

## PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS COMBINADO CON SIG Y TÉCNICAS MULTICRITERIO DE LA EVALUACIÓN DE LA APTITUD Y EL RÉGIMEN DE USO DE SENDEROS, CAMINOS Y PISTAS EN ESPACIOS NATURALES

Federico B. Galacho-Jiménez<sup>1</sup>, Sergio Reyes-Corredera<sup>1</sup>, Juan A. Arrebola-Castaño<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Málaga, Grupo Análisis Geográfico, Departamento de Geografía, Campus de Teatinos, s/n, 29071 Málaga, España. [fbgalacho@uma.es](mailto:fbgalacho@uma.es), [sergioreyes@uma.es](mailto:sergioreyes@uma.es), [juan.arrebola@uma.es](mailto:juan.arrebola@uma.es)

### RESUMEN

Este trabajo parte de la consideración de que la práctica de las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales requiere un conocimiento profundo basado en información cualificada derivada de la aplicación de métodos y procedimientos científicos. El análisis de las condiciones de uso, la determinación del nivel de aptitud y el establecimiento de parámetros para el establecimiento de la capacidad de carga física son los ejes principales sobre los que basaremos este procedimiento con la finalidad de diseñar un instrumento que ayude al diseño de acciones tendentes a mejorar el uso de los elementos que forman parte de los espacios naturales. Dentro del conjunto de dichos elementos destacamos las infraestructuras viales directamente relacionadas con las actividades recreativo-deportivas, compuestas principalmente por senderos, caminos rurales y pistas forestales. Para el análisis de estos elementos se considera fundamental aportar información de la valoración de su aptitud en relación con las características físicas del medio y su interrelación con la afluencia de visitantes. El procedimiento diseñado puede ser de gran aplicación en las acciones de auditoría y toma de decisión respecto a la valoración de cómo se desarrollan las actividades y, sobre todo, los efectos que éstas producen o pueden llegar a producir sobre el medio natural. En este contexto, el uso de técnicas de evaluación multicriterio, configuradas como una aplicación en un Sistema de Información Geográfica, se muestran como un instrumento muy útil para el análisis de los planteamientos que se han expuesto.

**Palabras clave:** Aptitud; Capacidad de Carga; Evaluación Multicriterio; Sistema de Información Geográfica; Actividades Recreativas y Deportivas.

### ABSTRACT

This methodology are based on the consideration that the practice of sports and recreational activities in natural settings requires a thorough knowledge qualified based on information derived from the application of scientific methods and procedures. The analysis of the conditions of use, determining the level of aptitude and setting parameters for establishing the physical carrying capacity are the main axes on which we will base this procedure in order to design an instrument that helps the design actions to improve the use of the elements that are part of the natural areas. Within the set of such elements, we include road infrastructure directly related to recreational and sports activities composed mainly of trails, rural roads and forest tracks. For the analysis of these elements is considered essential to provide information assessing their suitability in relation to the physical characteristics of the medium and its interface with the influx of visitors. The procedure designed can be of great application in audit actions and decision making regarding the assessment of how activities are developed and the effects they produce or can produce on the natural environment. In this context, the use of multi-criteria evaluation techniques designed as an application on a Geographic Information System is a very useful for analysis of the approaches that have been exposed instrument.

**Keywords:** Aptitude, Carrying Capacity; Multicriteria Evaluation; GIS; Recreational and Sports Activities.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este texto es una parte de los resultados que se obtuvieron con los proyectos: “Desarrollo metodológico sobre la evaluación de la capacidad para usos recreativos de espacios protegidos”, proyecto I+D+I financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (Referencia: SEJ-2007-67690 y Proyecto de Investigación de Excelencia del mismo nombre de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía (Referencia P07-HUM-03049). El antecedente básico de estos trabajos fue el proyecto FEDER titulado: “Evaluación del potencial turístico del espacio rural” (referencia -1FD97-1663) realizado por un equipo de investigación de la Universidad de Málaga entre 1997 y 2000, cuyo objetivo fue aportar criterios e instrumentos para la toma de decisión en el uso del espacio rural, en relación con su explotación turística y recreativa.

En ellos se partía de la consideración de que la toma de decisión sobre planificación y gestión de actividades recreativas y deportivas en los espacios naturales, las cuales tienen como soporte evidente los recursos naturales, supone un marco complejo de decisión que se manifiesta con mucha frecuencia. Generalmente la gestión que las administraciones u organismos con competencia en dichos espacios están obligados a hacer carece de instrumentos y métodos científicos sobre la que apoyar la toma de decisión. Algo que en muchos casos pesa negativamente en el rigor de las acciones, sobre todo cuando el objeto sea la planificación de las actividades de cara a su gestión ambiental y concretamente respecto a los usos principalmente demandados. Por tanto, entendemos que la información cualificada derivada de la aplicación de métodos y procedimientos científicos en este contexto puede suponer una oportunidad para mejorar la definición o el diseño de dichas acciones. Concretamente, la información que aportan las evaluaciones que se generan con el método que se expone puede ser útil para los procesos de auditoría y toma de decisión respecto a cómo se desarrollan las actividades y sobre los efectos que producen o pueden llegar a producir.

De acuerdo con estos presupuestos se ha venido trabajando en un procedimiento que se enfoca hacia el análisis de las infraestructuras viales que dan soporte a aquellas actividades deportivo-recreativas que las utilizan para su desarrollo y su práctica. En esta línea temática creemos que es de general aceptación que la sostenibilidad ambiental debe pasar por la utilización óptima de los recursos naturales en su conjunto o de cualquiera de sus componentes en particular como es el caso, y de ahí que la práctica de cualquier actividad deba asegurar el equilibrio con el medio donde se desarrolla. De modo específico nos basamos en la evaluación de las características intrínsecas de las infraestructuras viales, como soporte de actividades turístico-deportivas y recreativas. Se parte pues de la consideración de que valorando dichas características y estableciendo una cuantificación de su grado de idoneidad es posible establecer en qué condiciones se llevan a cabo dichas actividades, cuáles son los posibles transformaciones del medio natural que se pueden generar y en qué medida se puede intervenir para minimizarlos. Todo ello en la consideración de que en muchos casos es necesario el establecimiento de parámetros que determinen la capacidad de carga y que justifiquen en su caso la regulación de la capacidad de uso.

En base a todo lo anterior se han marcado los objetivos de este trabajo: identificar las variables territoriales que determinan el cálculo de la aptitud de las infraestructuras viales (senderos, caminos rurales y pistas forestales); definir nuevas escalas de medida de dichas variables en función de la actividad que sobre cada vial se desarrolla; relacionar los valores que configuran la aptitud con la afluencia de visitantes; elaborar bases de información geográfica para la zona de experimentación, relativas a las variables definidas y su aplicación en un entorno SIG combinado con Técnicas de Evaluación Multicriterio; poner en práctica técnicas para comprobar sobre el terreno las incidencias con respecto a los resultados obtenidos, no advertidos en la cartografía y pasar a la corrección o ampliación de la información correspondiente según los casos; y finalmente, caracterizar con SIG dichas infraestructuras, aplicando utilidades de análisis espacial al inventario de información así formado.

Para la consecución de estos objetivos se establece un procedimiento metodológico que es el siguiente: se parte de la elección de un área de estudio representativa de un entorno montañoso del ámbito mediterráneo, como es el caso del parque natural Sierra de las Nieves, situado en la provincia de Málaga (España); a

continuación se procederá a la definición de las variables territoriales que entrarán a componer la evaluación de la aptitud del terreno por donde discurren las infraestructuras analizadas; se establece un procedimiento de captura, tratamiento e introducción en un entorno informático de los datos geográficos obtenidos sobre el terreno; se diseñan los procesos de evaluación de la aptitud basándonos en la utilización combinada de técnicas multicriterio y SIG; se procederá a la estimación del número de visitantes en series temporales, mediante el uso de ecocontadores o aforadores de usuarios; y finalmente, se procederá a la interrelación espacial y temporal de las capas de información surgidas de la evaluación de la aptitud con la información de la afluencia de visitantes.

Los resultados que se esperan obtener guardan relación con que la información aparezca expresada en función del significado de las condiciones físicas de las infraestructuras viales analizadas por tramos homogéneos; en base a ello se obtendrá una metodología para la evaluación de la idoneidad de las infraestructuras viales para la práctica de actividades recreativo-deportivas como el senderismo, el ciclismo de montaña u otros por parte de aquellos usuarios que las demandan. El usuario podrá disponer de información de qué tramos presentan las condiciones más adecuadas para la práctica de la actividad según la consideración de los distintos perfiles de usuarios y cuál de ellos se adecua mejor a cada tramo vial; finalmente, se contempla la obtención de un número suficiente de juicios de valor que puedan orientar de modo fundamentado a la administración competente a la hora de planificar y gestionar la demanda de las actividades, para el mantenimiento de las infraestructuras viales que sirven de soporte a dichas actividades o para la búsqueda de nuevas alternativas de uso en base a que una aptitud escasa no sea idónea para una frecuentación intensiva.

## 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El procedimiento que se expone se inserta en el marco de la investigación en planificación física y en el desarrollo rural, y en el ámbito instrumental de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC).

Su fundamento se sitúa en el concepto de capacidad de acogida como un concepto teórico que se refiere al uso óptimo del territorio en orden a su sostenibilidad fue puesta en práctica en un principio dentro de la teoría de la planificación física con base ecológica que 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 (1985), Clark (1980), Bisset (1980), Rau (1980), Hollick (1981), Lee (1983) y Black (1991), entre otros.

La propuesta que se hace se engloba en torno a cuatro conceptos básicos: calidad, fragilidad, aptitud y carga. Si el medio puede ser descrito en función de sus elementos y variables geográficas, 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 y carga. El concepto teórico al que se refiere el 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 la estimación de la carga. Por consiguiente, nos moveremos en un proceso en el que primero se hará una estimación de los recursos: diferentes elementos del medio físico y distintos usos, que resumirá el grado de adaptación del medio a los requerimientos del objeto para el que es evaluado y después, una valoración de la situación potencial para la clasificaciones de usos potenciales que deriva en procedimientos de valoración diferentes (desarrollo del concepto de carga) que pretende llevar a la minimización de los efectos negativos que pueden derivarse de la implantación de usos. Es por ello que en base a la consideración de que las propiedades del territorio tienen un significado en orden al desarrollo de las actuaciones (consideradas estas propiedades en su conjunto, para cada espacio determinado y para unas posibles actuaciones) se define la capacidad que tiene dicho espacio para desarrollar en él dichas actuaciones; así el significado de capacidad de acogida del territorio se entiende derivado de la concurrencia, en un espacio determinado, de ciertas características y elementos ambientales significativos. Se trata pues de diseñar procesos de evaluación orientados a objetos concretos con la intención de delimitar entre las alternativas reales las que sean compatibles con un objeto de evaluación concreto. Así pues, se presentará una diversidad de factores que pueden intervenir en la definición de los conceptos básicos (aptitud y carga), y al mismo

tiempo, configurará un marco de relaciones plural (los lugares de un territorio admiten valoraciones diferentes según la prioridad establecida: el objeto de la evaluación) que sitúa al planificador en el dilema habitual de las alternativas en conflicto.

Para investigar el número de alternativas y facilitar la toma de decisiones se utilizarán combinadamente los Sistemas de Información Geográfica y las Técnicas de Evaluación Multicriterio. Las ventajas de utilizar estas técnicas 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 según un determinado objeto. Y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado. En base a esto, la metodología debe contemplarse con el diseño de criterios y factores que fundamentan las distintas evaluaciones, así como la necesaria experimentación en un ámbito geográfico determinado. Con ello el método adquiere un carácter aplicado y una finalidad demostrativa por lo que el proceso de evaluación se ha insertado dentro de un SIG, para aprovechar sus potencialidades en la interrelación de las capas de información requeridas y sus utilidades de análisis/evaluación; de modo que sea factible su aplicación y revisión en otros contextos espaciales con la mera adecuación de los datos, y en su caso los procesos, a las nuevas condiciones geográficas o territoriales. Han proporcionado fundamentos científicos a estos procedimientos y técnicas los siguientes autores: Nijkamp (1990), Voogd (1983), Eastman *et alii*. (1993), Jankowski (1995), Malczewski (1999), y Munda (2007); y en España, Romero (1993), Barredo (1996), Barba y Pomerol (1997), Santos (1998), Moreno (2002) y Roy (2007). 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 en diversas temáticas es extenso, citamos algunos trabajos: Barredo y Bosque (1995), Bosque y García (1999), Laguna y Nogués (2001), Varela (2002), Ocaña y Galacho (2002), Gómez y Bosque (2004), Bosque y Moreno (2004), Galacho y Ocaña (2006), Moreno y Buzai (2008) y Galacho *et alii* (2009).

En definitiva, situados en el marco conceptual y teórico descrito, nuestra premisa de partida es sistematizar un procedimiento con fines demostrativos, como una aportación a los procesos de planificación del desarrollo sostenible. La hipótesis fundamental es la posibilidad de articular en la propuesta tanto el proceso de la evaluación de aptitud como aportar la información necesaria para estimar la capacidad de carga, teniendo como referencia las condiciones geográficas y las exigencias o características de las actividades consideradas, con lo que ello implica de articulación de antecedentes científicos que provienen de enfoques y disciplinas diversas, y de incluir en el desarrollo metodologías de investigación muy diversas. En este caso, basamos nuestra propuesta en los antecedentes de investigaciones anteriores como Ocaña *et alii* (1998), Larrubia y Navarro (2001), Gómez (2011), Luque (2004), Blanco y Nieuwenhuys (2011), Mérida (1999), Ocaña *et alii* (2004) y Manceras *et alii* (2002) y Galacho *et alii* (2004).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Delimitación espacial.

La experimentación de la metodología propuesta se ha realizado en una zona piloto: el Parque Natural de Sierra de las Nieves en la provincia de Málaga (véase figura 1). Se ha adoptado como ámbito de aplicación este espacio a fin de trabajar en un espacio de gran valor medioambiental y riqueza de paisajes naturales y culturales. Se trata de un espacio natural protegido que se localiza en la parte central de la provincia de Málaga, ocupa el flanco oriental de la Serranía de Ronda, contactando con otra gran unidad natural de la provincia, el valle del río Guadalhorce. El espacio natural cuenta con una extensión moderada, que supera ligeramente las 20.000 hectáreas. Su relieve es muy accidentado, con pronunciadas pendientes y elevadas altitudes en relación a su entorno inmediato, entre las que se encuentra la cima más alta de la provincia, el pico Torrecilla, que supera los 1.900 metros de altitud. En el espacio estudiado se localizan un total de 6 senderos de usos público que serán analizados.



**Figura 1.** Localización del ámbito de estudio. Parque Natural Sierra de las Nieves.

### 3.2 Cálculo de la aptitud física.

#### 3.2.1 Creación de las variables para la evaluación de la aptitud física de los senderos.

Una de las aportaciones que más valoramos del método propuesto hace referencia a la obtención de los datos y a la configuración de las variables geográficas que formarán parte de las evaluaciones. Cuando abordamos esta temática observamos que las prácticas deportivo-recreativas que utilizan los recursos naturales son muchas y que las variables geográficas asociadas a ellas también muy diversas. En esta comunicación vamos a considerar la actividad de senderismo. Por tanto nos centraremos en evaluar la aptitud del territorio para esta actividad, entre otras cuestiones, porque es la práctica deportiva-recreativa más relevante del ámbito de estudio seleccionado. Del establecimiento de este objeto de evaluación dependerán las variables territoriales a considerar. Así, como sabemos, el senderismo utiliza los elementos geográficos terrestres como soporte para su desarrollo, destacando entre ellos los viales tradicionales o históricos (caminos, senderos, vías pecuarias, pistas, etc.) y los elementos fisiográficos (paredes, cortados, barrancos y cañones, etc.).

Como paso previo a la obtención de los datos, se ha procedido a la caracterización de los caminos históricos, en orden a establecer una referencia de partida, para posteriormente, determinar cuáles de ellos serían evaluados. Dicha caracterización se ha basado en un requisito básico como es la existencia de conectividad entre trazados. Al mismo tiempo, estos trazados debían disponer de cualidades territoriales que facilitasen la experimentación de la metodología propuesta. Para ello se ha considerado necesario que aunasen la variabilidad suficiente tanto en su morfología (topografía, litología, etc.) como en su ubicación, es decir, que discurran por entornos geográficos variados (distintos tipos de paisajes). Esta misma variedad permite, a su vez, que el método recoja suficiente variedad de tipos de cara a que se facilite, por una parte, el establecimiento de las distintas valoraciones y puntuaciones y, por otra, que las potencialidades de su aplicación sean lo más amplias posibles. De tal manera que se permita, aunque con las adaptaciones pertinentes, su aplicación en otros espacios o tipos de infraestructuras diferentes: bien, en ámbitos de media o alta montaña estrictamente naturales, o bien en entornos más transformados como los montes agropecuarios, o los paisajes agrícolas (huertas, frutales etc.).

Operativamente, una vez realizada la caracterización mencionada se ha procedido, en primer lugar, a la confección digital y a su introducción en una base de datos SIG como una capa de información. Posteriormente con el SIG se realizaron operaciones de análisis espacial para enriquecer con nuevos atributos temáticos a estos caminos: así en relación con un modelo digital del terreno y a la información derivable de éste, se le han introducido valores de pendiente, orientación, altitud; y a través de cartografía temática, atributos relativos a la litología y los usos del suelo. Finalmente, se realizó un trabajo de campo consistente en el recorrido de los trazados seleccionados y se procedió a su corrección digital con apoyo en una ortofotografía reciente a escala 1:5000.

Una vez realizada la configuración geográfica de una base digital de senderos con el suficiente nivel de calidad y precisión geométrica, se ha abordado la segunda parte del proceso de configuración de las variables de la evaluación. Este proceso se basa en la construcción de los atributos temáticos derivados de las variables territoriales que intervendrán en la valoración de las infraestructuras viales seleccionadas. Consideramos que aquí radica otra gran aportación de esta metodología, ya que hasta en la actualidad y según la revisión bibliográfica realizada, las propuestas en este sentido son escasas.

Para el establecimiento de qué variables formarían parte de la evaluación se ha hecho una reflexión de partida de cuáles son los requerimientos físicos para la práctica de la actividad seleccionada. Para concretar después que entenderemos como requerimientos físicos aquéllas características directamente dependientes del medio que sirven de soporte a la práctica de la actividad misma, y que por tanto, son los que pueden definir las condiciones físicas objetivas. Serán consideradas 4 variables territoriales: la pendiente, el firme, la anchura y los obstáculos. Además se ha tenido en cuenta que estas variables sean comunes a cualquier espacio o terreno. Estas variables han sido tratadas como cuatro capas de información derivadas de una misma capa: la mencionada capa de geometría de los caminos y senderos en formato vectorial de tipo línea. Se ha preferido 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 elaborados los atributos de dichas capas se unen siendo manejadas en el proceso de evaluación como una sola. El procedimiento de adquisición de los atributos del firme, la anchura y los obstáculos se realiza de forma directa, 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 a través de GPS. Para obtener más información sobre el proceso de elaboración de estas capas se puede consultar Galacho y Arrebola (2008) y Galacho *et alii* (2011).

### 3.2.2 Proceso de cálculo y resultado de la evaluación.

Una vez convertidas las variables territoriales en factores y criterios de la evaluación se procede a la aplicación de las reglas de decisión y el proceso final de evaluación. En el diseño del proceso de evaluación se ha optado por entender que no todos los criterios deban tener la misma importancia, es por ello que los factores analizados anteriormente y que formarán parte de la evaluación sean sometidos a puntuación para establecer su peso en dicho proceso. Los pesos dados a los factores, lo que los convierte en criterios, se exponen en las tablas número 1 y 2. Estos pesos han sido establecidos por el equipo de investigación con el apoyo de expertos en las actividades analizadas. Tienen su justificación en las siguientes consideraciones: el firme se considera determinante y por tanto, adquiere el mayor rango de puntuación. Parece lógico que las condiciones y características del suelo por donde se pisa sean determinantes en el establecimiento de las condiciones en la que se desarrolla la actividad. Si a este factor unimos el factor de la pendiente, entonces dichas condiciones sufren una transformación que puede ir desde un sentido positivo a uno negativo si comparamos las distintas combinaciones que se puedan presentar. Es por ello que el factor pendiente sea valorado como un segundo factor determinante en la evaluación. Respecto a los obstáculos, como se ha comentado en los apartados donde se hacen referencia a este factor, pueden llegar a suponer, digamos una dificultad añadida, pero realmente y en la mayoría de las ocasiones no llega a constituirse en un factor determinante, salvo excepciones. Por último, la consideración del factor ancho como el factor menos determinante se justifica en que sus cualidades se desarrollan más en el marco de las preferencias que en el de las condiciones físicas reales para el desarrollo de la actividad.

Clases	Firme	Pendiente	Obstáculos	Ancho
<b>Firme</b>	1	3	5	9
<b>Pendiente</b>	1/3	1	3	5
<b>Obstáculos</b>	1/5	1/3	1	3
<b>Ancho</b>	1/9	1/5	1/3	1

**Tabla 1.** Puntuación de los criterios de Aptitud. Fuente: Elaboración propia según valoración realizada por el equipo basada en el método de Saaty (1980).

La razón de consistencia (*consistencia ratio*, c.r.) da como resultado: C.R.= 0,04; C.I.= 0,05 y R.I.= 1,45. Los juicios de valor asignados son válidos puesto que el C.R. es inferior a 0,1.

	Tipo	Denominación	Peso	EP	EPN	Nrm 0 a 1
1º	1	Firme	1	2,31	0,576	1,00
2º	2	Pendiente	1/3	1,02	0,256	0,40
3º	3	Obstáculos	1/5	0,47	0,117	0,14
4º	4	Ancho	1/9	0,20	0,051	0,01

**Tabla 2.** Síntesis de los valores de la Aptitud. Cuadro resumen del proceso. Fuente: Elaboración propia según valoración realizada por el equipo basada en el método de Saaty (1980).

Una vez contruidos los criterios se aborda en la lógica del proceso de evaluación la adopción de una regla de decisión para el desarrollo final del proceso. Esta parte del proceso se formaliza mediante una serie de procedimientos aritméticos-estadísticos que posibilitan la integración de los criterios establecidos en un índice de simple composición, que debe proporcionar la posibilidad y la manera de comparar las alternativas utilizando dicho índice (Eastman *et alii*, 1993). Tales reglas se referirán a la forma de integrar los criterios en la evaluación de las alternativas. En este sentido, para la evaluación de la aptitud, se utilizará un procedimiento compensatorio como es el basado en el análisis del punto ideal. Se considera que la aproximación al punto ideal representa un concepto de situación ideal fácilmente intuible y la disimilitud respecto a ella debe ser una medida significativa. Como se sabe, la opción de la distancia al punto ideal conlleva que en el proceso se utilicen 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 según el objeto de la evaluación. Para el Análisis del Punto Ideal se utiliza la fórmula siguiente, tomada de Barredo (1996):

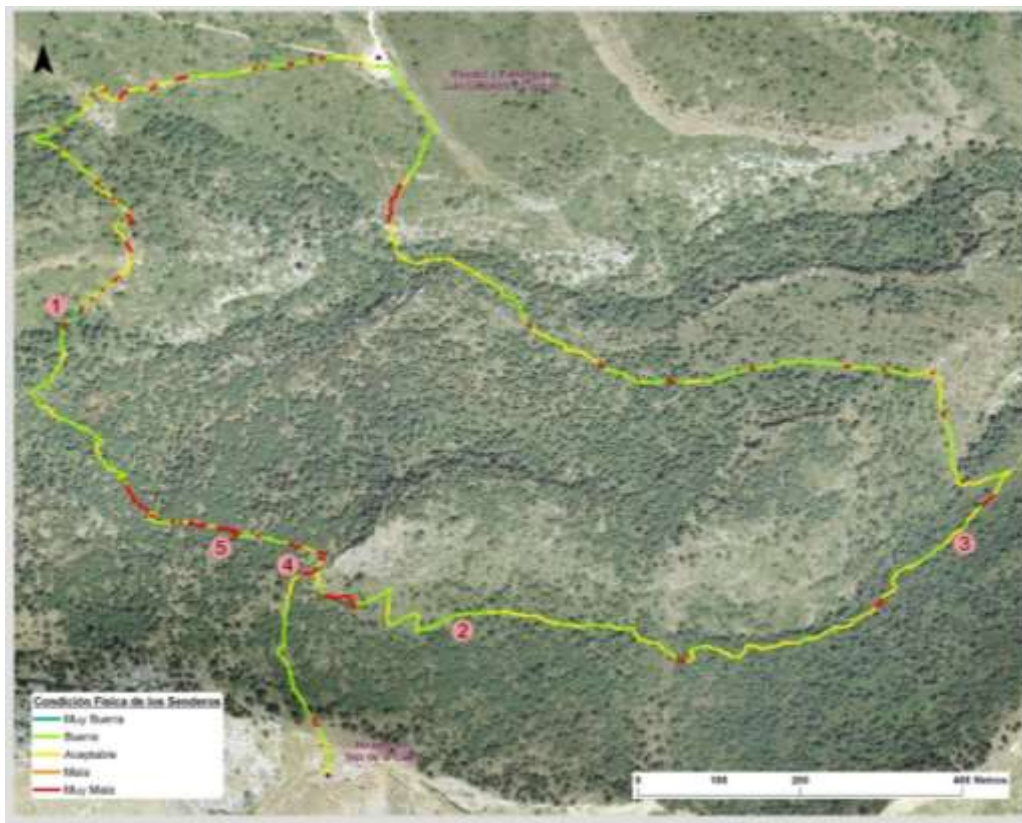
$$Lp = \left[ \sum_{j=1}^n w_j |x_{ij} - 1|^p \right]^{1/p}$$

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).

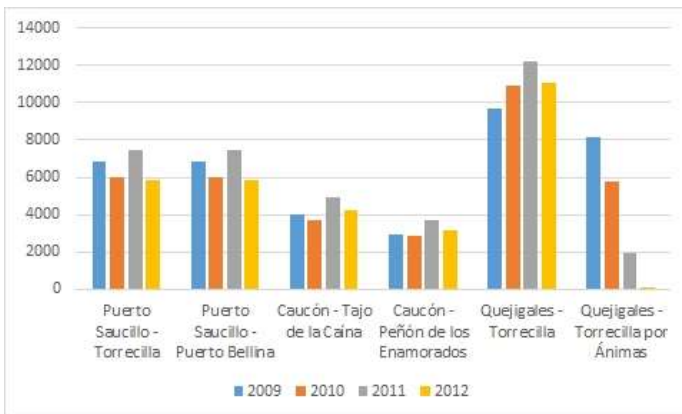
Como resultado se obtiene la aptitud de los senderos para la práctica del senderismo y registrada en una capa de información estructurada en segmentos, como se muestra en la Figura 2.

### 3.3 Cuantificación del número de visitantes y su relación con la aptitud física como indicador para el establecimiento de la capacidad de carga física.

La metodología que se aplica en este trabajo está tomada de Ocaña *et alii* (2012), y en base a ella se ha procedido a una actualización de los datos aportados por una red de ocho aforadores distribuidos por los senderos del área de estudio, que han venidos ofreciendo información continuada desde que fueron instalados en 2007. Esta red de aforadores aporta información que resulta fundamental para determinar la dimensión potencial del impacto, al contabilizar de modo muy preciso la afluencia en el tiempo y en el espacio por el que discurren los senderos. Con esta información, manejada combinadamente con el cálculo de la aptitud física se pueden establecer parámetros de referencia para el establecimiento de la capacidad de carga física. A continuación mostramos algunos datos de la cuantificación realizada por la red de aforadores en su relación con la aptitud física de los senderos analizados. El volumen interanual de visitantes puede observarse en la figura 3 y en la figura 4 hemos representado los niveles de aptitud de los itinerarios analizados.

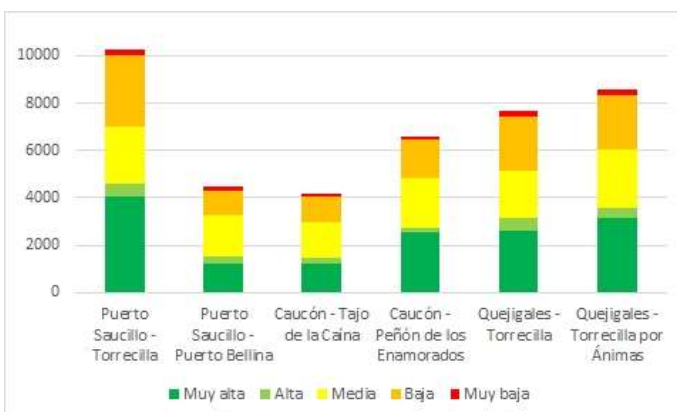


**Figura 2.** Resultado de evaluación de la aptitud física y su representación para un sendero del área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base a las capas utilizadas. La numeración hace referencia a los tramos en los que se subdividen los senderos.



**Figura 3.** Evolución interanual del número de visitantes en los 6 itinerarios principales del área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base a la información aportada por la red de aforadores.

Los datos muestran la elevada frecuentación de los senderos de uso público del espacio natural objeto de estudio, datos que por otra parte, se desconocían. Con esta información se puede hacer una valoración del nivel de visitas real y dónde éstas se producen en tiempo y espacio.



**Figura 4.** Cuantificación en metros del nivel de aptitud del conjunto de los tramos.

Se puede observar como en todos los itinerarios se encuentran representación todos los niveles de aptitud establecidos, debiéndose de tener en cuenta precisamente esta circunstancia, de tal manera que los tramos considerados de aptitud Baja o Muy Baja pueden suponer puntos críticos en el recorrido, dependiendo obviamente el nivel físico del usuario.



Finalmente, en las tablas 3 y 4 presentamos la estimación realizada de la capacidad de carga física según la aptitud de los tramos. Se han establecido dos escenarios de capacidad de carga: hasta 10.000 visitantes/año o hasta 6.000 visitantes/año; el primero más permisivo y el segundo más conservador. Para estos escenarios se ha estimado la capacidad de carga física que podrían soportar los diferentes tramos agrupados de acuerdo a su aptitud, sin que se produzcan efectos no deseados que infieran en la modificación de las condiciones naturales de los senderos y, por derivación, del entorno donde discurren. El valor que aporta esta información radica en las posibilidades que se abren para la planificación del número de visitantes de las infraestructuras que sirven de soporte a las actividades recreativas y deportivas en los espacios naturales, en particular, o en otros espacios en general.

<i>Clasificación de los tramos de experimentación por aptitud y capacidad de carga</i>				
		Capacidad de carga		Total tipo de aptitud
		Hasta 10.000	Hasta 6.000	
Niveles de Aptitud	Aptitud Muy Alta	5.227	8.748	13.975
	Aptitud Alta	1.611	133	1.744
	Aptitud Media	3.806	5.540	9.346
	Aptitud Baja	2.803	996	3.799
	Aptitud Muy Baja	893	50	943
Total tipo por capacidad de carga		14.340	15.467	29.807

**Tabla 3.** Clasificación de los tramos de experimentación por aptitud y estimación de la capacidad de carga. Fuente: Elaboración propia en base a la red propia de aforadores.

<i>Longitud de los tramos de experimentación clasificados por aptitud y capacidad de carga</i>				
		Capacidad de carga		Total tipo de aptitud
		Hasta 10.000	Hasta 6.000	
Niveles de Aptitud	Aptitud Muy Alta	5.729,60	8.383,90	14.113,50
	Aptitud Alta	1.813,20	296,70	2.109,90
	Aptitud Media	4.729,80	6.216,10	10.945,90
	Aptitud Baja	3.492,70	4.049,40	7.542,10
	Aptitud Muy Baja	1.108,40	510,00	1.618,40
Total tipo por capacidad de carga		16.873,70	19.462,40	36.329,80

**Tabla 4.** Estimación de la capacidad de carga según la aptitud de los tramos de experimentación. Fuente: Elaboración propia en base a la red propia de aforadores.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El objetivo de la investigación no recae en la enumeración de los impactos que se producen en el sendero de forma directa o indirecta a causa de la frecuentación de visitantes, sino en sí esta frecuentación puede ser considerada lesiva para el mantenimiento de las condiciones originales de los senderos. Valga como ejemplo, que los datos registrados en dos de los aforadores instalados en uno de los senderos más transitado, el itinerario Luis Ceballos – Torrecilla, sirven para certificar que la media mensual de 620 visitantes que han transitado por uno de ellos en ambos sentidos y los 310 que lo han hecho por el otro, y pese a picos mensuales que superan ampliamente los 1.000 y los 600 visitantes respectivamente, no son responsables del posible deterioro general de la infraestructura. Esta conclusión se fundamenta en el hecho de que el senderismo presenta una manifestación espacial puramente lineal por lo que sus efectos, por ejemplo, sobre la cubierta vegetal quedan más concentrados al propio sendero y menos a las zonas de influencia donde estos discurren. En lo que se refiere a otros elementos como la fauna, sólo le afecta temporalmente y puede considerarse puntual. El elemento del medio natural que recibe un mayor impacto es el suelo, sufre impactos por compactación y por erosión. Por consiguiente, la estimación de la capacidad de carga física se puede centrar en este elemento, con la consideración de que su degradación como soporte físico de la actividad puede llegar a dificultar su práctica, además de afectar a las condiciones naturales del trazado, obligando a obras de restauración y mantenimiento de alto coste.

De esta manera, el análisis combinado de aptitud y capacidad de carga es la expresión final de esta metodología de evaluación y cómo se ha podido observar ha consistido en la integración de los resultados de

la evaluación de la aptitud con los datos recopilados en la serie de aforadores instaladas con el objetivo de relacionar ambos con las limitaciones naturales estudiadas con lo que se llega a elaborar una estimación de la capacidad de carga física. El proceso de integración es por consiguiente un proceso analítico, ya que la valoración de los datos suministrados puede competir al gestor de las infraestructuras, o bien, a usuarios o investigadores que quieran disponer ahora de una catalogación fundamentada de los senderos, divididos éstos en tipologías en función de las dos variables consideradas: el nivel de aptitud y la capacidad de carga física. Con esta finalidad, se suministra una catalogación de los senderos desglosados por tramos que se acompaña del consecuente análisis geo-estadístico, a fin de que los resultados puedan ser estimados y analizados en procesos de ordenación o de investigación. Se puede obtener más información sobre el diseño inicial del planteamiento metodológico en Ocaña et al (2012).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Barba, S. y Pomerol, J.C. (1997): *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Alcalá de Henares, Servicio de Publicaciones de la Universidad de 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", en *IV Congreso Español de Sistemas de Información Geográfica*, Barcelona, 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.
- Bisset, R. (1980): "Methods for environmental impact analysis: recent trends and future prospects". *Journal of Environmental Manage*, 11, pp. 27-43.
- Black, P.E. (1991): *Environmental Impact Analysis*. Syracuse (USA), Kinko's Center.
- Blanco, R. y Nieuwenhuyse, A. (2011): "Influence of topographic and edaphic factors on vulnerability to soil degradation due to cattle grazing in humid tropical mountains in northern Honduras". *Catena*, 86, pp. 130-137.
- Bosque, J. y García, R. (1999): "Asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de SIG y evaluación multicriterio", en *VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG*, Mérida, pp. 195-207.
- Bosque, J. y Moreno, A. (2004): *Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Madrid, Ra-Ma Editorial.
- Canter, L.W. (1985): *Environmental impact of agricultural production activities*. USA (Michigan), Lewis Publishers, Inc.
- Clark, B.D. (1980): *A manual for the assessment of major development proposals*. London (England), Her Majesty's Stationery Office.
- Eastman, J. R.; Kyem, P. A.; Toledano, J. (1993): *Gis and Decision Making*. Ginebra, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- 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" en *XI Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, 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", en *XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, 19-22 de septiembre, Granada, pp. 1509-1525.
- Galacho, F.B.; Ramírez, J.F.; Ocaña, C.; Gómez, M.L.; Juan, J. I.; Arrebola, J.A. (2009): "Desarrollo metodológico para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio respecto a actividades ecoturísticas en la cuenca de Valle de Bravo-Amanalco (Estado de México)", en Leyva, J.C.; Avilés E.; Zepeda, J.J. (editores): *Herramientas Operativas para el Análisis Multicriterio del Desarrollo Económico Local*. México, Universidad de Occidente, pp.165-214.
- Gómez, Mª L. (2011): "Desarrollo rural vs desarrollo local". *Estudios geográficos*, LXXII, 270, pp. 77-102.
- Gómez, M. y Bosque, J. (2004): "Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones". *GeoFocus*, 4, pp. 179-208.

- Hollick, M. (1981): "The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment". *Journal of 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.
- Laguna, M. y Nogués, D. (2001): "La potencialidad turística del medio natural en el LIC de las sierras ibéricas riojanas mediante evaluación multicriterio". *Zubía Monográfico*, 13, pp. 227-240.
- Larrubia, R. y Navarro, S. (2001): "Las estrategias para el desarrollo local en el medio rural malagueño", *Jábega*, 87, pp 44-60.
- Lee, N. (1983): "Environmental Impact Assessment: A Review". *Applied Geography*, 3, pp. 60-79.
- Luque, A. M. (2004): *Evaluación de la aptitud del territorio para la práctica del senderismo*. Málaga, Textos Mínimos, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.
- Malczewski, J. (1999): *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York (USA), John Wiley & Sons, Inc.
- Mérida, M. (1999): "Paisaje y ordenación territorial: medidas de protección y mejora del paisaje. Aplicación al turismo rural". *Baetica*, 21, pp. 137-156.
- Manceras, J. A.; Cobos, F.; Ocaña, C.; y Galacho, F. B. (2002): "Evaluación del Potencial Turístico del Espacio Rural. Arquitectura y Diseño Software", en *IV Congreso Nacional de Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, Turitec 2002, 23-25 de octubre, Málaga, pp. 255-270.
- Moreno, 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.
- Moreno, A.; Buzai, G.D. (2008, Coords.): *Análisis y planificación de servicios colectivos con sistemas de información geográfica*. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid y Universidad Nacional de Luján, 1ª edición.
- Munda, G. (2007): *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*. Berlín (Germany), Heidelberg Springer.
- Nijkamp, P. (1990): *Multicriteria evaluation in physical planning*. The Netherlands, Elsevier Science Publishers.
- Ocaña, C.; García-Manrique, E.; y Navarro, S. (1998): *Andalucía. Población y espacio rural*. Sevilla, Ed. Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía.
- 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", en *IV Congreso Nacional Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, Turitec 2002, 23-25 de octubre, Málaga, pp. 235-253.
- Ocaña, C.; Gómez, M<sup>a</sup>. L.; y Blanco, R. (2004): *Las vistas como recurso territorial*. Málaga, Ed. Universidad de Málaga, Dpto. de Geografía.
- Ocaña, C.; Gómez, M.L.; Arrebola, J. A.; Blanco, R.; Galacho, F.B.; Larrubia, R.; Luque, A.M.; Mérida, M.; Navarro, S.; Rubio, L.M.; Vías, J. (2012): "Desarrollo metodológico sobre la evaluación de la capacidad de uso recreativo de espacios protegidos", NIMBUS. Revista de Climatología, Meteorología y Paisaje, 1, 29-30, pp. 447-460
- Rau, J.G. (1980): *Environmental Impact Analysis Handbook*. New York (USA), McGraw Hill.
- Romero (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid, Alianza.
- Roy, B. (2007): *Metodología Multicriterio de ayuda a la decisión*. Santiago de Compostela, Tórculo Edicións.
- 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*. Serie VI, Geografía, Tomo 10, pp. 129-151.
- Varela, J. (2002): Sistema de información con capacidad de análisis espacial y multicriterio para ayuda a la toma de decisión en la gestión de los medios aéreos usados en la lucha contra incendios forestales. *Santiago de Compostela, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Santiago de Compostela*.
- Voogd H. (1983): *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London (England), Pion.