multicriterio *soft* (indiferencia de resultados respecto a pesos) o problema multicriterio *hard* (dependencia de los resultados respecto a los pesos).

PROMETHEE se ha utilizado tanto en problemas de selección como en los de clasificación. Se ha requerido a este método en la planificación de recursos ambientales, por ejemplo, el agua. En el campo energético su aplicación mayoritaria ha sido en el desarrollo de la planeación energética tanto a nivel nacional (Diakoulaki, D. y Karangelis, F., 2007; Gwo-Hshiong, T., Tzay-an, S. y Chien-Yuan, L., 1992; Haralambopoulos, D.A. y Polatidis, H., 2003; Özelkan, E. C. y Duckstein, L., 1996; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010) como a nivel regional (Mourmouris, J.C. y Potolias, C., 2013; Terrados, J., Almonacid, G. y Perez-Higueras, P., 2009; Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E. y Kiosses, I., 2009), así como la nueva concepción de la planeación energética en instalaciones de generación a menor escala y de localización más dispersa (Georgopoulou, E., Sarafidis, Y. y Diakoulaki, D., 1998). También es

reseñable su aplicación para seleccionar el emplazamiento de plantas minihidráulicas (Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J.P. y Mareschal, B., 1987) y en la evaluación y comparación entre diferentes proyectos de generación de energía eléctrica (Greening, L.A. y Bernow, S., 2004; Haralambopoulos, D.A. y Polatidis, H., 2003), lo que dio como resultado escenarios difusos (Goumas, M. y Lygerou, V., 2000).

#### 4. Métodos de medición de valor o *ranking*

La característica principal de los métodos de medición de valor o *ranking* es la asignación *a priori* de los pesos de cada criterio. De manera que a cada atributo se le asigna un peso que representa su contribución parcial al problema, y permite asignar a cada alternativa un valor numérico para poder determinar el orden de preferencia.

##### *AHP - Analytic Hierarchy Process (Proceso analítico jerárquico)*

El proceso analítico jerárquico desarrollado por el doctor en Matemáticas Thomas L. Saaty en la década de los setenta y propuesto en 1980 (Saaty, T.L., 1988) parte de la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisión con criterios múltiples, se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados; ya que para el tomador de decisiones es más fácil sopesar la relevancia de cada criterio dentro de un nivel en el que estén agrupados criterios similares.

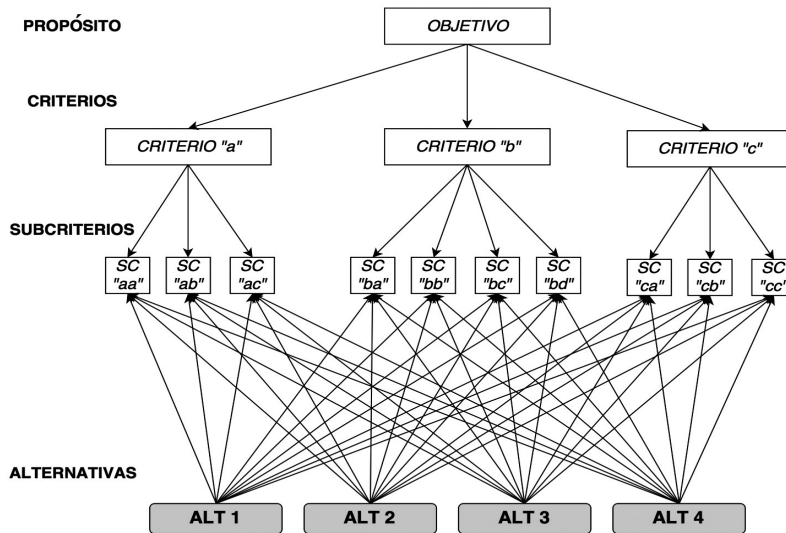
Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes. Estos últimos, también conocidos como variables, se ordenan en una estructura jerárquica de donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad (Saaty, T.L., 1990).

Según detalla Saaty (1988), este ordenamiento jerárquico tiene tres ventajas: en primer lugar, los cambios en niveles superiores se aplican automáticamente a los niveles inferiores. Además, permite una visión panorámica del problema en que influye y cuál o cómo es su funcionamiento; y por último, permite que el proceso evolucione, modificando alternativas, criterios o sub-criterios, sin descomponer la estructura.

Se caracteriza por ser un método compensatorio, ya que permite el intercambio de logros (Flament, M., 1999) donde la búsqueda de información es variable y el procesamiento interdimensional (Hogarth, R.M., 1987). El método AHP posee tres principios fundamentales:

1. Construcción de jerarquías. Como se puede ver en la figura 4, donde el primer nivel corresponde al propósito general u objetivo; el siguiente a los criterios, subcriterios, subsubcriterios; y el último a los atributos de cada una de las alternativas de acuerdo con el nivel de criterios inferior. El árbol se puede construir de manera descendente o ascendente, siendo el segundo más complejo para el analista pero más recomendable para el tomador de decisiones. Ya que es más complicado seleccionar todos los subcriterios de bajo nivel y agruparlos de tal forma que en los siguientes niveles jerárquicos no se produzcan relaciones de dependencia entre ellos. Uno de los fundamentos, y a la postre debilidades del método AHP, es que tanto los criterios como los subcriterios deben ser independientes entre sí.
2. Establecimiento de prioridades. A través de juicios de valor por comparaciones pareadas de los criterios y subcriterios, generalmente se utiliza la escala AHP, o de comparación por pares; también desarrollada por Saaty (1990), que a través de estudios experimentales demostró que la escala de nueve elementos es razonable y refleja con mínimos desvíos la preferencia de cada elemento entre un conjunto dado, eliminando así la distorsión que provocan los elementos próximos a uno o infinito. Esta escala se recoge en la tabla 3, y también se puede utilizar para realizar comparaciones pareadas de preferencia, comparar las alternativas –incluso análisis prospectivos– de búsqueda de lo más probable comparando la probabilidad de los resultados con criterios o alternativas.
3. Consistencia lógica. Implica transitividad y proporcionalidad, es decir que se respete el orden de preferencia entre las alternativas y la transitividad, y que las proporciones en el orden de alternativa se cumplan (proporcionalidad). Si estos dos factores se cumplen exactamente estaríamos hablando de un 100% de consistencia, algo únicamente teórico. En la práctica, la transitividad tiene que mantenerse pero la proporcionalidad tiene determinados umbrales que se miden a través de la proporción de consistencia obtenida del índice de consistencia y el índice aleatorio.

**Figura 4.** Construcción de jerarquías, método AHP



Fuente: Saaty, T.L. (1988).

**Tabla 3.** Interpretación de la escala verbal para AHP

| Escala numérica | Escala verbal                                    | Interpretación   |
|-----------------|--|--|
| 1               | IGUAL importancia de ambos criterios             | Los dos criterios contribuyen de la misma forma al objetivo                |
| 3               | MODERADA importancia de un criterio sobre otro   | Uno de los criterios es levemente favorecido                               |
| 5               | FUERTE importancia de un criterio sobre otro     | Uno de los criterios es fuertemente favorecido                             |
| 7               | MUY FUERTE importancia de un criterio sobre otro | Uno de los criterios es fuertemente dominante                              |
| 9               | EXTREMA importancia de un criterio sobre otro    | Uno de los criterios domina al otro con el mayor orden de magnitud posible |
| 2 / 4 / 6 / 8   | Valores intermedios                              | Para juicios intermedios   |

Fuente: Saaty, T.L. (1978).

En resumen, según Saaty (1979), el método AHP es un modelo de decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida. Es un método de selección de alternativas en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto. Y es especialmente útil pues está basado en la interrelación directa del tomador de decisiones con el analista, de manera que la experiencia y el conocimiento del primero es tan importante como los valores utilizados en el proceso (Forman, E.H., 1990).

Es el método más extendido en la planeación energética, tanto en su aplicación única como en la combinación con otros métodos. Su uso más extendido es en el desarrollo de planes estratégicos de energía (Gwo-Hshiung, T. y Chien-Yuan, L., 1992; Heo, E., Kim, J. y Boo, K.J., 2010; Pusnik, M., Sucic, B., Urbancic, A. y Merse, S., 2012; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010; Yi, S.K., Sin, H.Y. y Heo, E., 2011), campo en el que sus propiedades han permitido incluir en el análisis nuevos aspectos, como la estimación de demanda (Massara, V.M. y Udaeta M.E.M., 2011; Zongxin, W. y Zhihong, W., 1997), el transporte y la gestión de la red eléctrica (Ramanathan, R. Y Ganesh, L.S., 1995; Voropai, N.I. e Ivanova, E.Y., 2002), la localización y selección de futuras instalaciones (Greening, L. A. y Bernow, S., 2004; Supriyasilp, T., Pongput, K. y Boonyasirikul, T., 2009), la incorporación del sistema de información geográfica, GIS (Higgs, G., Berry, R., Kidner, D. y Langford, M., 2008) o su integración en sistemas de planeación a largo plazo (Lee, A.H., Chen, H.H. y Kang, H.Y., 2009; Phdungsilp, A., 2010).

También es destacado su uso en la evaluación de alternativas, especialmente para comparar fuentes de energía renovables con sistemas convencionales. Su empleo empezó en los años noventa con la introducción de fuentes de energía renovables (Mohsen, M.S. y Akash, B.A., 1997; Ramanathan, R. y Ganesh, L.S., 1995a, 1995b; Zongxin, W. y Zhihong, W., 1997), posteriormente aumentó el número de alternativas significativamente (Chatzimouratidis, A.I. y Pilavachi, P.A., 2009; Kaya, T. y Kahraman, C., 2011; Stein, E.W., 2013), y en la última década se empiezan a estudiar solo fuentes de energía renovable (Charabi, Y. y Gastli, A., 2011; Lee, A.H., Chen, H.H. y Kang, H.Y., 2009; Mamlook, R., Akash, B.A. y Nijmeh, S., 2001; San Cristóbal, J.R., 2011; Yi, S.K., Sin, H.Y. y Heo, E., 2011). Por último, cabe destacar algunas aplicaciones del método AHP en problemas transversales a la planeación energética, como la gestión de recursos hídricos (Dong, L., Fanxiang, J. y Qiang, F., 2009), la asignación de recursos (Ramanathan, R. y Ganesh, L.S., 1995a, 1995b) o la planeación de la energía en el transporte (Yedla, S. Y Shreshtha, R., 2003).

En cuanto a la aplicación de AHP en otros campos podemos mencionar tres trabajos. En orden cronológico, el primero es una revisión bibliográfica



del año 2006 que recoge las 150 aplicaciones más destacadas en los últimos años (Vaidya, O. y Kumar, S., 2006). En segundo, el trabajo de Ho (2008) que habla de 66 casos de aplicación de AHP combinado con otros métodos. Y por último la revisión de Harrar (2010), que considera y amplía las publicaciones anteriormente citadas.

#### *MAUT - Multiple Attribute Utility Theory (Teoría de utilidad multiatributo)*

Como su nombre indica, se basa en el desarrollo de una función de utilidad de acuerdo con las preferencias del tomador de decisiones. Para ello, se mide la utilidad de cada criterio y las funciones de utilidad parciales, para incorporarlas a una función de utilidad global por adición. También se pueden plantear modelos de agregación por multiplicación, pero su alta complejidad les resta aplicabilidad. Asimismo, es posible clasificarla dentro de las técnicas de información *a priori* y establecer su base desde el principio de racionalidad. Tiene su origen en el trabajo de Ralph L. Keeney y Howard Raiffa (1976), que el mismo autor implementó en un problema de recursos energéticos hídricos, primero en 1977 con E.F. Wood y posteriormente en 1992 con T.L. McDaniels.

Se caracteriza porque evita la incompatibilidad entre alternativas, al ser un proceso interdimensional y la búsqueda de información variable (Hogarth, R.M., 1987); y por la transitividad de las preferencias, debido a que es un método compensatorio en el que los intercambios de logros están permitidos. Es uno de los pocos métodos diseñados y adaptados para el tratamiento del riesgo y la incertidumbre (Løken, E., 2007).

Se basa en el supuesto de que los atributos son independientes y que la alternativa óptima se obtiene de los distintos atributos de forma aditiva. Estos principios limitan la robustez del modelo final y se establece con base en tres axiomas:

1. Maximización de la función de utilidad, el tomador de decisiones busca maximizar una función que agregue todos los criterios relevantes para alcanzar el objetivo óptimo.
2. Tricotomía, todo par de alternativas *Alt 1* y *Alt 2* son comparables entre sí, existiendo una clasificación bien definida de acuerdo con el orden de preferencia, es decir:  
 $Alt 1 > Alt 2$ , *Alt 1* es preferida a *Alt 2*  
 $Alt 1 - Alt 2$ , *Alt 1* es indiferentes respecto de *Alt 2*
3. Transitividad en el orden de preferencias, es decir si *Alt 1* es preferida a *Alt 2* y *Alt 2* a *Alt 3*; se debe preferir *Alt 1* a *Alt 3*

Y se desarrolla a través de cuatro fases: en primer lugar la identificación de la forma funcional apropiada; en segundo, la construcción de las funciones de utilidad unidimensionales; tercero, el establecimiento de los parámetros de la función de utilidad multiatributo y, por último, la comprobación de la consistencia de la función construida.

En el campo de la planeación energética se ha utilizado principalmente para la selección de alternativas en la expansión del sistema eléctrico, en el que se aplicó de manera independiente (Heinrich, G., Basson, L., Cohen, B., Howells, M. y Petrie, J., 2007) o en combinación con diferentes métodos (Huang, J.P., Poh, K.L. y Ang, B.W., 1995; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010; Voropai, N.I. e Ivanova, E.Y., 2002), así como para estudios transversales, para desarrollar un índice de evaluación del impacto ambiental de las empresas eléctricas canadienses (McDaniels, T.L., 1996).

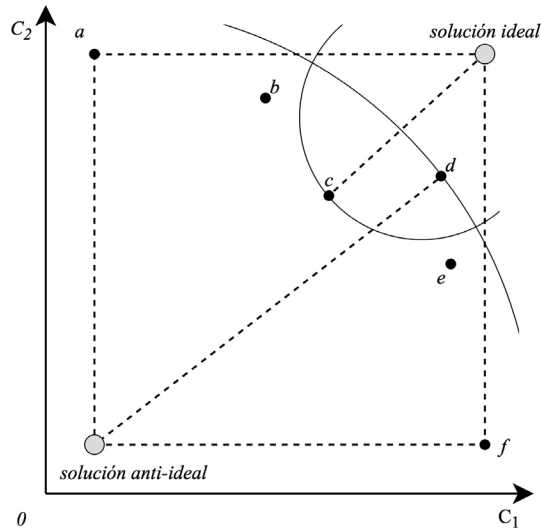
## 5. Métodos de nivel de preferencias o distancias

Tiene su origen en los métodos de la distancia a la alternativa ideal, donde alternativa ideal se entiende como aquella que supera al resto en todos los criterios. En la aplicación real hay que conformarse con la que esté más próxima. Coombs (1958) y Geoffrion (1965) plantearon la noción de solución ideal y su utilidad en la decisión multicriterio, respectivamente, que germinó en el concepto de solución por compromiso, definido por Zeleny (1973).

### *TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (Técnica para la preferencia del orden por similitud a la solución ideal)*

Este método fue desarrollado por Hwang y Yoon (2012); parte de la premisa de que la solución ideal es inalcanzable y, para buscar una solución de compromiso, ahonda en el trabajo de Zeleny (1973) que considera la solución de compromiso como la más próxima a la ideal. El método TOPSIS es eminentemente operativo, afronta el problema de trabajar con la solución ideal y con la anti-ideal; considerando que la solución de compromiso no debe limitarse a estar lo más cerca de la ideal, sino que también debe de ser la más alejada de la anti-ideal, lo que podemos apreciar en la figura 5 y que puede constituir un gran dilema. Cabe destacar que una solución ideal se define como una colección de niveles modelo en todos los atributos considerados; aunque dicha solución normalmente sea inalcanzable o irrealizable. Esta noción se basa en la idea de que el logro de tal meta se encuentra en la racionalidad de la elección humana.

**Figura 5.** Solución ideal y anti-ideal, método TOPSIS



Fuente: elaboración propia.

Suele ocurrir que una alternativa seleccionada desde el punto de vista de su distancia más corta respecto de la solución ideal positiva, deba competir con otra alternativa que se encuentra lo más alejada de la solución ideal negativa. Por ello, para definir la solución ideal, el método TOPSIS define un índice de similitud que se construye combinando la proximidad ideal positiva y la distancia respecto al ideal negativo.

El proceso del método TOPSIS es intuitivo; parte de la matriz de decisión, y normaliza los criterios para construir la matriz de decisión normalizada ponderada. Posteriormente determina la solución ideal positiva y la solución ideal negativa o anti-ideal; calcula las distancias a cada una de ellas, de cada alternativa, y finalmente calcula la proximidad relativa o similitud al ideal para realizar la ordenación de las alternativas. El trabajo de Yoon y Hwang (1985) nos puede servir de guía para su utilización.

Este proceso tiene dos problemas: en primer lugar, los efectos de la normalización que no deberían influir en el resultado final, pero esto ocurre y abre la puerta para utilizar otras formas de normalización (Milani, A.S., Shanian, A., Madoliat, R. y Nemes, J.A., 2005) diferentes a la original de los autores. Y en segundo, la inversión de orden; es decir, en el caso de que durante el proceso o *a posteriori* se plantee una nueva alternativa, hay que volver a realizar todo el proceso y este puede aportar resultados diferentes a los iniciales.

En el campo de la planeación energética se ha aplicado de manera única como apoyo a la toma de decisiones (Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitienė, I. y Balezentis, A., 2012) debido a su facilidad de comprensión, especialmente con elementos difusos o como método de evaluación en situaciones parciales como la selección entre diferentes elementos de soporte para turbina *off-shore* (Lozano-Minguez, E., Kolios, A.J. y Brennan, F.P., 2011). Asimismo, sus posibilidades de combinación con otros métodos son amplias, la más extendida es la utilización de AHP-fuzzy para determinar los pesos de los criterios cualitativos y cuantitativos, adaptada para modelar la imprecisión lingüística, la ambigüedad y el conocimiento incompleto (Choudhary, D. y Shankar, R., 2012; Kaya, T. y Kahraman, C., 2011).

*VIKOR - ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (Solución por compromiso para optimización multicriterio).*

Fue desarrollado por Serafim Opricovic en 1998 para la optimización multicriterio de problemas discretos complejos con criterios en conflicto, donde se determina una lista ordenada de las alternativas en función de la distancia a la solución ideal, la solución compromiso y los intervalos de estabilidad de acuerdo con los pesos establecidos.

El método VIKOR no suele ser empleado de manera independiente, en general se usa junto con métodos como AHP, ELECTRE o PROMETHEE, que desarrollan y trabajan las alternativas, los criterios y sus pesos, para finalmente aplicar VIKOR en la fase final.

Es destacable que el propio autor del método haya desarrollado y adaptado su modelo a escenarios fuzzy, TOPSIS-FUZZY (Opricovic, S., 2007); además de estudiar los resultados de su aplicación en comparación con los métodos hasta ahora descritos, TOPSIS, PROMETHEE y ELECTRE (Opricovic, S. y Tzeng, G.H., 2007).

VIKOR ha sido ampliamente utilizado en problemas MCDM de diversos campos tales como la reconstrucción sostenible después de un terremoto (Opricovic, S. y Tzeng, G., 2002); el desarrollo de políticas ambientales asociadas a la calidad del aire y su formulación (Tzeng, G., Tsaur, S., Lai, Y. y Opricovic, S., 2002); y la comparación de los análisis desarrollados con diferentes métodos (Opricovic, S. y Tzeng, G., 2008).

Otras áreas en las que se ha aplicado VIKOR son el diseño de experimentos (Tong, L., Chen, C. y Wang, C., 2007) en la planificación de recursos hídricos (Opricovic, S., 2009); la selección de un servicio Web (Khezrian, M., Wan, W., Ibrahim, S. y Kalantari, A., 2011); y la selección de un distribuidor de materias primas bajo un ambiente difuso (Amiri, M., Ayasi, S., Olfat, L. y Moradi, J., 2011).

En el campo de la planeación energética se suele combinar con el método AHP; este último para ponderar los criterios y VIKOR para establecer las prioridades. También en la selección de proyectos de energías renovables (Voropai, N.I. e Ivanova, E.Y., 2002) que permite la integración de lógica difusa con gran éxito (Løken, E., 2007). Otra abanico de posibilidades de aplicación se abre integrando el método VIKOR sobre una plataforma de simulación integrada (Zeleny, M., 1973), en este caso MODERGIS.

## 6. Comparación de los métodos. Ventajas y desventajas.

**Tabla 4.** Ventajas y desventajas de los métodos de sobreclasificación

| Métodos          | Ventajas   | Desventajas  |
|------------------|--|--|
| <b>ELECTRE</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La relación de sobreclasificación evita la transitividad de logros.</li> <li>- Es capaz de manejar criterios cuantitativos y cualitativos. Y de proveer una completa ordenación de las alternativas.</li> <li>- El tomador de decisiones puede expresar su estricta preferencia, indiferencia o ausencia de preferencia cuando se compara una alternativa con otra para cada criterio.</li> <li>- Reconocimiento de la relación de superioridad como debilitamiento de la preferencia estricta.</li> <li>- En ELECTRE III se obtiene una relación de dominancia para cada par de alternativas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La subjetividad en la elección de los umbrales de concordancia y discordancia.</li> <li>- Necesidad de un análisis de sensibilidad para despejar dudas sobre los umbrales de concordancia y discordancia.</li> <li>- El papel que juegan los pesos en el índice de concordancia.</li> <li>- No considera la intensidad de las preferencias.</li> <li>- Es un método menos sólido teóricamente.</li> </ul> |
| <b>PROMETHEE</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- PROMETHEE es fácilmente comprensible por el tomador de decisiones; es en realidad uno de los más intuitivos de la teoría de decisión multicriterio de tipo discreto.</li> <li>- Facilita al tomador de decisiones expresar su nivel de preferencia.</li> <li>- Permite obtener una ordenación total o parcial de las alternativas no dominadas.</li> <li>- Es fácil de aplicar a problemas reales.</li> <li>- Incorpora conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física, la cual es de fácil comprensión para el tomador de decisiones.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El método está sujeto a subjetividades, especialmente en lo que se refiere a la definición de los parámetros de los seudocriterios.</li> <li>- Ciertas limitaciones para su aplicación en la selección de carteras de proyectos.</li> <li>- Este es un método menos sólido teóricamente.</li> </ul>   |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Ventajas y desventajas de los métodos de medición de valor

| Métodos     | Ventajas   | Desventajas  |
|-------------|--|--|
| <b>AHP</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- AHP es una de las técnicas más sólidas teóricamente; y a su vez permite tratar problemas complejos.</li> <li>- Es un método no probabilístico que usa una estructura jerárquica y un modelo de preferencias aditivo.</li> <li>- Utiliza una escala que cuantifica verbalmente las descripciones expresadas, lo que facilita el uso de criterios cualitativos y cuantitativos.</li> <li>- Es más fácil de aplicar a problemas reales.</li> <li>- El AHP posee un software de apoyo y su aplicación comprende una variada gama de experiencias prácticas en campos muy diversos en diferentes países del mundo.</li> <li>- Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es el caso.</li> <li>- Herramienta de fácil utilización y permite que una solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.</li> <li>- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene diferentes escalas de evaluación para la determinación de los pesos de los criterios.</li> <li>- Este método no satisface un sistema axiomático consistente y atractivo.</li> <li>- Esta falta de base axiomática hace que las clasificaciones de alternativas proporcionadas por diferentes métodos resulten cuestionables, cuando no arbitrarias.</li> <li>- Demanda un tipo de información que generalmente resulta difícil de conseguir.</li> <li>- La introducción de una nueva alternativa puede hacer variar la estructura de preferencias del tomador de decisiones, o poner de manifiesto alguna inconsistencia en los juicios.</li> <li>- El método AHP consume mucho tiempo de cálculo cuando el número de alternativas o criterios es elevado.</li> </ul> |
| <b>MAUT</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- MAUT permite al tomador de decisiones considerar sus preferencias en la forma de una función de utilidad.</li> <li>- Esta función refleja el valor o la utilidad que cada alternativa tiene para el tomador de decisiones.</li> <li>- Provee un fuerte fundamento axiomático para la toma de decisiones racional bajo múltiples objetivos.</li> <li>- Este método va a preferir la solución que siempre maximiza su bienestar.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Su aplicación práctica requiere la aceptación de dos supuestos, la existencia de funciones de utilidad asociadas a cada atributo y la independencia de preferencias entre atributos.</li> <li>- Los atributos tienen que ser mutuamente independientes, lo cual significa que los resultados de un atributo no dependen del comportamiento del otro.</li> <li>- Gran complejidad de cálculo y elevada interacción con el tomador de decisiones para la construcción y agregación de las funciones de utilidad.</li> </ul>   |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.** Ventajas y desventajas de los métodos de distancias

| Métodos       | Ventajas  | Desventajas   |
|---------------|---|---|
| <b>TOPSIS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El método TOPSIS introduce dos puntos de referencia: ideal positiva e ideal negativa.</li> <li>- Capacidad para una rápida identificación de la mejor alternativa.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- TOPSIS no considera la importancia relativa de esas distancias.</li> <li>- Los valores normalizados en el método TOPSIS dependen de la unidad de evaluación de la función del criterio.</li> </ul>   |
| <b>VIKOR</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- VIKOR es una herramienta útil para facilitar la toma de decisiones en un ambiente de múltiples objetivos para obtener unos resultados científicos y razonables para los tomadores de decisiones.</li> <li>- VIKOR es una poderosa herramienta en situaciones donde el tomador de decisiones no es capaz de o no sabe cómo expresar sus preferencias al comienzo del diseño del problema.</li> <li>- Los tomadores de decisiones tienen amplia disponibilidad para aprobar las soluciones, ya que las mismas están en el punto más cercano a la solución ideal.</li> <li>- Existe una relación lineal entre cada función-criterio y su utilidad.</li> <li>- VIKOR permite tratar criterios que son conflictivos y con unidades diferentes.</li> <li>- Un análisis de estabilidad determina la ponderación o peso de los intervalos de estabilidad.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los resultados de VIKOR dependen de la solución ideal. Al respecto, la inclusión o exclusión de una alternativa podría afectar el <i>ranking</i> de un nuevo conjunto de alternativas.</li> <li>- VIKOR tiene un problema bastante crítico en la derivación de la preferencia de las alternativas. Visto esto, ya han surgido varias propuestas para mejorar la obtención del <i>ranking</i> de preferencia</li> </ul> |

Fuente: elaboración propia.

## 7. Conclusiones

Al analizar los diferentes MCDM, se puede observar que en su aplicación no existe una opción mejor de forma general, todos ellos tienen sus ventajas, desventajas y limitaciones. Hay métodos que se pueden considerar más

óptimos de acuerdo con la información de la que disponga, a la implicación del tomador de decisiones en su desarrollo o a las características específicas de cada problema concreto. Esto provoca que los diferentes métodos se puedan aplicar de manera complementaria para tratar un mismo problema, ya sea analizándolo a través de varios de ellos o en combinación de dos o más. Esta diversidad de métodos, por una parte, es probable que sea consecuencia de la carencia de una base axiomática sólida. Pero desde otra perspectiva, son el resultado del increíble interés práctico que han proporcionado.

De cara a su aplicación es importante elegir un método que, en la medida de lo posible, el tomador de decisiones pueda comprender, ya que de su entendimiento dependerá en gran medida la confianza en los resultados, así como la aplicación de los mismos. Para esta elección es importante seleccionar un método que pueda medir el verdadero objetivo del problema, así como que sea compatible con los datos disponibles.

De la misma forma, la existencia de software especializado no suprime la necesidad de un analista experto, puesto que es necesaria una aplicación cuidadosa de estas técnicas para que las decisiones o soluciones que se propongan para un determinado proyecto sean razonablemente aceptables. Es decir, además de presentar unas valoraciones de calidad, estas soluciones deben estar convenientemente justificadas y explicadas.

También hay que destacar que estos métodos han adquirido una madurez importante al momento de analizar problemas que van desde unas pocas alternativas hasta cientos de ellas, y han demostrado su idoneidad en multitud de campos, a la vez que se continúa con su desarrollo y evolución, altamente impulsado por su implementación como herramientas informáticas.

Como tendencia en el campo se puede destacar que el método AHP es el más utilizado, principalmente por su facilidad de comprensión y su adaptabilidad a trabajar combinado con otros métodos, ya que AHP involucra todos los aspectos de toma de decisiones y es capaz de desarrollar completamente el proceso. Sin embargo, de la misma forma también se muestra como una poderosa herramienta que puede ser usada para la descomposición de problemas más complejos en un modelo o nodo jerárquico (Chatzimouratidis, A.I. y Pilavachi, P.A., 2009).

---

#### **Agradecimientos:**

Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de la Junta de Castilla y León (a través del proyecto de referencia BU329U14) y del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER (a través del proyecto de referencia ECO2013-47129-C4-3-R). A estas instituciones les mostramos nuestro agradecimiento.



## Los autores

Rodrigo Palacios es arquitecto técnico por la Universidad de Salamanca. Tiene un máster en Energías Renovables, con especialidad en planificación y análisis de viabilidad, por la Universidad CEU San Pablo. Máster en Prevención de Riesgos Laborales, especialidad en Auditoría, por la Universidad Camilo José Cela. Es aspirante al grado de doctor en Ingeniería Civil y Tecnologías Industriales en la Universidad de Burgos.

Ha presentado los resultados de sus estudios en congresos nacionales e internacionales. También ha publicado capítulos de libros. Es cofundador de dos empresas reconocidas con diferentes premios a nivel nacional.

Sus áreas de interés en investigación son la toma de decisiones, la optimización y el emprendimiento.

rpsaldana@ubu.es

Joaquín Pacheco es catedrático de la Universidad de Burgos desde 2009. Desde 1987 imparte diferentes asignaturas de Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa en la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Doctor en Matemáticas por la Universidad Complutense de Madrid en 1994. Coordina el grupo de investigación sobre Técnicas metaheurísticas y su aplicación a problemas reales, de la Universidad de Burgos. Asimismo, es director de la Unidad Consolidada de Investigación UIC70 de la Junta de Castilla y León. Ha publicado más de cincuenta trabajos, entre los que destacan más de treinta artículos en revistas incluidas en el JCR del ISI así como capítulos de libros en editoriales como Springer. Ha dirigido trece tesis doctorales sobre las líneas de investigación mencionadas antes, además de otras en proceso. Es autor de cinco sistemas informáticos con propiedad intelectual registrada a favor de la Universidad de Burgos.

jpacheco@ubu.es

### Bibliografía

- Amiri, M., Ayasi, S., Olfat, L. y Moradi, J. (2011). Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR under Fuzzy Circumstance Case Study: An Iranian Car Parts Supplier. *International Bulletin of Business Administration* 10(6), 66-75.
- Ávila, R. (2000). El AHP y su aplicación para determinar los usos de la tierra – El caso de Brasil. *Proyecto regional “Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible” – FAO, Santiago de Chile-Chile.*
- Barba-Romero, S. (1987). Panorámica actual de la decisión multicriterio discreta. *Investigaciones Económicas*, 11(2), 279-308.
- Barberis, G.M.F. y Ródenas, M.D.C.E. (2006). Nuevos criterios generalizados para modelar las preferencias del decisor en los métodos de relaciones de superación. *Rect@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, (7), 95-117. Recuperado en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2387768>
- Barda, O. H., Dupuis, J. y Lencioni, P. (1990). Multicriteria Location of Thermal Power Plants. *European Journal of Operational Research*, 45(2-3), 332-346.
- Beccali, M., Cellura, M. y Ardenne, D. (1998). Decision Making in Energy Planning: the ELECTRE Multicriteria Analysis Approach Compared to a Fuzzy-sets Methodology. *Energy Conversion and Management*, 39(16), 1869-1881.
- Beccali, M., Cellura, M. y Mistretta, M. (2003). Decision-Making in Energy Planning. Application of the Electre Method at Regional Level for the Diffusion of Renewable Energy Technology. *Renewable Energy*, 28(13), 2063-2087.
- Brans, J.P. (1986). L'élaboration d'instruments d'aide à la décision, en *L'aide à la décision*. Nadeau, Raymond et Maurice Landry (Recops.). Quebec: Les presses de l'Université Laval, 183-213.
- Brans, J.P. y Mareschal, B. (1992). PROMETHEE V: MCDM Problems with Segmentation Constraints. *Infor*, 30(2), 85.
- Brans, J. P. y Mareschal, B. (1994). The PROMCALC and GAIA Decision Support System for Multicriteria Decision Aid. *Decision support systems*, 12(4-5), 297-310.
- Brans, J.P. y Mareschal, B. (1995). The PROMETHEE VI procedure: How to Differentiate Hard from Soft Multicriteria Problems. *Journal of Decision Systems*, 4(3), 213-223.
- Brans, J.P., Vincke, Ph. y Mareschal, B. (1986). How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238.
- Buchanan, J.T., Sheppard, P.J. y Vanderpooten, D. (1999). *Project Ranking Using ELECTRE III*. Nueva Zelanda: Departamento de Sistemas de Gestión, Universidad de Waikato.

- Catalina, T., Virgone, J. y Blanco, E. (2011). Multi-Source Energy Systems Analysis Using a Multi-criteria Decision Aid Methodology. *Renewable Energy*, 36(8), 2245-2252.
- Cavallaro, F. (2009). Multi-criteria Decision Aid to Assess Concentrated Solar Thermal Technologies. *Renewable Energy*, 34(7), 1678-1685.
- Cavallaro, F. (2010). A Comparative Assessment of Thin-film Photovoltaic Production Processes Using the ELECTRE III Method. *Energy Policy*, 38(1), 463-474.
- Charabi, Y. y Gastli, A. (2011). PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-criteria Evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
- Chatzimouratidis, A.I. y Pilavachi, P.A. (2009). Technological, Economic and Sustainability Evaluation of Power Plants Using the Analytic Hierarchy Process. *Energy policy*, 37(3), 778-787.
- Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making under Fuzzy Environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9.
- Choudhary, D. y Shankar, R. (2012). An STEEP-Fuzzy AHP-TOPSIS Framework for Evaluation and Selection of Thermal Power Plant Location: A Case Study from India. *Energy*, 42(1), 510-521.
- Coombs, C. H. (1958). On the Use of Inconsistency of Preferences in Psychological Measurement. *Journal of Experimental Psychology*, 55(1), 1.
- Diakoulaki, D. y Karangelis, F. (2007). Multi-Criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis of Alternative Scenarios for the Power Generation Sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716-727.
- Dong, L., Fanxiang, M y Qiang F. (2009). Application of Analytic Hierarchy Process in Optimization Election of Groundwater Artificial Recharge Methods in Sanjiang Plain. International Conference on Management and Service Science. IEEE, Beijing.
- Fenton, N. y Wang, W. (2006). Risk and Confidence Analysis for Fuzzy Multicriteria Decision Making. *Knowledge-Based Systems*, 19(6), 430-437.
- Flament, M. (1999). Glosario multicriterio. *España: Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio*. Alberta: Universidad de Edmonton.
- Forman, E.H. (1990). Multi-criteria Decision Making and the Analytic Hierarchy Process. *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 295-318.
- Geoffrion, A.M. (1965). *A Parametric Programming Solution to the Vector Maximum Problem, with Applications to Decisions under Uncertainty* (WP-68). California: Universidad de Los Ángeles.
- Georgopoulou, E., Lalas, D. y Papagiannakis, L. (1997). A Multicriteria Decision Aid Approach for Energy Planning Problems: The Case of Renewable Energy Option. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 38-54.
- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y. y Diakoulaki, D. (1998). Design and Implementation of a Group DSS for Sustaining Renewable Energies Exploitation. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 483-500.

- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Mirasgedis, S., Zaimi, S. y Lalas, D. P. (2003). A Multiple Criteria Decision-Aid Approach in Defining National Priorities for Greenhouse Gases Emissions Reduction in the Energy Sector. *European Journal of Operational Research*, 146(1), 199-215.
- Goumas, M. y Lygerou, V. (2000). An Extension of the PROMETHEE Method for Decision Making in Fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploitation Projects. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 606-613.
- Goumas, M.G., Lygerou, V.A. y Papayannakis, L.E. (1999). Computational Methods for Planning and Evaluating Geothermal Energy Projects. *Energy policy*, 27(3), 147-154.
- Greening, L.A. y Bernow, S. (2004). Design of Coordinated Energy and Environmental Policies: Use of Multi-Criteria Decision-Making. *Energy policy*, 32(6), 721-735.
- Guitouni, A. y Martel, J.M. (1998). Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.
- Gwo-Hshiung, T., Tzay-an, S. y Chien-Yuan, L. (1992). Application of Multicriteria Decision Making to the Evaluation of New Energy System Development in Taiwan. *Energy*, 17(10), 983-992.
- Haralambopoulos, D. A. y Polatidis, H. (2003). Renewable Energy Projects: Structuring a Multi-criteria Group Decision-Making Framework. *Renewable energy*, 28(6), 961-973.
- Harrar, A. (2010). Propuesta de aplicación de técnicas de decisión multicriterio en el desarrollo de alimentos funcionales en Venezuela. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Haydt, G., Leal, V. y Dias, L. (2014). A Multi-Objective Approach for Developing National Energy Efficiency Plans. *Energy Policy*, 67, 16-27.
- Heinrich, G., Basson, L., Cohen, B., Howells, M. y Petrie, J. (2007). Ranking and Selection of Power Expansion Alternatives for Multiple Objectives under Uncertainty. *Energy*, 32(12), 2350-2369.
- Heo, E., Kim, J. y Boo, K.J. (2010). Analysis of the Assessment Factors for Renewable Energy Dissemination Program Evaluation using Fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2214-2220.
- Higgs, G., Berry, R., Kidner, D. y Langford, M. (2008). Using IT Approaches to Promote Public Participation in Renewable Energy Planning: Prospects and Challenges. *Land Use Policy*, 25(4), 596-607.
- Ho, W. (2008). Integrated Analytic Hierarchy Process and its Applications: a Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 186, 211-228.
- Hogarth, R.M. (1987). *Judgement and Choice: The Psychology of Decision*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Hokkanen, J. y Salminen, P. (1997). Choosing a Solid Waste Management System Using Multicriteria Decision Analysis. *European Journal of Operational Research*, 98, 19-36.

- Huang, J.P., Poh, K.L. y Ang, B.W. (1995). Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling. *Energy*, 20(9), 843-855.
- Hwang, C.L. y Yoon, K. (2012). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a State-of-the-Art Survey*. 186. Berlín, Heidelberg, Nueva York: Springer Science & Business Media.
- Jiang, Q. y Chen, C.H. (2005). A Multi-dimensional Fuzzy Decision Support Strategy. *Decision Support Systems*, 38(4), 591-598.
- Kaya, T. y Kahraman, C. (2010). Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- Kaya, T. y Kahraman, C. (2011). Multicriteria Decision Making in Energy Planning Using a Modified Fuzzy TOPSIS Methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585.
- Keeney, R.L. y Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keeney, R.L. y McDaniels, T.L. (1992). Value-Focused Thinking about Strategic Decisions at BC Hydro. *Interfaces*, 22(6), 94-109.
- Keeney, R.L. y Wood, E.F. (1977). An Illustrative Example of the Use of Multiattribute Utility Theory for Water Resource Planning. *Water Resources Research*, 13(4), 705-712.
- Khezrian, M., Wan, W., Ibrahim, S. y Kalantari, A. (2011). Service Selection Based on VIKOR Method. *International Journal of Research and Reviews in Computer Science*, 5(2), pp. 1182-1186.
- Lee, A.H., Chen, H.H. y Kang, H.Y. (2009). Multi-Criteria Decision Making on Strategic Selection of Wind Farms. *Renewable Energy*, 34(1), 120-126.
- Løken, E. (2007). Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1584-1595.
- Lozano-Minguez, E., Kolios, A. J. y Brennan, F. P. (2011). Multi-Criteria Assessment of Offshore Wind Turbine Support Structures. *Renewable Energy*, 36(11), 2831-2837.
- Mamlook, R., Akash, B. A. y Nijmeh, S. (2001). Fuzzy Sets Programming to Perform Evaluation of Solar Systems in Jordan. *Energy Conversion and Management*, 42(14), 1717-1726.
- Mareschal, B. y Brans, J.P. (1988). Geometrical Representation for MCDM, the GAIA Procedure. *European Journal of Operational Research*, 34: 69-77.
- Mareschal, B., Brans, J.P. y Vincke, P. (1984). *PROMETHEE: A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis*, Bruselas: Universidad Libre de Bruselas (ULB), 2013/9305.
- Massara, V.M. y Udaeta, M.E.M. (2011). Multi-Criteria Evaluation of the Expansion of Natural Gas Distribution Network by the Urban Dynamics (doi: 10.4090/juee.2010.v4n2.055062). *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)*, 4(2).

- Maystre, L.Y., Pictet, J. y Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*. (8). PPUR presses polytechniques.
- McDaniels, T. L. (1996). A Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities. *Journal of Environmental Management*, 46(1), 57-66.
- Milani, A.S., Shanian, A., Madoliat, R. y Nemes, J.A. (2005). The Effect of Normalization Norms in Multiple Attribute Decision Making Models: A Case Study in Material Selection. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 29(4), 312-318.
- Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J.P y Mareschal, B. (1987). Multicriteria Ranking of Alternative Locations for Small Scale Hydro Plants. *European Journal of Operational Research*, 31(2), 215-222.
- Mohsen, M.S. y Akash, B.A. (1997). Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process. *Energy Conversion and Management*, 38(18), 1815-1822.
- Moragues-Faus, A.M. y Ortiz-Miranda, D. (2010). Local Mobilisation Against Windfarm Developments in Spanish Rural Areas: New Actors in the Regulation Arena. *Energy Policy*, 38(8), 4232-4240.
- Mourmouris, J.C. y Potolias, C. (2013). A Multi-Criteria Methodology for Energy Planning and Developing Renewable Energy Sources at a Regional Level: A Case Study Thassos, Greece. *Energy Policy*, 52, 522-530.
- Mróz, T.M. (2008). Planning of Community Heating Systems Modernization and Development. *Applied Thermal Engineering*, 28(14), 1844-1852.
- Neves, L.P., Martins, A.G., Antunes, C.H. y Dias, L.C. (2008). A Multi-Criteria Decision Approach to Sorting Actions for Promoting Energy Efficiency. *Energy Policy*, 36(7), 2351-2363.
- Opricovic, S. (1998). *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*. Belgrado: Facultad de Ingeniería Civil, 2(1), 5-21.
- Opricovic, S. (2007). A Fuzzy Compromise Solution for Multicriteria Problems. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 15(03), 363-380.
- Opricovic, S. (2009). A Compromise Solution in Water Resources Planning. *Water Resource Management*, 23, 1549-1561.
- Opricovic, S. y Tzeng G. (2002). Multicriteria Planning of Post-Earthquake Sustainable Reconstruction. *The Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 17(3), 211-220.
- Opricovic, S. y Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514-529.
- Opricovic, S. y Tzeng G. (2008). A Comparative Analysis of the DEA-CCR Model and the VIKOR Method. *Yugoslav Journal of Operation Research*, 2(18), 187-203.



- Özelkan, E.C. y Duckstein, L. (1996). Analysing Water Resources Alternatives and Handling Criteria by Multicriterion Decision Techniques. *Journal of Environmental Management*, 48(1), 69-96.
- Papadopoulos, A. y Karagiannidis, A. (2008). Application of the Multi-Criteria Analysis Method Electre III for the Optimisation of Decentralised Energy Systems. *Omega*, 36(5), 766-776.
- Phdungsilp, A. (2010). Integrated Energy and Carbon Modeling with a Decision Support System: Policy Scenarios for Low-Carbon City Development in Bangkok. *Energy Policy*, 38(9), 4808-4817.
- Pusnik, M., Susic, B., Urbancic, A. y Merse, S. (2012). Role of the National Energy System Modelling in the Process of the Policy Development. *Thermal Science*, 16(3), 703-715.
- Ramanathan, R. y Ganesh, L.S. (1995a). Energy Alternatives for Lighting in Households: An Evaluation Using an Integrated Goal Programming-AHP Model. *Energy*, 20(1), 63-72.
- Ramanathan, R. y Ganesh, L.S. (1995b). Energy Resource Allocation Incorporating Qualitative and Quantitative Criteria: An Integrated Model Using Goal Programming and AHP. *Socio-Economic Planning Sciences*, 29(3), 197-218.
- Roulet, C.A., Flourentzou, F., Labben, H.H., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E., y Richalet, V. (2002). ORME: A Multicriteria Rating Methodology for Buildings. *Building and Environment*, 37(6), 579-586.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 2(1), 57-75.
- Roy, B. (1975). Vers une méthodologie générale d'aide à la décision. *Metra International*, 14, 459-497.
- Roy, B. (1981). The Optimisation Problem Formulation: Criticism and Overstepping. *Journal of the Operational Research Society*, 427-436.
- Roy, B. y Bertier, P. (1972). La méthode ELECTRE II (Une application au média-planning). 6.<sup>a</sup> Conferencia internacional de investigación operativa, Dublín, 21 al 25 de agosto. *Metra Internacional*, París.
- Roy, B. y Hugonnard, J.C. (1982). Ranking of Suburban Line Extension Projects on the Paris Metro System by a Multicriteria Method. *Transportation Research Part A: General*, 16(4), 301-312.
- Roy, B. y Skalka, J.M. (1984). ELECTRE IS: Aspects méthodologiques et guide d'utilisation. Document du Lamsade, 30. París: Universidad Paris-Dauphine.
- Ríos Insua, S., Bielza, C. y Mateos, A. (2002). *Fundamentos de los sistemas de ayuda a la decisión*. Madrid: RA-MA.
- Saaty, T.L. (1979). Applications of Analytical Hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulation*, 21, 1-20.

- Saaty, T.L. (1978). Modeling Unstructured Decision Problems. The Theory of Analytical Hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulation*, 20(3), 147-158.
- Saaty, T.L. (1988). *What is the Analytic Hierarchy Process?* Berlin, Heidelberg: Springer, 109-121
- Saaty T.L. (1998). That is Not the Analytic Hierarchy Process: What the AHP is and What it is Not. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, 6(6), 324-335.
- Saaty, T.L. (1990a). How to Make a Decision: the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T.L. (1990b). Physics as a Decision Theory. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 98-104.
- San Cristóbal, J.R. (2011). Multi-Criteria Decision-Making in the Selection of a Renewable Energy Project in Spain: the Vikor Method. *Renewable Energy*, 36(2), 498-502.
- Singh, A.K. y Parida, S.K. (2013). National Electricity Planner and Use of Distributed Energy Sources in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2, 42-54.
- Siskos, J. y Hubert, P. (1983). Multi-Criteria Analysis of the Impacts of Energy Alternatives: a Survey and a New Comparative Approach. *European Journal of Operational Research*, 13(3), 278-299.
- Solnes, J. (2003). Environmental Quality Indexing of Large Industrial Development Alternatives Using AHP. *Environmental Impact Assessment Review*, 23(3), 283-303.
- Stein, E. W. (2013). A Comprehensive Multi-Criteria Model to Rank Electric Energy Production Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 640-654.
- Stewart, T. J. (1992). A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice. *Omega*, 20(5), 569-586.
- Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitienė, I. y Balezentis, A. (2012). Prioritizing Sustainable Electricity Production Technologies: MCDM Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3302-3311.
- Supriyasilp, T., Pongput, K. y Boonyasirikul, T. (2009). Hydropower Development Priority Using MCDM Method. *Energy Policy*, 37(5), 1866-1875.
- Terrados, J., Almonacid, G. y Perez-Higueras, P. (2009). Proposal for a Combined Methodology for Renewable Energy Planning. Application to a Spanish region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2022-2030.
- Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S. (2010). The Use of Multiple Criteria Decision Making Methodologies for the Promotion of RES through Funding Schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy*, 38(12), 7783-7792.
- Tong, L., Chen, C. y Wang, C. (2007). Optimization of Multi-Response Processes Using the VIKOR Method. *International Journal Adv. Manuf. Technol.* 31, 1049-1057.



- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E. y Kiosses, I. (2009). Sustainable Energy Planning by Using Multi-Criteria Analysis Application in the Island of Crete. *Energy Policy*, 37(5), 1587-1600.
- Tzeng, G., Tsaor, S., Laiw, Y. y Opricovic, S. (2002). Multicriteria Analysis of Environmental Quality in Taipei: Public Preferences and Improvement Strategies. *Journal of Environmental Management*, 65 (2), 109–120.
- Vaidya, O. y Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research*, 169, 1-29.
- Voropai, N. I. e Ivanova, E.Y. (2002). Multi-Criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning. *International journal of electrical power & energy systems*, 24(1), 71-78.
- Yedla, S. y Shreshtha, R. (2003). Multicriteria Approach for Selection of Alternative Option for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi. *Transportation Research part A*, 37, 717–29.
- Yi, S.K., Sin, H.Y. y Heo, E. (2011). Selecting Sustainable Renewable Energy Source for Energy Assistance to North Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 554-563.
- Yoon, K. y Hwang, C.L. (1985). Manufacturing Plant Location Analysis by Multiple Attribute Decision Making: Part I — Single-Plant Strategy. *International Journal of Production Research*, 23(2), 345-359.
- Yu, W. (1992). *Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri: concepts, méthodes et applications*. (Disertación doctoral). Sorbona Paris 9, Paris.
- Zeleny, M. (1973). Compromise Programming. *Multiple criteria Decision Making*, 286.
- Zeleny, M. y Cochrane, J. L. (1973). *Multiple Criteria Decision Making*. Columbia: University of South Carolina Press.
- Zongxin, W. y Zhihong, W. (1997). Mitigation Assessment Results and Priorities for China's Energy Sector. *Applied energy*, 56(3), 237-251.