

EL TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES ORDINALES EN LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC): EL MÉTODO DE LAS PRECEDENCIAS

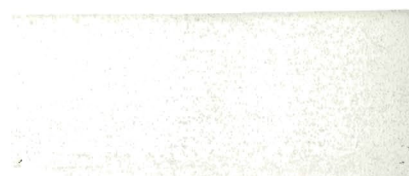
José Miguel Santos Preciado
U.N.E.D.

1. Introducción.

Una gran parte de las técnicas implícitas a la EMC (sobretudo las compensatorias) requieren la disponibilidad de la información referida a escalas cuantitativas de razón o intervalo. Sin embargo, determinadas variables ambientales (usos del suelo, sustrato geológico, etc.), de carácter cualitativo, nominales u ordinales, esenciales en el tratamiento de problemáticas de esta naturaleza, difícilmente pueden ser manipuladas con las operaciones algebraicas habituales (suma, resta, etc.), sin traspasar la barrera de lo permitido.

Una parte importante de los métodos propuestos para el análisis multicriterio con variables ordinales (Barba-Romero, S. y Pomerol J.C.; 1997) plantea la comparación de las alternativas (por pares y en conjunto), mediante procedimientos (compensatorios o no), más o menos sofisticados. Esta circunstancia, dificulta la implementación de la información geográfica en formato raster, para un tratamiento informático de la misma, mediante la utilización de SIG, inevitable en proyectos de cierta envergadura, al resultar muy difícil la aplicación de los métodos EMC, basados en la comparación por pares de largas series de datos..

Sin embargo, determinados procedimientos relacionan las alternativas de la matriz de decisión por comparación de las categorías de los criterios seleccionados por la EMC, lo que permite el tratamiento de variables ordinales en la aplicación de esta metodología, de acuerdo a relaciones propias a su escala de medida. En esta línea de trabajo, la descripción detallada del método de las precedencias sirve de base para comparar los resultados obtenidos en la valoración de la aptitud medioambiental de un determinado territorio con datos ordinales, según criterios dispares de trabajo en escalas de medida cualitativas o cuantitativas.



2. Algunos procedimientos en el tratamiento múltiple de variables ordinales.

Las variables ordinales permiten establecer, entre determinadas categorías, relaciones de igualdad-desigualdad y ordenación mayor a menor o viceversa, pero no cuantificar la proporción existente entre las mismas. Esta limitación es clave a la hora de conducirse en la definición de procedimientos de medida de la participación de este tipo de variables en la aplicación de la EMC. Los procedimientos más utilizados suelen ser de dos tipos:

- *Cuantificar las categorías de cada variable*, mediante un procedimiento o criterio previamente establecido. Este tipo de método se aplica con gran frecuencia, al sustituir los valores de orden: 1, 2, 3,, n. por los mismos valores, pero cuantitativos, y operar como si de este nuevo tipo de variables se tratara. Esta transformación: variable cualitativa en cuantitativa, se realiza la mayoría de las ocasiones sin razonamiento explícito que lo justifique. En otros casos, se define un método de valoración cuantitativa relativa, entre las categorías o clases, como el establecido por Saaty (1980), mediante el procedimiento de las *jerarquías analíticas*, que permite comparar las clases entre sí (Barredo Cano J.I.; 1996).
- *Ordenar y clasificar las combinaciones resultantes entre las categorías de cada variable*, de manera que la operación resultante sirva para valorar, de forma conjunta, la participación de los factores o criterios fundamentales de la EMC.

El primero de los procedimientos tiene la ventaja de unificar todas las variables a una escala de medida superior (cuantitativa), haciendo posible la aplicación de un método común para factores de procedencia dispar. Mientras, el segundo de los procedimientos respeta la naturaleza de las variables ordinales, homogeneizando la información a este tipo de escala. En caso de que no fuera así, se debería, bien ordenar las categorías de las variables nominales (ascenso de nivel de escala, de nominal a ordinal), bien clasificar las variables cuantitativas en clases (descenso del nivel de escala, de cuantitativa a ordinal).

3. Los procedimientos de clasificación de las combinaciones de las variables ordinales: el método de las precedencias.

El procedimiento más general de clasificación, si no se considerara ninguna jerarquía entre las diversas variables ordinales, sería aquel que produjera, de manera sucesiva, la combinación entre las categorías de las dos primeras, ordenando y reclasificando los cruces existentes, para, en una fase posterior, realizar la combinación con una tercera variable, y así sucesivamente. Un ejemplo puede servir para facilitar la exposición. Imaginemos la existencia de tres variables ordinales V_1 , V_2 y V_3 , con tres categorías, cada una de ellas: 1, 2 y 3. La combinación de las dos primeras (figura 1) originaría 9 cruces, que podrían ser reducidos a cuatro clases. La posterior combinación de estas cuatro categorías con las tres correspondientes a la variable V_3 originaría 12 cruces, que podrían ser reclasificados en otras cuatro clases definitivas.

El resultado sería la clasificación, de las 27 posibles combinaciones existentes entre las tres variables V_1 , V_2 y V_3 , en cuatro categorías, que servirían para valorar la participación conjunta de las tres variables ordinales:

CLASIFICACIÓN DE LAS COMBINACIONES $V_1/V_2/V_3$

<u>orden 1</u>	<u>orden 2</u>	<u>orden 3</u>		<u>orden 4</u>	
1 1 1	1 1 3	1 2 3	3 1 2	1 3 3	3 3 2
1 1 2	1 2 2	2 1 3	2 3 1	2 2 3	2 3 3
1 2 1	2 1 2	1 3 2	3 2 1	3 1 3	3 2 3
2 1 1	1 3 1	2 2 2	3 3 1	2 3 2	3 3 3
	2 2 1			3 2 2	
	3 1 1				

Otros métodos consideran la existencia previa de jerarquía entre las variables ordinales o la fijación de umbrales entre las categorías (clases de las variables que deben ser eliminadas), lo que restringe la clasificación de las posibles combinaciones con las limitaciones expuestas. Así, si establecemos una jerarquía superior de la variable V_1 , respecto a las otras dos V_2 y V_3 , deberíamos clasificar los cruces de estas dos últimas,

		V2		
		1	2	3
	1	1	2	3
V1	2	2	3	4
	3	3	4	4

		V3		
		1	2	3
	1	1	1	2
V1/V2	2	1	2	3
	3	2	3	4
	4	3	4	4

Figura 1. Combinaciones sucesivas de las categorías de variables ordinales.

manteniendo la preeminencia de la primera. El orden de las combinaciones sería en este caso:

<u>orden 1</u>	<u>orden 2</u>	<u>orden 3</u>
1 1 1	2 1 1	3 1 1
1 1 2	2 1 2	3 1 2
1 2 1	2 2 1	3 2 1
1 2 2	2 2 2	3 2 2
1 3 1	2 3 1	3 3 1
1 2 3	2 2 3	3 2 3
1 3 2	2 3 2	3 3 2
1 3 3	2 3 3	3 3 3

El método de las precedencias (Ceotma, 1991) consiste en clasificar las combinaciones de las variables ordinales, ordenándolas por la posición respecto a las que le preceden. Supongamos la presencia de n variables ordinales, cuyas categorías se mueven entre los valores de l y m . La comparación entre dos posibles combinaciones de ellas, C_i y C_j :

$$C_i = C_{1i} C_{2i} \dots C_{si} \dots C_{ni} \quad C_j = C_{1j} C_{2j} \dots C_{sj} \dots C_{nj}$$

estando los valores C_{si} y C_{sj} , comprendidos entre 1 y m , exigiría para poder establecer la precedencia de C_i sobre C_j , la condición de que cualquiera de los componentes C_{si} de C_i , fuera menor o igual que los correspondientes componentes C_{sj} de C_j . Esta condición resulta en la práctica excesivamente rígida, ya que únicamente las combinaciones de

orden superior superan a las demás. A modo de ejemplo, en las posibles combinaciones de cuatro variables, con cinco categorías, únicamente las primeras: 1111, 1112, 1121, 1211, 2111. 1122, etc., superan con claridad al resto: 3452, 3345, 5443, 3243, etc., resultando imposible la comparación entre combinaciones como 2314 y 4452 (ya que la primera combinación supera a la segunda en las tres primeras variables, pero es inferior en la cuarta).

Un desarrollo ulterior del método ha permitido salvar circunstancias como las señaladas, al hacer posible la comparación entre todas las combinaciones, dos a dos. De acuerdo al nuevo método clasificatorio, las combinaciones entre las categorías de las variables quedan organizadas, tomando como referencia, tanto el número de combinaciones que preceden a una cualquiera N_1 , como el número de combinaciones a las que precede N_2 . Se pasa así de una escala ordinal a otra de intervalo y de un vector de n coordenadas (las n variables) a otro de 2 (los dos valores N_1 y N_2).

El número de combinaciones N_{1i} , que preceden a una cualquiera de ellas C_i , sería:

$$N_{1i} = C_{1i} \cdot C_{2i} \cdot \dots \cdot C_{si} \cdot \dots \cdot C_{ni} = \prod_{s=1}^{s=n} C_{si}$$

Mientras que el número de combinaciones N_{2i} por las que es precedida sería:

$$N_{2i} = (m+1 - C_{1i})(m+1 - C_{2i}) \cdot \dots \cdot (m+1 - C_{si}) \cdot \dots \cdot (m+1 - C_{ni}) = \prod_{s=1}^{s=n} (m+1 - C_{si})$$

La relación de orden antes establecida, comparando las categorías de las n variables, se reduce a comparar las correspondientes a N_1 y N_2 . Se considera que una combinación $C_i : N_{1i}, N_{2i}$ precede a otra $C_j : N_{1j}, N_{2j}$, si se cumple:

$$\begin{array}{l} N_{1i} < N_{1j} \\ N_{2i} \geq N_{2j} \end{array} \quad \text{o} \quad \begin{array}{l} N_{1i} \leq N_{1j} \\ N_{2i} > N_{2j} \end{array}$$

De esta manera, ya podríamos comparar las combinaciones: 2314 y 3452:

2314

4452

$$N_1 = 2 \times 3 \times 1 \times 4 = 24$$

$$N_1 = 4 \times 4 \times 5 \times 2 = 160$$

$$N_2 = (5+1-2)(5+1-3)(5+1-1)(5+1-4) = 120$$

$$N_2 = 2 \times 2 \times 1 \times 4 = 16$$

La comparación entre ambas permitiría establecer que la combinación 2314 precede a 3452 ($24 < 160$ y $120 > 16$).

4. Aplicación comparada del método de las precedencias en la valoración de la aptitud medioambiental de un territorio determinado.

La aplicación del paradigma decisional multicriterio en el campo de la planificación física del territorio ha abierto una interesante vía metodológica al tratamiento de la problemática medioambiental y de la ordenación territorial. La complejidad del medio natural, evidenciada por la intervención de múltiples variables de carácter interactivo, y su respuesta a la acción humana, ha encontrado en la metodología de la EMC un modelo teórico de gran operatividad.

La utilización de la EMC en la valoración de la aptitud medioambiental de un determinado territorio exige definir una serie de criterios o factores básicos de partida y su aplicación requiere la definición de un procedimiento acorde con la naturaleza específica de las variables empleadas en la medición. En nuestro caso, hemos decidido resolver el problema por dos vías distintas: conservando la naturaleza de las variables ordinales (método de las precedencias) y transformando los números de orden en variables cuantitativas. Este planteamiento nos permitirá comparar los resultados obtenidos.

4.1. Planteamiento del problema.

A modo de ejemplo, hemos planteado la valoración de la aptitud medioambiental de la comarca de Ponferrada, hoja nº 150 del mapa topográfico, completada con las hojas colindantes de Bembibre y Silván, hasta completar una extensión de 180 Km² (Carrasco Pascual, D., 1991). La base geográfica de recogida de la información será una retícula regular, de 1 Km² de cuadrícula (figura 2).

Para evaluar la aptitud de esta área concreta para la repoblación forestal hemos seleccionado alguna de las variables geográficas que se suponen decisivas en la potenciación de esta actividad económica determinada: altitud, pendiente, litología y vegetación/cultivos. Las categorías definidas para las diversas variables han sido las siguientes:

categorias	altitud	pendiente	litología	veg./cultivos
1	450/550 m	< 10%	aluvial	vid
2	550/660 m	10-20%	arcilla	cultivos
3	660/760 m	20-30%	piz/arenisca	repoblación
4	760/860 m	30-50%	caliza	matorral
5	860/990 m	>50%	granito	bosque

La naturaleza de estas variables es dispar, aunque han sido reconvertidas a ordinales. Las dos primeras (altitud y pendiente), descendiendo desde la escala cuantitativa, mientras que las dos últimas (litología y vegetación/cultivos), ascendiendo desde la escala nominal. Suponemos que la contribución de cada elemento a la potenciación o aptitud del territorio, de cara a la repoblación forestal, varía, cualitativamente, de forma creciente con las categorías definidas para cada variable.

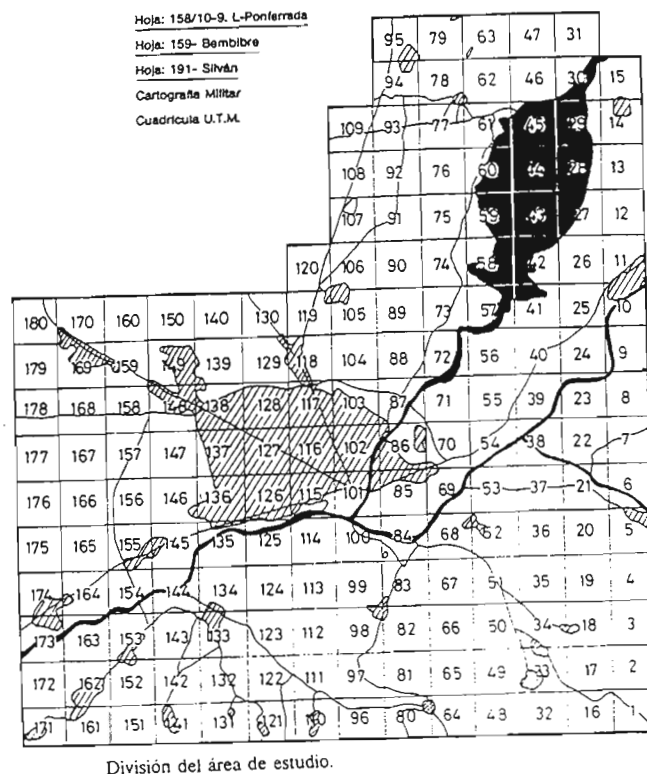


Figura 2. Comarca de Ponferrada. Retícula de recogida de la información.

La integración de los elementos, en orden a la medida de la aptitud respecto a la repoblación forestal, la hemos realizado considerando que su participación es mayor, según

aumenta la categoría de cada variable. Para su consecución, hemos aplicado dos procedimientos diferentes, que exponemos a continuación, utilizando la potencialidad intrínseca a los S.I.G.¹

4.2. El método de las precedencias

La aplicación del método de las precedencias, al cálculo o valoración de la aptitud medioambiental de un determinado territorio, implica la ordenación previa de las posibles combinaciones entre las categorías de las variables. Las 625 posibles combinaciones (5x5x5x5) quedan reducidas, en realidad, a 70 (ya que no se considera diferente la permutación de los valores entre las variables; 1112, 1121, 1211 y 2111 corresponderían a la misma combinación). Además, los niveles vienen definidos por los grupos de combinaciones entre los cuales no es posible establecer jerarquía. Así, entre la combinación 1113 y la 1122 no es posible satisfacer la condición de que una preceda a la otra. Dichas combinaciones serían:

<i>orden</i>	<i>combinación</i>	<i>le preceden</i>	<i>es precedida</i>	<i>variaciones</i>	<i>nivel</i>
1	1111	625	1	1	1
2	1112	500	2	4	2
3	1113	375	3	4	3
4	1122	400	4	6	3
5	1114	250	4	4	4
6	1123	300	6	12	4
7	1222	320	8	4	4
64	2555	4	250	4	13
65	3455	6	300	12	13
66	4445	8	320	4	13
67	3555	3	375	4	14
68	4455	4	400	6	14
69	4555	2	500	4	15
70	5555	1	625	1	16

¹ Hemos utilizado el S.I.G. raster Idrisi, en su versión 4.1.

En nuestro caso particular, el orden es el opuesto, ya que el rango máximo de cada categoría es el 5 y el mínimo el 1. Teniendo en cuenta que de las 70 posibles combinaciones, únicamente existían 37 en el territorio analizado, éstas quedaron ordenadas en 14 niveles (desaparecen los dos primeros, al no existir, en este caso particular, 5555 o 4555):

<i>orden</i>	<i>combinación</i>	<i>nivel</i>
1	3555	1
2	5525	2
3	5534	2
4	4535	3
5	3553	3
6	3453	3
.....		
32	1321	11
33	2221	11
34	1113	12
35	2121	12
36	1112	13
37	1111	14

Las operaciones realizadas para clasificar el territorio en los niveles descritos; de forma automática, utilizando el S.I.G. propuesto, fueron las siguientes:

- Combinar, sucesivamente, las categorías de las variables: altitud, pendiente, litología y vegetación/cultivos, mediante el comando *Crosstab*.
- Editar (comando *Edit*) un fichero de valores, que haga corresponder los valores de las 37 combinaciones posibles con los 14 niveles jerárquicos en que se hallan clasificados.
- Reclasificar los valores de las 37 combinaciones en los 14 niveles de jerarquía (comando *Assign*).
- Clasificar los 14 niveles en solo 4, que contengan una superficie idéntica (45 Km²), mediante los comandos *Histo* y *Reclass*.

4.3. La conversión de variables ordinales a cuantitativas.

El segundo procedimiento de cálculo de la aptitud medioambiental ha consistido en la transformación previa de los valores cualitativos a escala cuantitativa, operando como si de este tipo de variables se tratara. La integración de los cuatro factores básicos se ha

realizado por la suma lineal ponderada de los mismos. Posteriormente, se ha procedido a clasificar los valores resultantes en cuatro categorías que agruparan idéntico número de alternativas espaciales. Las operaciones efectuadas en el S.I.G. han sido las siguientes:

- Integrar los factores del análisis con pesos semejantes (0.25), aplicando los comandos *Scalar* y *Overlay*.
- Clasificar los valores resultantes en cuatro categorías del mismo tamaño (comandos *Histo* y *Reclass*).

4.4. Comparación de resultados.

Los resultados alcanzados por ambos procedimientos pueden ser comparados, fácilmente, por la combinación entre las clases correspondiente a las dos clasificaciones realizadas (método de las precedencias y de la suma lineal ponderada). Únicamente 3 de las 37 combinaciones de las variables ordinales resultaron levemente modificadas en su nivel de clasificación (las combinaciones 4434 y 3525 pasaron del orden primero obtenido por el primer método al segundo del segundo método, mientras que la combinación 4514 lo hizo del segundo orden al primero respectivamente). El cruce de las categorías (comando *Crosstab*) y su reclasificación posterior permite mostrar que únicamente el 3.3% de la superficie resultó afectada por el cambio de procedimiento de cálculo (figura 3).

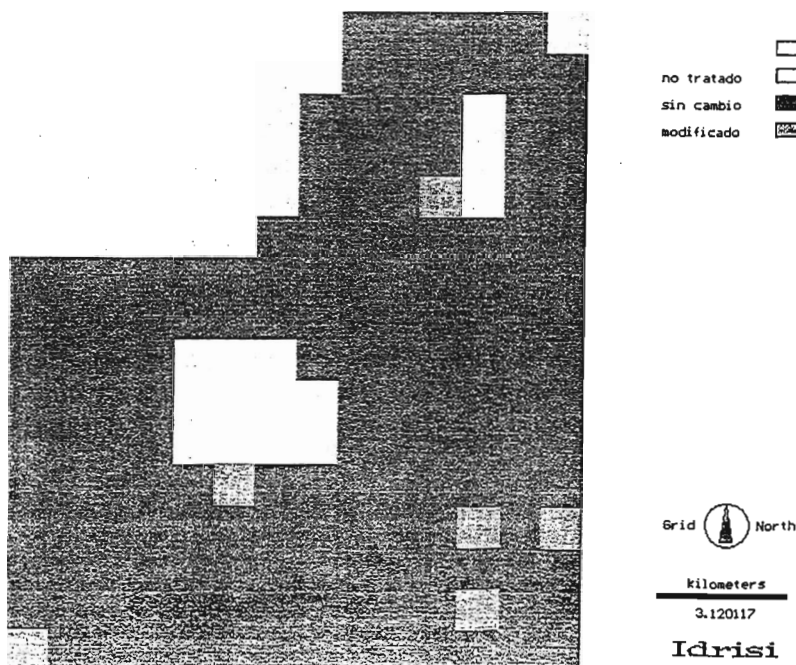


Figura 3. Superficie afectada por el procedimiento de cálculo (método de la suma lineal ponderada y de las precedencias).

5. Conclusiones.

El tratamiento multivariable de la información geográfica, mediante procedimientos que inciden en la ordenación y clasificación de las combinaciones existentes entre las categorías de variables ordinales, supone un método interesante en la aplicación de la metodología EMC para la resolución de problemas medioambientales y territoriales.

Los resultados obtenidos en la valoración de la aptitud medioambiental de un territorio, mediante dos métodos tan dispares, como el de las precedencias o el de la integración cuantitativa de los factores por la suma algebraica ponderada, ofrece una perspectiva de validación de aquellos procedimientos que respetan la naturaleza cualitativa de determinadas variables medioambientales de uso corriente.

6. Bibliografía.

BARBA-ROMERO, S Y POMEROL, J.C. (1997): *Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica*. Colección Economía. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.

BARREDO CANO, J.I. Y BOSQUE SENDRA, J. (1995): "Integración de evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio y la asignación de usos del suelo". *Actas del IV Congreso español de Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, pp 191-200.

BARREDO CANO, J.I. (1996): *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio*. Edit. Rama. Madrid, 264 pags.

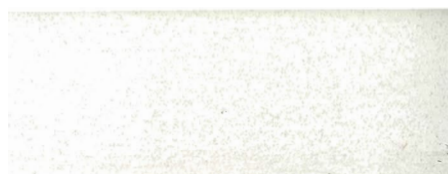
CARRASCO PASCUAL, D.(1991): *Evaluación del impacto ambiental en el área de influencia de la ciudad de Ponferrada*. Universidad de León. León, 164 pags.

CEOTMA (1991): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid, 572 pags.

CONESA FERNÁNDEZ-VITORA, V. (1997): *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, 412 pags.

EASTMAN, J.R., KYEM, P.A., TOLEDANO, J. Y JIN, W. (1993): *Gis and Decision Making*. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Ginebra.

ESTEVAN BOLEA, M.T. (1984): *Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid.



GÓMEZ OREA, D. (1992): *Evaluación del impacto ambiental*. Edit. Agrícola Española. Madrid.

JANKOWSKI, J. (1995): "Integrating geographical information system and multicriteria decision-making methods". *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 9, nº 3, pp 251-273.

KEITH R. (1995): *Resource Management Information System. Process and Practice*. Taylor and Francis. London.

MALCZEWSKI, J. (1996): A GIS based approach to multiple criteria group decision-making". *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 10, nº 8, pp 955-971.

PEREIRA, J.M.C. Y DUCKSTEIN, L. (1993): A multicriteria decision-making approach to GIS-based land suitability y evaluation". *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 7, nº 5, pp 407-424.

ROMERO, C. (1993): *Teoría de la Decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Alianza. Madrid, 195 pags.

SAATY, T. (1980): *The Analytical Hierarchy Process*. Mac Graw Hill. N- York.