

LA PROGRAMACIÓN MUTICRITERIO COMO HERRAMIENTA DE LA ORDENACIÓN TERRITORIAL*

Ivonne Aránguiz

Resumen

La evaluación multicriterio se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones, con el fin básico de investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto. Según esto, es posible generar soluciones, compromisos y jerarquización de las alternativas de acuerdo con su grado de atracción.

La evaluación multicriterio se sitúa en el ámbito de la teoría de decisiones, la cual puede orientarse en dos direcciones: la positiva (descriptiva); y la normativa (prescriptiva). La primera concierne principalmente al campo de la lógica, la psicología y la sociología, basando su enfoque en la elaboración de una serie de constructos teóricos y articulaciones lógicas que pretendan explicar y predecir el comportamiento de los agentes decisores reales.

Esta técnica se basa en la evaluación de una serie de alternativas sobre una serie de criterios. El método de análisis puede servir para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente una serie de alternativas a partir de los criterios que se hayan considerado pertinentes en una evaluación.

Palabras claves: programación, multicriterio, multidecisión, optimización vectorial, sistema de información geográfica.

CONTENIDOS

INTRUDUCCIÓN.....	945
CONCEPTOS	946
TEORÍA DE DECISIONES	946
PRINCIPIOS BÁSICOS EN LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO	947
EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	949
<i>Ventajas de los Métodos de EMC</i>	949
<i>Desventajas de los Métodos de EMC</i>	950
<i>Integración de SIG y EMC</i>	950
DECISIÓN MULTICRITERIO Y MULTIOBJETIVO	950
<i>Multicriterio</i>	950
<i>Multiojetivo</i>	950
<i>Solución Compromiso</i>	951
ANÁLISIS DE PUNTO IDEAL EN LOS SIG	951
CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO	952
FACTORES DE LOCALIZACIÓN	952
MODELOS DE ASIGNACIÓN DE USOS DE SUELO	953
CONCLUSIONES.....	953
BIBLIOGRAFÍA.....	953

INTRUDUCCIÓN

La planificación comunal proporciona una enseñanza objetiva y particular si se enfrentan problemas de la selección de emplazamientos para determinadas inversiones infraestructurales como por ejemplo, instalaciones de incineración de basuras, aeropuerto, carretera, etcétera.

Existen metodologías en las que se acepta *a priori* la situación de que todos los criterios principales son singulares (*sui generis*). Las expresiones de criterios de una opción se consideran componentes de un vector donde todos son complementarios, o sea, forman una constelación características y no se puede realizar la ficticia sustitución aritmética (Strassert, 1997).

El camino en este método conduce a reflexionar desde el inicio sobre las opciones hasta que se llega al cono-

cimiento de las contradicciones latentes y luego, de vencerlas mediante un procedimiento de sopesar explícito de las ventajas frente a las desventajas.

La presente contribución representa el resultado del esfuerzo de abandonar la corriente principal (*mainstream*) poco satisfactoria, tanto en teoría como en la práctica y, andar por otro camino con el fin, de colocar el problema de sopesar en el centro de las consideraciones; es decir, se trata de asignar el papel que le corresponde al explícito sopesar de las ventajas frente a las desventajas en la solución de un problema de decisión multicriterio. Además, el problema de elección se simplifica mediante el uso de determinados sondeos de los datos de entrada y, paso a paso se hace soluble.

Las técnicas de decisión multicriterio han sido objeto de interés creciente desde la perspectiva de los sistemas que tratan el uso de la tierra. La significación de la teoría de la decisión multicriterio en los problemas de usos de la tierra deriva del reconocimiento de una serie de características complejas de los sistemas de uso:

- Son multidimensionales, tanto en sus aspectos espaciales como temporales
- Son multidisciplinarios, involucrando aspectos económicos, sociales y ambientales
- El propio uso de la tierra se define bajo un enfoque de alternativas múltiples: forestales, agrarias, ganaderas, turísticas, recreacionales, etcétera.

Las técnicas de “Programación Multicriterio”, también llamadas técnicas de optimización vectorial, se enfrentan con el problema de optimizar simultáneamente varios objetivos lineales. Así, esta programación se diferencia de la “Programación por Metas”, por trabajar con objetivos en lugar de metas. Como es difícil definir un óptimo cuando existen varios objetivos en

* Aránguiz, I. 2002. La programación multicriterio como herramienta de la ordenación territorial En: Gastó, J., P. Rodrigo e I. Aránguiz. Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

conflicto, la programación multiobjetivo en vez de buscar una solución óptima, trata de encontrar un conjunto de soluciones eficientes no dominadas u óptima de Pareto.

El primer tratamiento de un problema relacionado con el uso múltiple en el marco de las técnicas de decisión multicriterio proviene de la planificación forestal. La técnica utilizada era la Programación por Metas (PM). Hoy en día la alta diversificación de la información y de los volúmenes de datos digitales generados por ésta, hacen que sean necesarios sistemas basados en soportes informáticos para lograr la gestión de los datos. En el caso concreto de la información espacial ocurre algo similar, surgiendo así los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una potente herramienta para tal fin. Sin embargo, lograda la gestión cabal de los datos espaciales, se puede pensar que la ordenación territorial y, en concreto, las facetas de la ordenación física, puede ser asistida por los SIG, sin embargo, cuando se plantean los problemas de decisión frecuentes en la ordenación territorial con el dónde, cuánto, cuáles, etcétera, surge la necesidad de integrar herramientas ajenas a los SIG para poder responderlas. Tales herramientas pueden ser, para muchos propósitos, las técnicas de Evaluación Multicriterio.

En términos generales, la planificación del uso de la tierra consiste en acomodar diversos regímenes de uso según la superficie disponible. El régimen de uso se define como un esquema temporal de actividades que se desarrollan sobre la tierra, sobre un horizonte. El patrón de uso a su vez es una secuencia de actividades. La tierra disponible ofrece diferencias respecto de la calidad de los sitios y la capacidad productiva inherente. Además, no todas las áreas podrán soportar todos los regímenes de uso. El resultado buscado es determinar las cantidades de cada tipo de tierra que se van a destinar a cada régimen de uso, en función de los criterios de quién decide.

Para modelar una situación decisional respecto de la alternativa a elegir para transformar un sistema, lo primero que se requiere es establecer uno o varios medidores que permitan comparar entre sí los resultados (o consecuencias) de cada alternativa posible. De hecho, asumimos que todo decisor tiene una función de utilidad sobre la base de la cual se pueden ordenar los resultados. La dificultad estriba en el conocimiento explícito de esta función de utilidad. No obstante, esta función vendrá dada por la agregación de una serie de criterios relevantes en la situación de decisión. Si en ésta sólo se tiene un criterio relevante, el problema de decidir no es tal, sino simplemente un problema de buscar aquella alternativa de acción que mejor satisfaga con el criterio. Sin embargo, cuando los criterios de decisión son múltiples, la alternativa de acción más favorable respecto de un criterio no es seguramente la más favorable respecto de otro criterio, se está ante un verdadero problema de decisión.

Los SIG presentan importantes carencias en cuanto al tratamiento de los datos temáticos o atributos para la evaluación de las soluciones, momento en el cual es posible considerar técnicas hasta ahora ajenas a los SIG, como las de Evaluación Multicriterio con el fin de paliar en cierta medida esta carencia de la mayoría de los paquetes de SIG existentes. La resolución de problemas espaciales puede ser resuelta únicamente con las operaciones disponibles en los SIG. De ahí la necesidad de integrar otras técnicas con estos sistemas para resolver tal tipo de problemas espaciales, entre las cuales destacan los procedimientos de multicriterio como herramienta para asistir a la toma de decisiones espaciales (Barredo, 1996).

CONCEPTOS

Evaluación Multicriterio (EMC) se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El fin básico de las técnicas de EMC es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto. Según esto, es posible generar soluciones, compromisos y jerarquización de las alternativas de acuerdo con su grado de atracción (Janssen y Rietveld, 1990).

La toma de decisiones multicriterio se puede entender como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, sobre la base de una evaluación (expresada por puntuaciones, valores, objetos o intensidades de preferencia) de acuerdo con varios criterios. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teleología: objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad (Colson y De Bruin, 1989).

La decisión multicriterios y los modelos de evaluación, de los cuales EMC forma parte, proporcionan un conjunto de herramientas para el análisis de las complejas propiedades entre las alternativas de selección. La estructura matemática utilizada para describir la toma de decisiones multidimensional, está basada en la teoría de la optimización multiobjetivo, en la cual los objetos complementarios y conflictivos son descritos como un problema de decisión con múltiples objetivos (Carver, 1991).

TEORÍA DE DECISIONES

La EMC se sitúa en el ámbito de la teoría de decisiones, la cual puede orientarse en dos direcciones: la positiva (descriptiva) y la normativa (prescriptiva). La primera concierne principalmente al campo de la lógica, la psicología y la sociología, basando su enfoque en la elaboración de una serie de constructos teóricos y articulaciones lógicas que pretendan explicar y predecir el comportamiento de los agentes decisores reales

(Romero, 1993). Es decir, se centra en especificar las razones por las cuales las decisiones son tomadas de un modo determinado (Eastman *et al.*, 1993).

Por otro lado, el enfoque normativo o prescriptivo comienza por definir la racionalidad de los agentes económicos sobre la base de una serie de supuestos justificables intuitivamente. Seguidamente se realiza una serie de operaciones lógicas para deducir el comportamiento óptimo de los agentes decisores como aquel que es compatible con la racionalidad previamente establecida (Romero, 1993), enfatizando así el desarrollo, evaluación y aplicación de técnicas para facilitar la toma de decisiones (Moore, 1975).

Existe un notorio contraste entre los dos enfoques planteados. Mientras el primero intenta dilucidar el cómo son, el normativo plantea el establecimiento del cómo deben ser (cómo deben comportarse) los centros decisores.

El enfoque normativo puede basarse en la evaluación objetiva, o bien en la evaluación, subjetiva del criterio de decisión (Eastman *et al.*, 1993). En el análisis objetivo, las tentativas se hacen para obtener una valoración económica de los eventos sobre los cuales se decidirá, identificando todos lo efectos potenciales, así como las magnitudes de aquellos impactos basados en los eventos en el mercado de los eventos y criterios considerados.

Por otro lado, el análisis subjetivo de eventos comprende varias aproximaciones, cuyo propósito es ayudar a los centros decisores a ordenar sus ideas, expresando juicios consistentes y eligiendo racionalmente. Las técnicas adoptadas en las aproximaciones de este enfoque incorporan planteamientos explícitos de preferencias de los centros decisores; dichas preferencias pueden representarse de varias maneras: cantidades, ponderaciones, limitantes, metas y otros parámetros (Eastman *et al.*, 1993). Entre las aproximaciones, destacan la teoría multiatributo (Fishburn, 1974), la programación por metas (Ignizio, 1985), la programación lineal (Fiering, 1986; Zeleny, 1974) y otras técnicas de optimización (Nijkamp, 1979).

El enfoque normativo es el que concierne a este trabajo, el cual, si bien nace de una serie de aplicaciones en el campo de la economía, actualmente ha traspasado esta frontera y se ha extendido a otras áreas y disciplinas, entre las cuales las aplicaciones en el entorno de los SIG tienen importantes perspectivas de desarrollo.

En el campo de la decisión territorial, donde se debe tomar en cuenta el componente espacial de los datos, los procedimientos de EMC conocidos, no muestran un desarrollo destacable. Esto se debe a que los procedimientos de EMC no han sido pensados para trabajar con datos geográficos, de igual manera que la especialización que muestran los SIG, en cuanto al análisis de la componente espacial de los datos geográficos ha

dejado rezagados en esta evolución a algunos procedimientos de análisis que permiten un adecuado tratamiento de la componente temática, al menos en el campo de la toma de decisiones. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) permitirían llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico, espacial y temático, proporcionando soluciones a problemas espaciales complejos (Barredo, 1996).

PRINCIPIOS BÁSICOS EN LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

La EMC se basa en la evaluación de una serie de alternativas de acuerdo con diversos criterios. Este método de análisis puede servir para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente una serie de alternativas a partir de los criterios que se hayan considerado pertinentes en una evaluación.

La mejor organización para representar la relación de criterios y alternativas, es una matriz. En ésta, los criterios (j) pueden ocupar la columna principal y las alternativas (i), la fila principal (Figura 1). Ésta será denominada Matriz de Evaluación.

Los valores internos de esta matriz se llaman puntuaciones de criterio (x_{ij}) y representan el valor o nivel de deseabilidad que ha obtenido cada alternativa en cada criterio. Una vez constituida la matriz, se debe tomar en cuenta la importancia relativa de cada criterio frente al tipo de evaluación que se pretenda realizar. Esto es de mayor importancia cuando los criterios tienen distinta relevancia frente a la evaluación, con lo cual también se requiere asignar un valor específico a cada criterio, de acuerdo con su nivel de importancia relativa. Este valor recibe el nombre de peso o ponderación (w_{ij}), cuando se expresa cuantitativamente; y jerarquía, cuando se realiza de modo cualitativo u ordinal (Voogd, 1983).

		Alternativas (i)									
		1	2	3	4	5	6	7	i
Criterios (j)	1	PUNTUACIONES DE CRITERIOS (x_{ij})									
	2										
	3										
	4										
	.										
	.										
	.										
	.										
	j										

Figura 1. Estructura de una matriz de Evaluación

Una vez asignados los pesos a los criterios, éstos se pueden incluir en una nueva matriz, la de prioridades (Figura 2).

		Criterios (i)									
		1	2	3	4	5	6	7	i
Puntos de vista (v)	1	PESOS (x_{ij})									
	2										
	3										
	4										
	.										
	.										
	.										
	.										
	.										
	j										

Figura 2. Estructura de una matriz de Prioridades

Muchas veces es necesario tomar en cuenta distintos puntos de vista para realizar la evaluación. Cuando esto ocurre se hace indispensable recurrir a otro planteamiento de la información inicial, en el cual se presenta una visión estratificada de la matriz de evaluación (Voogd, 1993), existiendo la necesidad de construir una matriz de prioridades, donde para cada punto de vista se considera una jerarquía o peso distinto para los mismos criterios (Figura 2).

Una vez que se han establecidos las matrices de evaluación y prioridades, se debe acceder a alguno de los procedimientos de EMC (sumatoria lineal ponderada, índice de concordancia generalizado, análisis de punto ideal, etc.) para la asignación de valores a cada alternativa a la luz de los criterios de cada punto de vista, obteniendo así la matriz de valoración, en la cual cada alternativa ha obtenido un valor según cada uno de los puntos de vista planteados (Figura 3).

Los valores asignados a las alternativas en la matriz de valoración son una función de: el número y naturaleza de los criterios, las prioridades empleadas y las técnicas aritméticas aplicadas (Voogd, 1983). Una alternativa es recurrir a la sumatoria lineal ponderada, que se describe por la siguiente ecuación:

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}$$

donde:

- r_i : capacidad para instalación de zonas industriales;
- w_j : peso del criterio j ;
- x_{ij} : valor de la alternativa i en el criterio j .

Finalmente, se obtiene un valor de capacidad para cada lugar del territorio en la región evaluada. Esto se realiza asignando, de cada alternativa, representada en este caso por objetos espaciales contenidos en las capas temáticas que representan los criterios, aquella que posea el valor más alto de capacidad de uso (r_i).

		Alternativas (i)									
		1	2	3	4	5	6	7	i
Puntos de vistas (v)	1	VALORES (r_j)									
	2										
	3										
	4										
	.										
	.										
	.										
	.										
	.										
	j										

Figura 3. Estructura de una Matriz de Valoración

Por ejemplo, a partir de dos criterios, A y B, con un conjunto de alternativas valoradas (x_{ij}) y un peso de cada criterio (w_j) de 0,65 y 0,35, respectivamente, se aplica el procedimiento de la sumatoria lineal ponderada. Aunada a la superposición espacial de ambos criterios se calcula para cada alternativa (celdas en este caso) el valor de la capacidad a partir de la ecuación correspondiente, los valores de las alternativas y los pesos de los criterios que se ilustran en el ejemplo (Figura 4). En el modelo de capacidad se puede ver el procedimiento aritmético seguido para el cálculo del valor r_i de la alternativa superior derecha, el cual se desarrolla de manera similar para cada una de las restantes alternativas.

La formulación del modelo de programación multiobjetivo dentro del siguiente marco general:

$$\text{Eff}Z_{(x)} = [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_p(x)]$$

Sujeto a: $x \in F$

donde:

- Eff: significa la búsqueda de soluciones eficientes en el conjunto a optimizar;
- $Z(x)$: función objetivo p -dimensional (p objetivos);
- F : conjunto factible

Para generar, o al menos aproximar, el conjunto eficiente, existe una serie de enfoques, que se resumen en:

- Método de las ponderaciones.
- Método de las restricciones.
- Método NISE (Non Inferior Set Estimation).
- Método Simplex Multiobjetivo.

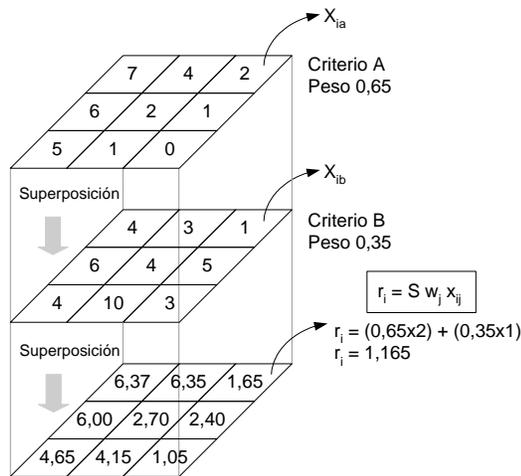


Figura 4. Ejemplo de modelado espacial (La Autora)

EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Existen múltiples relaciones que se pueden establecer entre la EMP y los SIG. Para lograr una visión global de los elementos que constituyen el proceso de EMC en el entorno de los SIG, se ha generado un diagrama (Figura 5) que engloba dichos elementos y muestra las relaciones que entre ellos se establecen (Barredo, 1996).

Existen dos conceptos destacables: decisión y alternativa. Una decisión es una selección entre alternativas (o posibilidades de elección), las cuales pueden representar diferentes cursos de acción, hipótesis, localizaciones u otros conjuntos de elementos. La conducta humana racional envuelve la evaluación de las alternativas, basada en ciertos criterios (Eastman *et al.*, 1993).

Dada la gran cantidad de alternativas que se pueden generar a partir de una capa temática, la mayoría de los modelos de EMC han sido desarrollados para evaluar un número pequeño de alternativas a partir de un número limitado de criterios, en el orden de ocho alternativas y ocho criterios, lo que viene a ser un aspecto fundamental en el momento de decantarse por alguno de estos métodos.

Los objetivos que se plantean en la EMC se pueden entender como una función a desarrollar; esto es, indicar la estructuración de la regla de decisión a utilizar. Por otro lado, los criterios corresponden a una cierta base para la toma de una decisión, base que puede ser medida y evaluada.

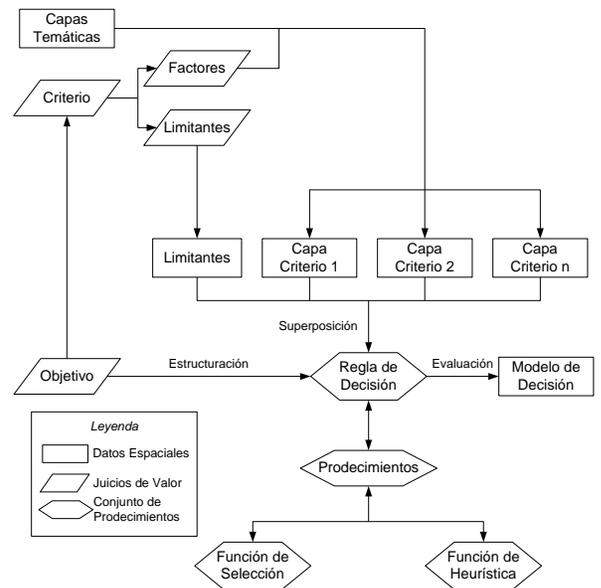


Figura 5. Sistema de integración entre SIG y EMC (La Autora)

Se debe destacar que en el uso de técnicas de EMC no es fácil encontrar datos en los SIG en escalas de medida que sean apropiadas, desde un punto de vista estricto en el uso de estas escalas, para su inclusión en métodos de EMC, lo que genera problemas en el uso de dichas escalas.

VENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE EMC

Permiten obtener una clasificación examinable de información objetiva, lo que ofrece mayores posibilidades de ampliar las fronteras del conocimiento del problema en estudio; así, según la clasificación final de las alternativas, podemos reconsiderar el valor y/o significado de los criterios inicialmente fijados; asimismo, el problema queda acotado por una serie de factores y variables conocidos por el centro decisor.

Proporcionan un medio para obtener un mejor conocimiento de las repercusiones de los juicios de valor, los cuales son planteados inicialmente en la matriz de prioridades; sin embargo, la obtención de valores utilizables como escala de razón o intervalos a partir de prioridades, será tratado posteriormente, aspecto éste de fundamental importancia en el momento de la implementación del método de EMC elegido.

Permiten integrar en un modo coherente y práctico, los diferentes enfoques frente a un mismo problema, lo cual corresponde a las puntos de vista de las matriz de prioridades.

Se puede lograr una considerable reducción de información inicial disponible, resumiendo en un solo conjunto de datos más pequeños las principales características de la información inicial respecto del problema planteado, pudiendo así ofrecer soluciones, o bien

utilizar este nuevo conjunto de datos como entrada para un nuevo proceso.

Permiten tomar decisiones de un modo más coherente, basadas en el conjunto de la multidimensionalidad de criterios y puntos de vista, asistiendo a procesos de toma de decisiones; en nuestro caso, acerca de problemas espaciales complejos.

Proporcionan una justificación para las decisiones políticas, las cuales ocasionalmente se pueden tomar con un alto grado de arbitrariedad no cuantificable; sin embargo, la jerarquización de los criterios según el punto de vista desde el cual se enfoque el problema, incidirá sustancialmente en la o las decisiones finales. Es decir, los métodos de EMC ofrecen resultados basados siempre en el punto de vista que asuma el decisor, ofreciendo a su vez la posibilidad de contrastar varios puntos de vista para la solución de problemas espaciales, o bien ofreciendo soluciones que integren varios puntos de vista en una sola solución de manera coherente.

DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE EMC

Ciertos aspectos de los métodos de EMC pueden ser técnicamente muy complejos, lo cual puede generar que sean poco comprensibles para no expertos en el campo de la evaluación. Esto genera un rechazo inicial frente a los métodos de EMC, dada esta complejidad; dichos métodos, en ocasiones no son fácilmente implementables en los actuales sistemas informáticos y en los paquetes de SIG disponibles en el mercado.

Un factor de gran relevancia es el riesgo de que los métodos de EMC sean utilizados como una salsa científica sobre las decisiones a tomar, ya sea por la complejidad de algunos procesos, o por el indebido uso de los métodos, escala de medida, criterios, así como de otros aspectos de su aplicación.

INTEGRACIÓN DE SIG Y EMC

La integración de técnicas plantea ciertos problemas o inconvenientes en el momento de realizar aplicaciones específicas. Entre estos inconvenientes se desataca:

- Imposibilidad de aplicación de métodos de EMC basados en la comparación por pares con largas series de datos, debido a las restricciones que plantean los actuales sistemas informáticos en este sentido.
- Dificultad que presentan algunos métodos de EMC en su implementación metodológica, lo que genera, un difícil análisis de los resultados, así como un desconocimiento del procedimiento interno de los métodos por parte de usuarios no especialistas en EMC
- La necesidad de generar, en muchos casos, programas de procesamiento de los datos (temáticos) anexos a los SIG, basados en algoritmos que des-

criban los métodos de EMC, lo que obviamente ocasiona que muchos usuarios de estos paquetes de SIG, como IDRISI y SPANS, ya cuenten con este tipo de recursos entre sus módulos de aplicación.

En la primera fase el SIG se utiliza para la entrada, transformación, almacenamiento y manipulación de los datos digitales espaciales relevantes para el problema planteado. Luego, a través de análisis determinísticos, se obtienen las áreas disponibles para una posterior evaluación, de las cuales se destacan las que posean una más alta capacidad. Posteriormente, se puede obtener un conjunto reducido de alternativas posibles para cierta actividad, así como su localización; sin embargo, dichos datos espaciales deben ser evaluados a la luz de procedimientos de EMC para poder establecer órdenes de preferencias, conjuntos de compromiso, jerarquías de capacidad, etc. Sin embargo, estos métodos no están integrados en los SIG de manera extensa, lo cual puede establecerse a través de la adaptación e incluso en sistemas informáticos de los métodos a implementar, con lo cual se dispondría de una herramienta (SIG + EMC) poderosa para estudios de localización-asignación de recursos o, de actividades, o bien de capacidad de acogida del territorio.

DECISIÓN MULTICRITERIO Y MULTI OBJETIVO

MULTICRITERIO

Se pueden establecer cuatro tipos de combinaciones entre objetivos y criterios. Los objetivos pueden ser simples o múltiples y los criterios se clasifican de la misma manera.

A partir de un objetivo único se establece un conjunto de criterios que de alguna manera incidan en la actividad evaluada: posteriormente, con la integración de los criterios, en forma de capas temáticas en la regla de decisión, se obtiene el modelo (capa temática) con las soluciones pretendidas por el objetivo; en dicho modelo cada dato ha recibido un valor, proveniente de un índice que indica, de mayor a menor, la capacidad de cada alternativa frente a la actividad evaluada.

Se pueden plantear objetivos conflictivos, lo que requiere un tratamiento especial de los criterios y la regla de decisión, para obtener unos resultados que puedan corresponder a este tipo de objetivos.

MULTIOBJETIVO

En este tipo de decisión se pueden presentar objetivos y jerarquías. Los primeros pueden ser complementarios y/o conflictivos, mientras que las jerarquías son conocidas y desconocidas. Cuando se plantea un problema de decisión con objetivos complementarios (no conflictivos), las alternativas (por ejemplo, polígonos) pueden satisfacer más de un objetivo, o bien satisfacer a todos los objetivos propuestos. Así, las áreas deseables pueden satisfacer a los objetivos al mismo tiempo,

de alguna manera específica.

Por otro lado, es factible que se presenten evaluaciones que requieren considerar simultáneamente objetivos conflictivos (opuestos). Este tipo de objetivos compiten por las áreas (alternativas) disponibles, ya que éstas pueden satisfacer a uno u otro, pero no a ambos (Eastman *et al.*, 1993), con objetivos complementarios. Cuando los objetivos son conflictivos, las alternativas pueden satisfacer a uno y sólo uno de los objetivos, ya que éstos son opuestos y competidores entre sí por los espacios o alternativas. La asignación de alternativas a uno u otro depende de la naturaleza de la regla de decisión, la cual está estructurada según los objetivos.

En el caso de objetivos complementarios, las decisiones a tomar a través de un método de EMC pueden ser resueltas a través de una extensión jerárquica del proceso de EMC. Esto se puede llevar a cabo asignando un peso a cada objetivo y combinando posteriormente las capas resultantes de cada objetivo en una sola capa que represente un índice de simple composición, a través del cual se estaría en posición de seleccionar las alternativas que hayan obtenido el valor más alto, las cuales ofrecerían la mayor posibilidad, considerando los objetivos, para la actividad propuesta.

El procedimiento se puede implementar considerando el orden asignado a cada objetivo para satisfacer sus metas según dicho orden; es decir, los objetivos de mayor jerarquía serán satisfechos antes que los de menor.

SOLUCIÓN COMPROMISO

Corresponde a evaluaciones que deban considerar objetivos conflictivos de jerarquías desconocidas. Se aplica cuando existe una serie de objetivos para ser desarrollados en una zona de estudio. Los programas de SIG no pueden resolver este tipo de planteamientos, por lo que se utilizan aproximaciones que presenten la optimización de una función de selección como programación matemática o programación por metas. El análisis de punto ideal, que se basa en el procedimiento de la programación por compromiso, o el procedimiento de asignación de actividades multiobjetivo, plantean posibilidades para la resolución de problemas de decisión de esta naturaleza.

Los procedimientos de la programación matemática y la programación por metas, no están estructurados para desarrollo en SIG, además, de ofrecer soluciones cuando trabajan con un pequeño número de alternativas. Esto es de fundamental importancia al implementar procedimientos para SIG, donde el número de alternativas existentes suele ser elevado.

ANÁLISIS DE PUNTO IDEAL EN LOS SIG

Este análisis se basa en el cálculo de los desvíos de cada alternativa con un punto ideal que se debe considerar inalcanzable; posteriormente, es comparada la distancia entre cada alternativa y el ideal en un espacio multivariado, donde cada criterio representa un eje.

Los modelos de punto ideal se basan en los desvíos entre un conjunto de soluciones ideales y uno de soluciones eficientes. Según la estructura de este método, la solución ideal dentro del conjunto de soluciones, su función es establecer el punto de referencia para todas las alternativas. Así, la mejor solución compromiso se define como aquella que tiene la menor distancia al punto teórico ideal.

Este método posee la posibilidad de asignar pesos a los criterios (w_j), los que pueden introducirse en la ecuación de cálculo de la distancia como factor modificador de los desvíos, según el peso asignado a cada uno.

Zeleny (1982) estructuró el procedimiento de análisis de punto ideal considerando los criterios como ejes de un sistema de referencia (X, Y) (Figura 6). Dentro del sistema de ejes, que representan criterios, se puede establecer el punto ideal como un nivel ideal de los atributos para las alternativas en cada criterio. Este punto está representado por M en la Figura 6. Este punto resulta inalcanzable para las alternativas del conjunto disponible, las cuales están contenidas dentro de P. El punto ideal se plantea como inalcanzable para asegurar las optimalidad paretiana del método de evaluación. Esto se refiere a que un conjunto se encuentra en su estado óptimo si ningún elemento de ese conjunto puede mejorar su situación sin que empeore la situación de algún otro elemento del conjunto.

La optimalidad paretiana se considera como una condición exigida necesaria para poder garantizar la racionalidad de las soluciones generadas por lo diferentes enfoques multicriterio. En un sentido práctico, este postulado plantea que el orden o valor de capacidad de una alternativa determinada no debe empeorar al mejorar el orden o valor de capacidad de otra alternativa, por ejemplo al variar su valor en alguno de los criterios establecidos.

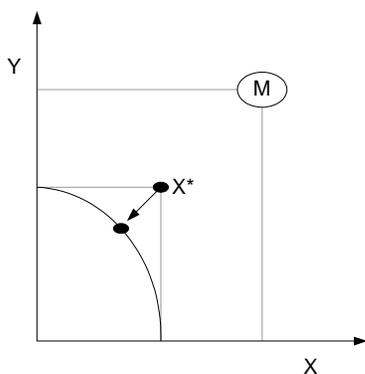


Figura 6. Análisis de punto ideal, aspectos básicos

CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO

La capacidad de acogida del territorio se puede enfocar de distintas maneras; en este estudio se entenderá como un derivado de la ocurrencia en un sector territorial, de ciertas características y elementos ambientales significativos respecto de una actuación determinada. Corresponderá a la sumatoria de los factores positivos, menos la sumatoria de los factores negativos, de la actividad evaluada, obteniendo para cada lugar del territorio un determinado valor que refleje la capacidad.

La planificación es definida por Boisier (1976) como un proceso racional de toma de decisiones, o como un intento inteligente y organizado para elegir las mejores alternativas tendientes a alcanzar metas específicas (Waterston, 1969). La estructura de evaluación generada por la integración de SIG y EMC la acerca a ciertos tipos de planificación específicos, como la planificación física, la cual es entendida como la previsión y control de los usos del suelo mediante una adecuada distribución de las actividades en el territorio (Gómez Orea, 1992).

Gómez Orea (1992) plantea que este enfoque puede asistir a procesos mayores, como la ordenación del territorio, la cual se manifiesta como la proyección espacial de una estrategia de desarrollo económico y social, implicando la integración de la planificación económico-social con la planificación física; estableciendo un sistema general de planificación, en el cual la gestión y respuesta a cuestiones espaciales puede recaer en los SIG; y su integración con técnicas de EMC.

La determinación de la capacidad de acogida para una actividad en un territorio se enmarca en una evaluación de objetivo simple y criterios múltiples, pudiendo establecer varios modelos de este tipo; es decir, varios modelos de capacidad de acogida para diferentes actividades en un mismo territorio, con lo cual se puede integrar en una evaluación multiobjetivo, logrando

determinar la localización de las actividades evaluadas en el territorio estudiado.

FACTORES DE LOCALIZACIÓN

La evaluación de criterios y los factores de evaluación es una tarea que va a incidir fundamentalmente en todo el proceso de evaluación, ya que la inclusión o exclusión de factores ocasionará resultados distintos, por lo cual el definir un conjunto válido de criterios y su valoración es la base de todo el proceso de EMC.

Gómez Orea (1985) analiza cuatro conjuntos de factores de localización que actúan en la evaluación de una actividad en el territorio. Estos factores corresponden a:

- Factores basados en patrones pasados de desarrollo. Partiendo de este elemento, se considera el patrón espacial actualmente existente, la influencia más fuerte para la localización; ello porque los costos en cuanto a recursos económicos y humanos que serían necesarios para producir cambios drásticos en el patrón de asentamiento, serían mucho mayores que en el caso de presentarse una continuidad espacial en el mismo.
- Factores relativos al medio natural. Se consideran elementos del medio que incidan como inductores o limitantes para la actividad evaluada; como ejemplo se puede citar la morfología del terreno, vegetación, paisaje, etc. Estos factores pueden actuar en muchos casos aumentando o disminuyendo los costos de localización asociados con cada actividad.
- Factores relativos a las características espaciales. Se consideran elementos como la distancia, accesibilidad, aglomeración, tamaño y forma. Éstos valoran, en relación con el espacio en cuestión, la distribución, interconexión, funcionalidad y otros elementos relacionados con la distribución de actividades y usos en el espacio; asimismo, otros elementos, como la vialidad como medios de transporte, también son considerados.
- Factores basados en otro tipo de determinantes locales. Se definen en este conjunto elementos como la tradición, el nivel de desarrollo económico, el sistema económico-social, las decisiones políticas de índole territorial y las preferencias personales. Este último conjunto de factores es el de más difícil valoración, ya que todos estos elementos pueden considerarse muy cambiantes en el tiempo, además, de estar relacionados con procesos de decisión humanos, lo cual, en muchos casos, dado su carácter cualitativo y ocasionalmente intransitivo, pueden ser muy complejos y hasta contradictorios.

Una vez establecidos los criterios a considerar para un uso determinado, se definirán los factores de aptitud e impacto a partir de los mismos, así como los limitantes

para el uso evaluado. La definición de los factores de aptitud e impacto se llevarán a cabo por separado, ya que se generará una capa para cada uno de estos aspectos; así, después de la evaluación de estos dos elementos, se podrá establecer la capacidad de acogida para cada uso y/o actividad propuesto.

Si bien los factores de localización comentados son una excelente base para definir los criterios, ciertos elementos que atañen a la particularidad de cada evaluación explican el uso de distintos criterios en evaluaciones concretas; en este sentido existen ciertos trabajos precedentes en este ámbito y las variables temáticas incluidas en cada caso en forma de criterios.

MODELOS DE ASIGNACIÓN DE USOS DE SUELO

El tipo de EMC se enmarca dentro de la solución compromiso, la cual ofrece una buena aproximación para la resolución de problemas de decisión de esta naturaleza. Asimismo, con la integración del análisis de punto ideal de este tipo de EMC, puede ser oportunamente aplicado a los problemas de decisión en los cuales se desconocen las jerarquías o importancia de los usos del suelo a asignar, aumentando considerablemente la potencia operativa de este tipo de EMC; siendo igualmente factible su inclusión en un entorno SIG, dada la estructura del procedimiento del análisis de punto ideal.

La integración del procedimiento del análisis de punto ideal en un entorno SIG, considerando el tipo de EMC planteado, puede entenderse en el diagrama de la Figura 7, donde se ve cómo los modelos de capacidad y los limitantes participan con insumos en los procedimientos del análisis de punto ideal establecidos, con cuya ejecución se obtendrá modelos de asignación de usos a partir de los procedimientos desarrollados.

En principio, a partir del diagrama de la Figura 7, se obtendrá una capa resultante de la superposición de los modelos de capacidad de acogida iniciales; lo cual se realiza mediante el uso de PC-ARC/INFO.

CONCLUSIONES

Dada las características de la teoría de multicriterio, no puede intentarse reducir el problema de decisión multicriterio a uno monocriterio, utilizando para ello la ficción de una escala común de utilidad y, con esto, transformar vectores en escalares. Más bien, hay que tratar los vectores como lo que son y ponerlos en un orden. Esto puede realizarse con un procedimiento sistemático de sondeo y, sopesar explícitamente las ventajas frente a las desventajas.

Es importante recurrir a la votación colectiva (decisión colectiva respecto de la decisión de grupos), en particular en el problema de las contradicciones inmanen-

tes, entendidas éstas como incumplimiento de la condición de transitividad.

En la decisión multicriterio individual no entra en consideración una supresión de votos, porque los votos a favor representan las ventajas y los votos en contra las desventajas de unas opciones en comparación con otras opciones. Un filtraje análogo de la matriz de votación desaparecida, por ello, una parte de las ventajas o de las desventajas. La eliminación de contradicciones, que se presenta en la distribución de votos a favor y en contra, se logra mediante el sopesar explícito de las ventajas frente a las desventajas.

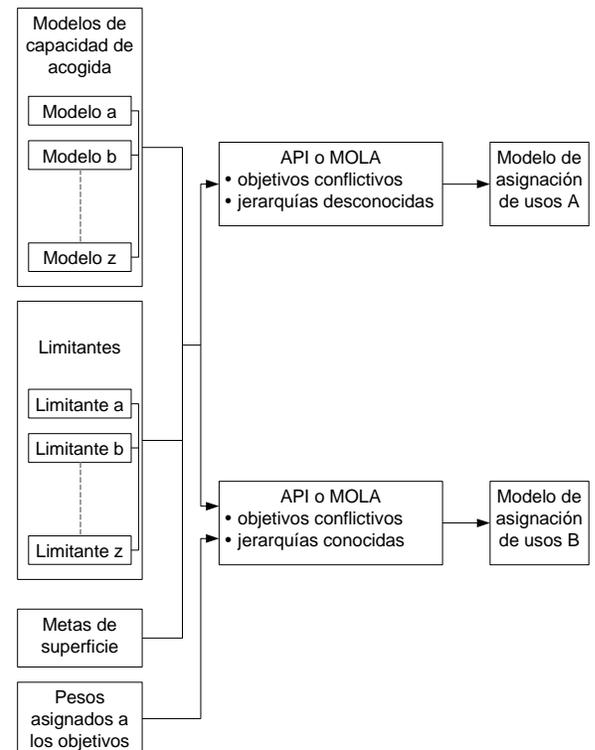


Figura 7. Estructura general de implementación de los modelos de asignación de usos del suelo en el entorno de los SIG

BIBLIOGRAFÍA

- BARREDO, J.I. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio, en la ordenación del territorio. Editorial RAMA. Madrid, España. 240 p.
- BOISIER, S. 1976 Diseño de planes regionales. C.I.C.C.P. Madrid.
- CARVER, S. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems, *Int. Journal of Geographical Information Systems*, vol. 5 No. 3. pp. 321-339.
- COLSON, G. y C. DE BRUIN. 1989. Models and Methods in Multiple Objective Decision Making, en G Colson y C. De Bruin (Eds.) *Models*

- and Methods in Multiple Criteria Decision Making. Pergamon, London.
- EASTMAN, J.R., P.A. KYEM, J. TOLEDANO y W. JIN. 1993. GIS and Decision Making. United Institute for Training and Research (UNITAR). Ginebra.
- FIERIN, B. 1986. Linear programming: An introduction. Qualitative applications in the social science, 60, SAGE, London.
- FISHBURN, P.C. 1974. Lexicographic orders, utilities and decision rules: A survey. Management Science, 20(11), 1442-1471.
- GÓMEZ OREA, D. 1992. Planificación rural. Agrícola Española. Madrid, España.
- GÓMEZ OREA, D. 1985. El espacio rural en la ordenación del territorio. Instituto de Estudios Agrarios, Pesqueros y Alimentarios. Madrid, España.
- IGINIZIO, J. 1985 Introduction to linear goal programming, Quantitative Applications in the Social Science 56, Sage, London.
- JANSSEN, R y P. RIETVELD. 1990. Multicriteria Analysis and GIS: An Application to Agriculture Landuse in the Netherlands, en H. Scholten y J. Stillwell (Eds). Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning. Kluwer, Dordrecht.
- MOORE, P. 1975. Public Decision Making and Resource Management, Discussion Paper N° 17, Department of Geography. Universidad de Toronto. Toronto.
- NIJKAMP, P. 1979. A theory of displaced ideals: an analysis of interdependence decisions via non-linear multi-objective optimization. Environment and Planning, 11, pages. 1165-1178.
- ROMERO, C. 1993. Teoría de la Decisión Multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Alianza, Madrid.
- STRASSERT, G. 1997. Decisión Multicriterio en la planificación regional: propuesta de una nueva metodología. Revista Interamericana de Planificación. Volumen XXIX, número 113.
- VOOGD, H. 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. Pion, Londres.
- WATERSTON, A. 1969 Planificación del desarrollo. Fondo de Cultura Económica. México.
- ZELENY, M. 1974. A Concep of Compromise Solutions and The Method of the Displaced Ideal, Computers and Operations Research, vol. 1, pages. 479-496.
- FELONY, M. 1982. Multi Criteria Decision Making, Mc Graw Hill, New York.