

Galacho Jiménez, F.B. y Arrebola Castaño, J.A. (2010): Metodología aplicada para la evaluación con SIG y EMC de senderos según las condiciones físicas del terreno. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 466-481. ISBN: 978-84-472-1294-1

METODOLOGÍA APLICADA PARA LA EVALUACIÓN CON SIG Y EMC DE SENDEROS SEGÚN LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL TERRENO

Federico Benjamín Galacho Jiménez¹ y Juan Antonio Arrebola Castaño¹

(1) Departamento de Geografía – Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, s/n, 29071 Málaga; fbgalacho@uma.es, juan.arrebola@uma.es

RESUMEN

Con el objetivo de aportar métodos e instrumentos para la planificación y gestión de las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales, y en este caso, con especial referencia al senderismo, se muestra la praxis de un método que pretende servir para evaluar las condiciones físicas (permanentes y temporales) de los senderos de cara a evitar o minimizar los riesgos de degradación ambiental que se presentan en espacios protegidos con importantes valores ecológicos en la mayoría de los casos.

Con este método se hace una propuesta de variables a considerar. Se expone como se cuantifican y puntúan. Se muestra el tratamiento del que son objeto y las reglas de decisión utilizadas. Consecuentemente se crea un modelo de evaluación de las condiciones físicas de los senderos con sistemas de información geográfica (SIG) y métodos de evaluación multicriterio (EMC) con el objetivo de determinar su capacidad potencial o real de uso y a escala de detalle, que ha sido probado en un sendero de uso público en el Parque Natural Sierra de las Nieves en la provincia de Málaga.

Palabras Clave: sistemas de información geográfica, evaluación multicriterio, senderismo, método de evaluación.

ABSTRACT

To present some methods and tools to use in the planning and management of entertaining sporting activities in natural places, with a special reference to hiking. We show the praxis of a method that is meant to serve aid in evaluating the physical condition (permanent and provisional) of the footpaths. The objective is to avoid or minimize the risks of environmental degradation that exist in protected places, in the majority of cases with important ecological value.

This method allows us to make a proposal of variables to consider. We show how to quantify and mark as well as the processing and the rules of decision that we have used. Therefore, we create a model for evaluation of the physical conditions of the footpaths geographic information systems (GIS) and multicriteria decision making methods (MCDM) to determine its potential or real capacity of use together with a detailed scale, that has been tested on a footpath of public use in the province of Málaga in the Natural Park 'Sierra de las Nieves'.

Key Words: geographic information systems, multicriteria decision making, hiking, method of evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

Esta comunicación trata de aportar un método que se enmarca en un contexto más amplio como es la planificación y la gestión de las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales. Referido de modo concreto a la actividad de senderismo, el método propuesto pretende servir para evaluar las condiciones físicas de los senderos de cara a que sus resultados sirvan de base para análisis posteriores o para la toma de decisión de cara a establecer la capacidad de uso de los mismos para con ello evitar o minimizar los riesgos de degradación ambiental que se presentan con el uso o la frecuentación continuada.

Consecuentemente se crea un modelo de evaluación de las condiciones físicas de los senderos con sistemas de información geográfica (SIG) y métodos de evaluación multicriterio (EMC) con el objetivo que se establezca una base sobre la que determinar su capacidad potencial o real de uso y a escala de detalle. La metodología ha sido probada en un sendero de uso público en el Parque Natural Sierra de las Nieves en la provincia de Málaga.

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto: Desarrollo metodológico sobre la evaluación de la capacidad para usos recreativos de espacios protegidos (Proyecto I+D+I (Ministerio de Ciencia e Innovación. Gobierno de España). SEJ-2007-67690. Fecha de inicio: 1-IX-2007 y fecha de finalización: 30-XI-2010. Proyecto de Investigación de Excelencia (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía). P07-HUM-03049. Fecha de inicio: 1-I-2008 y fecha de finalización: 31-XII-2011.)

Los objetivos de este proyecto de investigación:

- Evaluación de los caminos-senderos para el disfrute recreativo, con atención a sus caracteres intrínsecos, como soporte de las actividades y dando cabida a la valoración del entorno y el paisaje.
- Capacidad de carga para diferentes usos recreativos, como una medida de relación entre los impactos de las actividades y la vulnerabilidad del territorio.
- Capacidad de acogida social de tales usos, entendida en función del propio modelo de actividad propuesta y de posibles impactos o conflictos con la sociedad local.

La propuesta metodológica general del proyecto mencionado consta de los siguientes pasos:

- Evaluación de las condiciones físicas de los senderos para determinar su capacidad potencial o real de uso según la actividad de senderismo, aspecto sobre el que se centra el método expuesto en esta comunicación.
- Situación actual de uso. Se cuantifica la frecuentación estimada de los senderos con los datos de los aforadores instalados.
- Nivel de impacto ambiental según las condiciones actuales de uso.
- Con base en los tres pasos anteriores, que proporcionan información interrelacionada, se determinan razonadamente los parámetros de capacidad de carga.

2. MARCO TEÓRICO

Este trabajo se inserta en el marco metodológico de la investigación en planificación física y en desarrollo rural, y en el instrumental de los SIG y EMC, campos todos ellos fuertemente consolidados. Aborda una temática emergente, la evaluación de la capacidad de acogida de usos, puesta en práctica en un principio dentro de la teoría de la planificación física con base ecológica. Ésta se desenvuelve en torno a cuatro conceptos básicos: calidad, fragilidad, aptitud e impacto. Si el medio puede ser descrito en función de sus elementos y variables, y estudiado a través de los conceptos de calidad y fragilidad la relación de estos dos conceptos con las actividades vendrá dada a través de los conceptos de aptitud e impacto. El concepto teórico que se refiere al uso óptimo del territorio en orden a su sostenibilidad se fue fundamentando en la práctica de la ordenación territorial sobre dos basamentos: el análisis de las aptitudes y el análisis de los impactos. El primero, la aptitud, que se orienta a la valoración de las oportunidades que el medio ofrece al desenvolvimiento de la actividad humana, es una práctica básica en la planificación territorial. El segundo, los impactos, que cuya base son las directrices de protección, parte de la valoración de la fragilidad del medio, a fin de establecer las limitaciones de uso que puedan impedir su deterioro. La integración de estas dos líneas de evaluación del territorio, la de aptitud y la de impacto, puede derivar a la elaboración de un modelo territorial ideal, en el que se optimice el aprovechamiento de los recursos y la implantación de las actividades. Se basa en los mismos conceptos de aptitud (que resume el grado de adaptación del medio a los

requerimientos del objeto para el que es evaluado) e impacto (los efectos negativos que pueden derivarse de su implantación) incluyéndose también, como es habitual al tratarse de una evaluación orientada a un objetivo preciso, el de restricción, para delimitar entre las alternativas reales las que son incompatibles (natural o normativamente) con el objeto de la evaluación. En cuyo extenso desarrollo se puede citar como figuras e hitos relevantes: Bertalanffy (1964); Leopold (1971), Carpenter (1976), Lee (1982), Westman (1985) Zonneveld y Forman (1990), o las aportaciones del Instituto Batelle del Departamento de Interior de los Estados Unidos, de autores como: Sorensen, Canter, Clark, Odum, Galleta, Holding, Mcallister, etc.; en España, cabe igualmente destacar la influencia de las aportaciones de Gómez Orea (1988 y 1992) y Estevan Bolea (1984); o las de los equipos dirigidos por González Bernáldez y González Alonso de los Departamentos de Ecología de distintas universidades españolas.

Con más de medio siglo de desarrollo, la teoría se desenvuelve con el soporte de diferentes propuestas metodológicas (procedimientos y criterios de clasificación, agregación y análisis). Cabe destacar en esta línea las aportaciones sucesivas de: Canter (1977, 1979 y 1985), Clark (1978, 1980), Bisset (1980), Rau (1980), Hollick (1981), Lee (1983) y Black (1991). Propuestas que se anclan en las dos opciones que aparecen en los primeros desarrollos metodológicos: la basada en unidades homogéneas: Hills (1961), González Bernáldez (1973) y Otero (1993), o bien en la caracterización por elementos significativos: Lewis (1964), Mcharg (1969), o Ramos y Ayuso (1974).

Trasciende en la inicial confrontación metodológica la dificultad de manejo y análisis de los inventarios territoriales. Para definir los modelos es necesario integrar amplios inventarios de variables territoriales relacionadas entre si y con las actividades de referencia. Dificultad en el presente superada en el ámbito instrumental de los SIG. La conexión de esta metodología con el instrumento de los SIG, también se ve enriquecida por las potencialidades de análisis espacial que aporta esta tecnología, y que en la actualidad cuenta con una extensa experimentación. Así pues, el diseño del SIG en cuanto a contenidos y en cuanto a utilidades, es una pieza importante en el proceso. Existen numerosas experiencias de estas aplicaciones en todo el mundo y como referencia concreta las desarrolladas en España en los departamentos de Geografía de las universidades de Alcalá de Henares, Extremadura, Alicante y Málaga.

La diversidad de factores que intervienen en la definición de los conceptos básicos (aptitud, impacto...) configura un marco de relaciones entre ellos plural (los lugares de un territorio admiten valoraciones diferentes según la prioridad de objetivos o criterios) que sitúa al planificador en el dilema habitual de los objetivos en conflicto. Para investigar el número de alternativas y facilitar la toma de decisiones se utilizan, combinadamente con SIG, los métodos de evaluación multicriterio (EMC) y multiobjetivo (EMO). Las ventajas de utilizar estas técnicas combinadamente con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio. Un atributo cualquiera contenido en cada una de las capas de información de un SIG, pueden ser dentro de él, ponderados como un factor positivo o negativo para un determinado objetivo. Y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado.

Han proporcionado fundamentos científicos a estos procedimientos y técnicas los siguientes autores: Nijkamp (1977, 1990), Voogd (1983), Roy (1987), Seo (1988), Janssens (1992), Eastman et Al. (1993), Jankowski (1995), Malczewski (1999) y Triantaphyllou (2000); y en España, Barba y Pomerol (1997), Barredo (1996), Gómez y Barredo (2005), Santos (1997, 1998) y Moreno Jiménez (2000, 2002). La utilidad de estos procedimientos es reconocida y el campo de aplicación de la EMC combinada con SIG para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio es extenso, citamos algunos trabajos: Bosque y García (1999), Barredo y Bosque (1995), Ocaña y Galacho (2002), Galacho, Ocaña y Manceras (2004), Bosque y Moreno (2004) y Galacho y Ocaña (2006).

3. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DE LOS SENDEROS.

3.1. Definición y puntuación de los factores que intervendrán en la evaluación

Entenderemos por condiciones físicas de los senderos las características directamente dependientes del medio que sirven de soporte para la práctica de la actividad de senderismo. Hemos considerado cuatro factores: pendiente, firme, anchura y obstáculos.

Cartográficamente se ha digitalizado en primer lugar el sendero seleccionado mediante trabajo de campo con apoyo en la ortofoto color del año 2007 suministrada por la Diputación de Málaga a escala 1:2000. Seguidamente se ha determinado que cada uno de los factores mencionados se circunscriba exclusivamente a cada sendero y sus límites más inmediatos. Se entiende que la conjunción de estos factores proporciona la información básica necesaria para la realización de la evaluación que se aborda con esta propuesta metodológica.

Tras la creación de cada factor según se explica en el apartado correspondiente a cada uno de ellos, se realiza un proceso que comienza con el establecimiento de la puntuación de los factores, como es habitual cuando se utilizan los métodos de evaluación multicriterio. Esta parte del proceso se centra en la creación de una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas se ha definido el número de atributos de la variable a ponderar. En esta matriz se establece la importancia de cada valor respecto a cada uno de los demás mediante el método de comparación entre pares de clases (a_{ij}). La escala de medida establecida por la asignación de los juicios de valor (a_{ij}) es una escala de tipo continuo (ratios o razón) definida por Saaty (1980). Hemos considerado conveniente adaptar dicha escala de medida a cada factor. En todas las variables se realiza en primer lugar, una agrupación en intervalos de los valores que tiene cada variable y en segundo lugar, se procede a la puntuación de dichos intervalos. Se establece un valor mínimo de 1/9 y un valor máximo de 9, entendiendo como extremadamente menos importante 1/9 y extremadamente más importante 9, existiendo una gradación entre ambos valores donde el valor 1 en símbolo de igualdad en la importancia entre pares de factores según consta en Barredo (1996) y Moreno (2002).

Tabla 1. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor según Saaty (1980).

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Mínima	Muy Baja	Baja	Levemente Baja	Igual	Levemente Alta	Alta	Muy Alta	Máxima

Tabla 2. Escala de medida para representar la intensidad de los juicios según Moreno (2002).

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho mas fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Los valores 1, 3, 5, 7 y 9 pueden ser considerados las marcas de clase de los intervalos (0,2], (2,4], (4,6], (6,8] y (8,10]. Hemos utilizado esta escala de valores para evitar la pérdida de precisión propia del ser humano en las respuestas a las comparaciones en el entorno de ambos valores. Y para controlar que la asignación de juicios de valor se ha realizado correctamente, aunque nos basemos en criterios sólidamente establecidos siempre se arrastra un margen importante de subjetividad, se establece el cálculo de la razón de consistencia (*consistency ratio*, c.r.), lo que permite reconsiderar las asignaciones realizadas en caso de inconsistencia de la matriz de comparación, Eastman (1993b), Gómez y Barredo (2005).

Tras los pasos anteriores, se determina el eigenvector principal⁸, que representa el orden de prioridad de los factores y establece los pesos (w_{ij}), proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor

⁸ El eigenvector principal conviene normalizarse para así obtener el vector de prioridades. El procedimiento que proponemos en esta aplicación, sigue lo expuesto por Barredo (1996) y consiste, en obtener primero los valores de la matriz de comparación normalizados por columnas, del siguiente modo. $Na_{11} = a_{11} / \sum a_{1j}$, así el valor normalizado para

entre pares de factores tal como desarrolla Saaty (1980). Se procede a la normalización de la escala de medida que consiste en calcular el promedio de los valores de la matriz por filas.

El eigenvector principal se considera conveniente normalizarlo. De los múltiples sistemas de normalización de vectores que pueden utilizarse, se ha optado por uno de los más simples, la división de cada valor por el valor máximo como se indica Voogd (1983). Esta normalización de los pesos da como resultado también valores de 0 a 1 (resultando una escala del tipo 0 = mínima aptitud -más negativo- y 1 = máxima aptitud -más positivo-). Este método proporciona la ventaja de que no efectúa una transformación de la variable, por lo que la proporcionalidad se mantiene. Además, se agradece su utilización cuando el proceso es complejo y nos vemos forzados a volver sobre las puntuaciones y los valores en determinados momentos del proceso de evaluación. La ecuación de normalización que utilizamos en esta metodología es la siguiente:

$$E_{ik} = \frac{X_{ik} - \min X_{ik}}{\max X_{ik} - \min X_{ik}}$$

3.1.1. Factor 1. La pendiente.

Se considera la pendiente del sendero por tramos reagrupados en función de su homogeneidad y continuidad. Se ha sopesado la posibilidad de enfocar este factor desde la perspectiva del desnivel total o acumulado: F.A.M. (2003), Luque (2003, 2004, 2004b) y Tudela y Giménez (2008, 2009) pero consideramos que se produce una pérdida de información importante a nivel de detalle según la utilización que se viene haciendo en la actualidad; además puede introducir cambios significativos en el proceso de evaluación por el distinto nivel de resolución de esta variable. En el sentido adoptado de simplificar en lo posible, se considera, por consiguiente, el valor de pendiente representado en grados según cada punto que conforma la línea del sendero.

Como información básica para la elaboración de la pendiente se ha utilizado el MDT de la Junta de Andalucía. El proceso que se ha desarrollado para construir este factor obliga a solventar algunas dificultades: el sendero está digitalizado en formato vectorial y se le introduce el valor de altura (z) del modelo de elevaciones realizado. En este momento estamos en disposición de aplicar la herramienta *slope* proporcionada por el software ArcGis, con la que obtenemos el valor que conforma el factor pendiente. Las transformaciones y operaciones necesarias pueden llevar a una pérdida de información que no represente la realidad de no hacerse con gran exhaustividad.

Tabla 3. Puntuación de la aptitud de la pendiente. (c.r. = 0,05; c.i. = 0,06; r.i. = 1,12)

PENDIENTE	<3%	3-6%	6-10%	10-20%	> 20%
<3%	1	3	5	7	9
3-6%	1/3	1	3	5	7
6-10%	1/5	1/3	1	3	5
10-20%	1/7	1/5	1/3	1	3
>20%	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Tabla 4. Clasificación de la aptitud de la pendiente.

	TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM 0 A 1
1º	1	< 3%	1	2,45	0,49	1,00
2º	2	3% - 6%	1/3	1,25	0,25	0,52
3º	3	6% - 10%	1/5	0,80	0,16	0,34
4º	4	10% - 20%	1/7	0,33	0,07	0,09
5º	5	> 20%	1/9	0,17	0,03	0,01

cada celda se obtiene a partir del cociente entre cada valor (a_{ij}) y el valor de la sumatoria de cada columna. Posteriormente, los valores normalizados se suman por filas, obteniendo así el eigenvector principal, el cual se normaliza dividiendo cada uno de los valores de dicho vector entre n (número de factores), resultando de esta manera el eigenvector principal normalizado que representa los pesos (w_j) de cada factor.

Como resultado se genera una capa única con los siguientes atributos: pendientes en % sin intervalos, pendientes en intervalos, valor de altitud y valor del EPN normalizado.

3.1.2. Factor 2. El firme.

Al igual que como el factor anterior, se considera el firme del sendero por tramos. Este factor se fundamenta en la consideración de la consistencia del suelo como una propiedad mecánica, que se debe a las fuerzas de cohesión, adherencia, resistencia a la deformación y a la ruptura. Tiene relevancia práctica respecto a las condiciones del firme para caminar. Para nuestro objetivo utilizaremos la variable compacidad, diseñada para cualquier estado de humedad, descartando otras variables como la plasticidad, la adhesividad, la friabilidad y la fragilidad o dureza al estar pensadas para estados de humedad específicos. La compacidad hace referencia a que las partículas están próximas y fuertemente unidas a otras y proporciona información de síntesis de la cohesión del material. Como información básica para la elaboración del firme se ha consultado Porta, López-Acevedo y Roquero (2003) y diversos sistemas de descripción de suelos descritos en Hodgson (1987), destacando los de Estados Unidos (U.S.D.A., Soil Survey Staff, 1951 y 1976), URSS (Kasatkin y Krasnyuk, 1917), Francia (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer) (Maignien, 1969) y Hungría (Szabolcs, 1966), que hacen referencia a los conceptos de compacidad, y a su estimación mediante criterios visuales o de contacto directo con simples pruebas usando herramientas básicas.

Se completa este factor observando la presencia de piedras en la superficie, en función del tamaño de los fragmentos, cuya referencia se toma de FAO (1977).

Tabla 5. Tamaño de los fragmentos en la superficie.

TIPO	TAMAÑO
Grava	Fragmentos de hasta 7,5 cm. de Ø
Piedras	Fragmentos de 7,5 cm. a 25 cm. de Ø
Pedregón	Fragmentos de 25 cm. de Ø

Con la información obtenida de la consulta de una variada fuente bibliográfica y con apoyo en trabajo de campo se configura el factor, estableciendo los tipos de firme para caminar en base a su consistencia y a la presencia y tamaño de los fragmentos de piedras sobre el sendero. Se han establecido los siguientes tipos de firme:

1. Superficie no coherente tipo 1 con ausencia de piedras o gravas. (SNC T1)
2. Superficie no coherente tipo 2 con presencia de gravas o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SNC T2)
3. Superficie no coherente tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SNC T3)
4. Superficie compactada tipo 1 con ausencia de piedras y gravas. (SC T1)
5. Superficie compactada tipo 2 con presencia de gravas o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SC T2)
6. Superficie compactada tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SC T3)
7. Superficie de gravas o piedras tipo 1 menores de 25 cm. de diámetro. (SP T1)
8. Superficie de piedras tipo 2 mayores 25 cm. de diámetro. (SP T2)
9. Roca madre. (RM)

Tabla 6. Tipos de firme existentes.

	Superficie No Coherente	Superficie Compactada	Superficie Piedras
--	-------------------------	-----------------------	--------------------

Ausencia Piedras	✓	✓	✗
Gravas o Piedras < 25 cm.	✓	✓	✓
Piedras > 25 cm.	✓	✓	✓
Roca Madre	✗	✗	✓

Como en el caso de la pendiente, seguidamente se aborda el proceso de puntuación del factor siguiendo el mismo procedimiento ya explicado: la ponderación de los valores de las variables, a través del método de comparación por pares de Saaty (1980). El resultado final es una capa con las combinaciones posibles puntuadas.

Tabla 7. Puntuación de la aptitud según el firme. (c.r. = 0,03; c.i. = 0,05; r.i. = 1,41)

FIRME	SC T1	SC T2	RM / SNC T1	SNC T2	SP T1	SC T3	SNC T3	SP T2
SC T1	1	2	3	5	6	7	8	9
SC T2	1/2	1	2	3	5	6	7	8
RM / SNC T1	1/3	1/2	1	2	3	5	6	7
SNC T2	1/5	1/3	1/2	1	2	3	5	6
SP T1	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2	3	5
SC T3	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2	3
SNC T3	1/8	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2
SP T2	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1

Tabla 8. Clasificación de la aptitud del firme.

	TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM O A 1
1º	4	SC T1	1	2,73	0,34	1,00
2º	5	SC T2	1/2	1,87	0,23	0,69
3º	9,1	RM / SNC T1	1/3	1,26	0,16	0,47
4º	2	SNC T2	1/5	0,83	0,10	0,31
5º	7	SP T1	1/6	0,55	0,07	0,18
6º	6	SC T3	1/7	0,35	0,04	0,09
7º	3	SNC T3	1/8	0,24	0,03	0,04
8º	8	SP T2	1/9	0,17	0,02	0,01

3.1.3. Factor 3. La anchura.

Las consideraciones que se introducen con el ancho del sendero tienen su significación en las preferencias de los usuarios según una encuesta realizada durante 2009 y 2010 a una muestra de 300 personas en el recorrido del sendero y lugares de reunión como parkings o miradores, y apoyándonos también en lo observado durante las jornadas de trabajo de campo.

El proceso de puntuación del factor ha seguido los mismos pasos que en los factores anteriores: creación de una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas está definido el número de atributos de la variable a ponderar, aplicación del método de comparación entre pares de clases, cálculo de la razón de consistencia, determinación del eigenvector principal y normalización de éste según el método expuesto.

Tabla 9. Puntuación de la aptitud según el ancho. (c.r. = 0,1; c.i. = 0,09; r.i. = 0,9)

ANCHO	60 – 120 cm.	< 60 cm.	120 – 180 cm.	> 180 cm.
60 – 120 cm.	1	3	5	7
< 60 cm.	1/3	1	3	5
120– 180 cm.	1/5	1/3	1	3
> 180 cm.	1/7	1/5	1/3	1

Con esta escala de medida se valora las preferencias de los usuarios respecto al ancho del sendero por el que caminar, estableciéndose la máxima preferencia de los usuarios en un ancho de entre 60 y 120 cm. (tipo 2), le siguen los siguientes rangos de preferencia: 60 cm. (tipo 1), entre 120 y 180 cm. (tipo 3), y finalmente más de 180 cm. (tipo 4), con la mínima preferencia. Como resultado se genera una capa en formato vectorial donde el sendero aparece diferenciado en los tipos de ancho y su puntuación.

Tabla 10. Clasificación de la aptitud del ancho.

	TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM O A 1
1º	2	60-120 cm.	1	2,23	0,56	1,00
2º	1	<60 cm.	1/3	1,05	0,26	0,44
3º	3	120-180 cm.	1/5	0,49	0,12	0,15
4º	4	>180 cm.	1/7	0,23	0,06	0,01

3.1.4. Factor 4. Los obstáculos.

Se entienden por obstáculos aquellos elementos que interrumpen el trazado y obligan en el peor de los casos a buscar alternativas en el recorrido o a reconsiderar su continuidad, pero que por lo general ocasionan molestias al obligar al senderista a tener que tomar decisiones no previstas y esfuerzos físicos extras, que aunque sean leves o mínimos, son necesarios con el fin de solventar el obstáculo y proseguir la marcha.

La información para la configuración de este factor viene proporcionada por el trabajo de campo. Se observa que por causa de las distintas situaciones meteorológicas que se dan a lo largo del año, con especial incidencia a las adversas situaciones frecuentes durante el otoño y el invierno, se produce la aparición de los obstáculos que pueden perdurar en el tiempo en función del mayor o menor grado de mantenimiento y conservación que se haga del sendero, principalmente cuando se trate de una infraestructura de uso público en un espacio natural y del cese de la inclemencia meteorológica que lo pueda haber generado, de forma directa o indirecta. En muchos casos es la propia naturaleza la que se encarga de regular y eliminar los obstáculos, o incluso de asentarlos y que pasen a formar parte del sendero. Por estas razones se constata la importancia de datar este factor y empezar a investigar en el tratamiento del mismo.

En este factor se han incluido como tipos de obstáculos las formas derivadas de los procesos erosivos. Así se pueden diferenciar obstáculos introducidos por la erosión de origen geológico natural, a raíz de la actuación de los agentes erosivos como la lluvia o el viento (representados en los distintos tipos de tiempo meteorológico). También se pueden considerar las formas producidas por dichos agentes en su actuación sobre la naturaleza geológica del sustrato, en conjunción con el grado de cobertura de la zona y la pendiente, lo cual suele producir la aparición de regueros o la acentuación de los fenómenos erosivos presentes en la zona. En otros casos es el viento, solo o en conjunción con otras situaciones (enfermedad, debilidad...) el que provoca árboles o ramas caídas. Las condiciones meteorológicas ocasionan de forma directa la aparición de obstáculos en el sendero: barro y encharcamiento; y de forma indirecta la aparición de obstáculos sobre el sendero: arroyos grandes o pequeños, nieve en grandes o pequeñas acumulaciones y hielo. Aunque también es cierto que hay obstáculos ocasionados por la escasa frecuentación del sendero: invasión del sendero por árboles, matorrales o ramas.

Los tipos establecidos en trabajo de campo son:

1. Libre de obstáculos. (LO)
2. Regueros (> 0.25 cm) y cárcavas de erosión. (R>25)
3. Desniveles superiores al > 35 % de pendiente. (D>35)
4. Pasos escalonados. (PE)
5. Árboles o matorrales vivos (sendero con poco o nulo mantenimiento/tránsito). (AV)
6. Árboles caídos. (AC)
7. Regueros de erosión (< 0.25 cm). (R<25)
8. Invasión del sendero con ramas. (IR)
9. Deslizamientos de ladera que afectan directamente al trazado del sendero. (DL)

El proceso de puntuación del factor, que sigue los pasos ya mencionados, determina la siguiente escala de medida. El tratamiento que se hace de este factor lleva a establecer una jerarquía de los obstáculos. Aunque se debe entender que es preferible que no exista ninguno (libre de obstáculos) y lo menos deseable es la presencia de todos los obstáculos.

Tabla 11. Puntuación de la aptitud según los obstáculos. (c.r. = 0,09; c.i. = 0,12; r.i. = 1,45)

OBSTÁCULOS	LO	R>25	D>35	PE	AV	AC	R<25	IR	DL
LO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R>25	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8
D>35	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7
PE	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6
AV	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5
AC	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
R<25	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
IR	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
DL	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Como resultado se genera una capa única con los tipos de de obstáculos, localizando aquellos puntos o tramos donde se ha datado la presencia de algún obstáculo y su puntuación.

Tabla 12. Valores de la aptitud según los obstáculos.

	TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM 0 A 1
1º	1	LO	1	2,76	0,31	1,00
2º	7	R>25	1/2	1,96	0,22	0,72
3º	8	D>35	1/3	1,39	0,15	0,52
4º	2	PE	1/4	0,98	0,11	0,36
5º	9	AV	1/5	0,69	0,08	0,24
6º	5	AC	1/6	0,48	0,05	0,15
7º	6	R<25	1/7	0,33	0,04	0,08
8º	4	IR	1/8	0,23	0,03	0,03
9º	3	DL	1/9	0,17	0,02	0,00

3.2. Proceso de evaluación: procedimiento de análisis espacial con SIG y regla de decisión aplicada para EMC.

La información cartográfica resultante de la aplicación de los procesos anteriormente descritos nos proporciona cuatro capas de información en formato vectorial de tipo línea, provenientes de una misma base: la digitalización de los senderos. El ancho, el firme y los obstáculos son obtenidos de forma manual, digitalizando a partir del trabajo realizado sobre el propio sendero en las jornadas de campo; mientras que la capa de pendiente se consigue de forma automática como ya se ha explicado. Se ha procedido a trabajar de forma individual cada capa para mantener las segmentaciones de las líneas y poder adscribir los atributos correspondientes a cada segmento. Una vez que han sido elaboradas las capas se unen dando como resultado una sola.

A continuación son convertidos los factores en criterios mediante su puntuación y mediante el procedimiento que se ha expuesto llevamos a cabo la parte final del proceso de evaluación. Para la configuración de la capacidad física de los senderos se ha acudido a técnicas compensatorias basadas en la aproximación al punto ideal porque creemos que el concepto de situación ideal es fácilmente intuible y la disimilitud respecto a ella es una medida significativa; al mismo tiempo, porque se adaptan mejor a la lógica de nuestro modelo de evaluación que aborda un problema de decisión con objetivo simple y permite manejar simultáneamente los criterios asumiendo la posible compensación entre ellos. La opción de la distancia al punto ideal conlleva que el proceso utilice las puntuaciones de las alternativas para medir su similitud con una situación óptima, teórica, que lógicamente estará definida por las mejores puntuaciones posibles en cada criterio. Es una forma de ordenar linealmente las alternativas, también sencilla y clara, en la que lógicamente hay compensación entre los criterios, pero midiendo la desviación de las puntuaciones de las alternativas en cada criterio respecto al valor óptimo y no directamente las propias puntuaciones. A partir de la estructura inicial del procedimiento, podemos establecer que no plantea excesivas limitaciones en su ejecución en relación al número de alternativas a evaluar, ni el número de criterios a ser considerados, lo que le confiere excelentes posibilidades para ser manejado con el SIG. De esta manera, los criterios considerados: pendiente, firme, anchura y obstáculos son valorados mediante el cálculo de la distancia entre cada alternativa y el punto ideal, de manera que podemos seleccionar aquellas alternativas más cercanas a dicho punto ideal hasta obtener la superficie requerida según el objeto de la evaluación. La ecuación utilizada ha sido la siguiente, tomada de Barredo (1996):

$$Lp = \left[\sum_{j=1}^n w_j |x_{ij} - 1|^p \right]^{1/p}$$

Donde, w_j : peso del criterio j , x_{ij} : valor de la alternativa i en el criterio j y p : métrica para el cálculo de la distancia ($p=2$ corresponde a la distancia euclidiana)

En el cálculo de la distancia al punto ideal se entiende que no todos los factores tienen la misma importancia, es por ello que son sometidos a puntuación para averiguar el peso de cada factor de forma individual y posteriormente aplicarlo en el proceso.

Tabla 13. Establecimiento de pesos para los distintos factores

FACTOR	PESO	EP	EPN
Firme	1	2,31	0,58
Pendiente	1/3	1,02	0,26
Obstáculos	1/5	0,47	0,12
Ancho	1/9	0,20	0,05

RESULTADOS

Como resultado del proceso de análisis de evaluación multicriterio realizado, la información aparece ahora expresada en función del significado de las condiciones físicas de los senderos por tramos homogéneos. Será necesario realizar una ordenación de las alternativas por sus condiciones. El resultado ha sido una capa de información con las respectivas puntuaciones. En esta capa, los resultados respecto a la actividad establecida se pueden hacer comparables, lo que significa que las puntuaciones reclasificadas o agrupadas pueden dar lugar a

clases según la condición física. Así, se conoce por ejemplo en que tramos se presenta la mejor entre todas las condiciones y si hubiesen conflictos entre clases de escasa condición.

Con la información resultante se puede proceder a la generación de alternativas, y ahora se puede escoger en que tramos se presentan las condiciones más adecuadas para la práctica de la actividad según la consideración de los distintos perfiles de usuarios y cual de ellos se adecua mejor a cada tramo o al sendero.

Tabla 14. Reclasificación de los valores resultantes en grupos.

VALORES	APTITUD	METROS	PORCENTAJE
0 a 0,2	Muy Buena	10	0,2%
0,2 a 0,4	Buena	2157	51,6%
0,4 a 0,6	Normal	1400	33,5%
0,6 a 0,8	Mala	10	0,2%
0,8 a 1	Muy Mala	602	14,4%

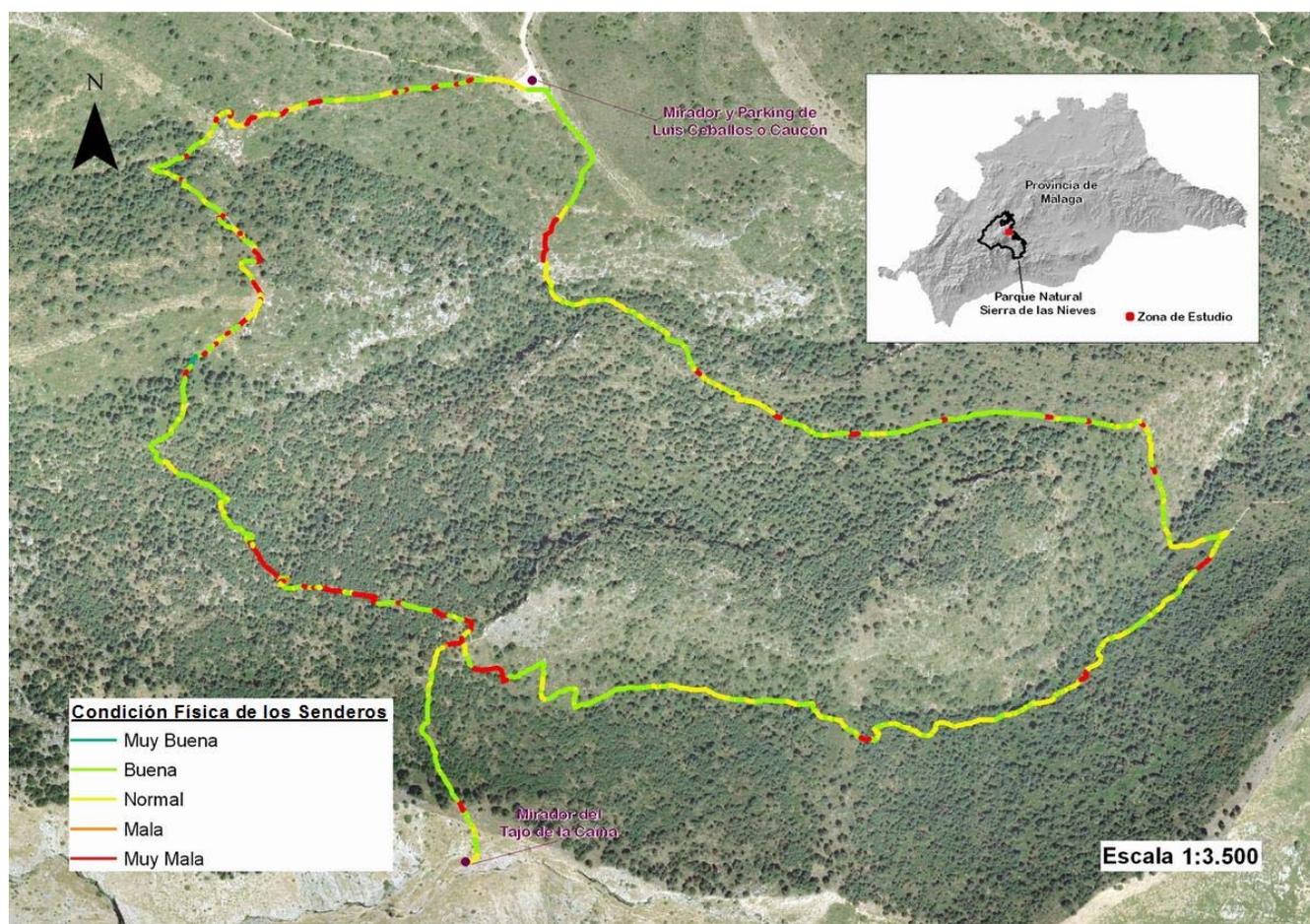


Figura 4. Condiciones físicas por tramos del sendero circular de Luis Ceballos o Caucón – Tajo de la Caína.

CONCLUSIONES

La propuesta metodológica que se ha expuesto se plantea como un sistema de evaluación abierto, un sistema articulado dentro de la estructura de la evaluación multicriterio, que sea transparente en sus juicios y que pueda ser revisado y puesto a prueba en otras experiencias o espacios geográficos. La lógica de la metodología de evaluación propuesta no es construir un proceso cerrado, cuyo inicio sea la formulación del objeto de la valoración y su fin la obtención de un resultado final, sino que se trata de crear una herramienta dúctil, con la que se pueda interactuar, capaz de reorientar las evaluaciones de acuerdo a diferentes puntos de vista. En este sentido, el resultado de la evaluación es válido en función de los juicios y las valoraciones emitidas, teniendo cabida por tanto experimentar sobre resultados alternativos, rectificar los juicios, considerar o no determinadas variables o criterios, etc.

La utilización del instrumento de los SIG en esta metodología enriquece sus posibilidades de análisis espacial, siendo el diseño del SIG en cuanto a contenidos y en cuanto a utilidades una pieza importante en el proceso. Al combinar o integrar los métodos EMC en este esquema aumentan las ventajas para poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio. De manera que la obtención de la información necesaria para el desarrollo de nuevas aplicaciones o evaluaciones es un aspecto relevante.

En la actualidad se está trabajando en solventar una dificultad importante en la que se enfrenta el avance de esta metodología de cara a realizar secuencias temporales, ya que por el momento el proceso de evaluación se realiza en un momento y en una situación temporal muy concreta. Para dotar a la herramienta de continuidad y dinamismo es necesario observar e incorporar los cambios que se producen en la información geográfica de la que se parte y considerar la incidencia de la variable estacional o meteorológica y de los trabajos de mantenimiento y conservación que cada cierto tiempo se producen en los senderos, y que por lo general modifican la condición física de la infraestructura. Al obtener evaluaciones que respondieran al momento exacto la utilidad de la herramienta crecería considerablemente, ya que se podría observar la evolución que sigue en el tiempo, identificando las zonas de menor y mayor condición, entre otras muchas posibilidades. Pero destacaría porque permitiría orientar a los gestores a la hora de tomar decisiones sobre el sendero y a los senderistas en el momento de elegir un sendero u otro en función de la condición física en la que se encuentre la infraestructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barba, S. y Pomerol, J.C. (1997): *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Universidad de Alcalá de Henares. Alcalá de Henares.
- Barredo, J.I. y Bosque, J. (1995): Integración de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio y asignación de usos del suelo. *IV Congreso Español de Sistemas de Información Geográfica*, Barcelona, 1995. AESIG. pp. 191-200
- Barredo, J. I. (1996): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-Ma Editorial. 1ª edición.
- Bertalanffy, L. (1964): An outline of general system theory. *British Journal of the Philosophy of Science*, London.
- Bisset, R. (1980): Methods for environmental impact analysis: recent trends and future prospects. *J. Environmental Manage*, 11, pp. 27-43.
- Black, P.E. (1991): *Environmental Impact Analysis*. Kinko's Center. Syracuse.
- Bosque, J. y García, R. (1999): Asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de SIG y evaluación multicriterio. Mérida, *VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG*, Memorias.
- Bosque, J. y Moreno, A. (2004): *Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Madrid, Ra-Ma Editorial.
- Canter, L.W. (1977): *Environmental Impact Assessment*. McGraw Hill. New York.
- Canter, L.W. y Hill, L.G. (1979): *Handbook of variables for environmental impact assessment*. Ann Arbor. Michigan.
- Canter, L.W. (1985): *Environmental impact of agricultural production activities*. Lewis Publishers, Inc. Michigan
- Carpenter, R. (1976): The Scientific Basis of NEPA. It is adequate?. *Environmental Law Reporter*. núm. 3, pp 25-46.
- Clark, B.D. (1978): Methods of environmental impact analysis. *Built Environ*, 4, pp. 111-121.
- Clark, B.D. (1980): *A manual for the assessment of major development proposals*. Her Majesty's Stationery Office. London.
- Estevan Bolea, M.T. (1984): *Evaluación de Impacto Ambiental*. ITSEMAP, Editorial Mapfre, Madrid.
- Eastman, J. R., Kyem, P. A., y Toledano, J. (1993): *Gis and Decisión Making*. Ginebra, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P.A., y Toledano, J. (1993b): An algorithm for Multi-Objective Land Allocation Using GIS. *Proceedings International Workshop on GIS*, August 19-22, Beijing, Chinese Academy of Science, pp. 261-270

- Federación Aragonesa de Montañismo (2003): Método para la información de excursiones (MIDE). Zaragoza.
- Galacho, F. B.; Ocaña, C, y Manceras, J. A. (2004): Diseño de un Sistema de Apoyo a la Decisión Espacial (SADE/SDSS) para la planificación y gestión territorial a escala local. *XI Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. 20- 23 de septiembre, 2004, Murcia, pp. 13-27
- Galacho, F.B. y Ocaña, C. (2006): Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales. *XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, 19-22 de septiembre, Granada, pp. 1509-1525
- Gómez Orea, D. (1988): Evaluación del impacto ambiental de proyectos agrarios. *Estudios monográficos*, 6. MAPA. Madrid.
- Gómez Orea, D. (1992): *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid, Editorial Agrícola Española S.A.
- Gómez, M. y Barredo, J.I. (2005): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-Ma Editorial. 2ª edición.
- González Bernáldez, F. (1973): *Ecología y paisaje*. Blume. Madrid.
- Hodgson, J.M. (1987): *Muestreo y descripción de suelos*. Ed. Reverté, Barcelona.
- Hollick, M. (1981): The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment. *J. Environmental Manage*, 12. pp. 65-78.
- Jankowski, P. (1995): Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 3, pp. 251-273.
- Janssens, R. (1992): *Multiobjective decision support for environmental management*. Kluwer, London.
- Lawrence, K. et al. (2000): *Multi-criteria applications*. Elsevier. New York.
- Lee, N. (1982): The future development of environmental impact assessment. *J. Environmental Manage*, 14. pp. 71-90.
- Lee, N. (1983): Environmental Impact Assessment: A Review. *Applied Geography*, núm. 3, pp. 60-79.
- Leopold, L.B. (1971): A procedure for evaluating environmental impact. *Geological survey*, Circular 645. U.S. Dept. Interior. Washington.
- Lewis, P.F. (1964): Axioms form reading the landscape. In D.W. Meinig (Ed). *The interpretation of ordinary landscapes*. Oxford University Press. New Cork.
- Luque Gil, A. M. (2003): *Las actividades recreativo-deportivas y el uso turístico del medio rural*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Málaga.

- Luque Gil, A. M. (2004): *Evaluación de la aptitud del territorio para práctica del senderismo*. Universidad de Málaga. Málaga.
- Luque Gil, A. M. (2004b): *Los factores de localización espacial para actividades turístico deportivas en la naturaleza*. Universidad de Málaga. Málaga.
- Malczewski, J. (1999): *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. Nueva Cork
- Moreno Jiménez, J.M. y Escobar Urmeneta, M.T. (2000): El pesar en el proceso analítico jerárquico. *Estudios de Economía Aplicada*. nº 14, 95-105
- Moreno Jiménez, J.M. (2002): El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos. Metodología y Aplicaciones. En Caballero, R. y Fernández, G.M. Toma de decisiones con criterios múltiples. *RECT@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, Serie Monografías nº 1, 21-53.
- Nijkamp, P. y van Delft, A. (1977): *Multi-criteria analysis and decision making*. Martinus Nijhoff. The Netherlands.
- Nijkamp, P. (1990): *Multicriteria evaluation in physical planning*. Elsevier Science Publishers. The Netherlands
- Ocaña, C. y Galacho, F.B. (2002): Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio al análisis de la capacidad de territorio en relación a funciones turísticas, *IV Congreso Nacional Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, Turitec 2002, 23-25 de octubre, 2002, Málaga, pp. 235-253.
- Otero, I. (1993): *El análisis cualitativo de los elementos del medio natural en orden a la planificación física*. EMESA, Madrid.
- Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003): *Edafología para la agricultura y el medioambiente*. Mundi-Prensa, Madrid..
- Ramos, A. y Ayuso, E. (1974): Visual landscape evaluation. *Landscape Planning*, 3. pp. 67-88.
- Rau, J.G. (1980): *Environmental Impact Analysis Handbook*. McGraw Hill. New York.
- Roy, B. (1987): *Methodologie multicritere d'aide a la decision*. Ed. Económica. París.
- Saaty, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. Nueva York, Editorial Mc Graw Hill.
- Santos, J.M. (1997): El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales mediante los SIG raster. *Espacio, Tiempo y Forma*. UNED. Madrid. Pp, 129-151.
- Santos, J.M. (1998): El tratamiento de variables ordinales en la metodología de la evaluación multicriterio (EMC): el método de las precedencias. *Tecnología geográfica para el siglo XXI*. UAB. Barcelona. Pp. 120-131.
- Seo, F. (1988): *Multiple criteria decision analysis in regional planning: concepts, methods and applications*. Reidel. London.

Szabolcs, I. (1966). *Manual de cartografía de genética de suelos a gran escala*. Instituto Nacional de Investigación Agraria.

Tudela Serrano, M.L., Giménez Alarte, A.I. (2008): Determinación de la capacidad de carga turística en tres senderos de pequeño recorrido en el municipio de Cehegín (Murcia). *Cuadernos de turismo*, 22, pp. 211-229.

Tudela Serrano, M.L., Giménez Alarte, A.I. (2009): Capacidad de carga turística en cuatro senderos de Carava de la Cruz (Murcia). *M+A, revista electrónica de medioambiente*, 6, pp. 1-20.

Triantaphyllou, E. (2000): *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Kluwer. The Netherlands.

Voogd H. (1983): *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Londres, Pion.

Westman, W.E. (1985): *Ecology, impact assessment and environmental planning*. Unwin Hyman. London.