
**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

**Creación de rutas senderistas mediante análisis de redes y
algoritmo multicriterio. Aplicación en el parque natural Sierra
de las Nieves**

Jesús Vías^{*a}, José Rolland^b, Sebastián Castillo^b, José del Campo^c, Ana Luque^a

^aDepartamento de Geografía, Andalucía Tech, Campus de Teatinos

^bEscuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Andalucía Tech, Campus de Teatinos

^cDepartamento de Lenguaje y Ciencias de la Computación, Andalucía Tech, Campus de Teatinos

Resumen

En este trabajo se presenta una aplicación para la creación de rutas de senderismo personalizadas a cada senderista en función de criterios como dificultad, motivación y capacidad física. La aplicación ejecuta un sistema recomendador basado en el análisis de redes y en el algoritmo de búsqueda A* para calcular las rutas que cumplan con los criterios del usuario.

Para implementar el sistema se han utilizado herramientas de software libre como PostgreSQL (para la base de datos), postGIS (para la creación de la información geográfica) y pgrouting (para el análisis de redes). La base de datos está cargada con capas de información geográfica públicas a escala 1/10.000 que contienen la localización de la red de caminos y sendas. A partir de ella se extrae la información que necesita el buscador y se analizan los grafos que cumplen con las condiciones impuestas por el usuario.

El recomendador se ejecuta en un entorno web y el resultado que se devuelve al usuario puede ser consultado en la misma web o exportado a otros formatos (jpg, gpx o kml), con lo que el recorrido propuesto para hacer senderismo puede ser visualizado en diversos dispositivos móviles (smartphones, tablets, navegadores). El geoportal implementado (<http://analisisgeografico.uma.es/sierranieves/>) cumple con los estándares del Open Geospatial Consortium (OGC), de manera que la información generada es compatible con otras plataformas universales.

^{*} E-mail: jmvias@uma.es

La aplicación ha sido desarrollada y testeada en el parque natural Sierra de las Nieves, aunque la arquitectura del sistema permitiría ajustarla fácilmente a otros entornos naturales.

Palabras clave: sistemas recomendadores; análisis de redes; software libre; senderismo; estándares información geográfica; datos online, servicio web.

1. Introducción

En la actualidad estamos asistiendo a una gran expansión de las actividades físico-recreativas en la naturaleza. Según García (2006), un 16% de los españoles practican actividades en la naturaleza como el montañismo, senderismo y excursionismo (por encima de deportes clásicos como baloncesto o tenis).

Por otro lado, desde que se creó el primer Parque Nacional en EEUU en 1872, han surgido un gran número de espacios protegidos ambientalmente. Así, en el siglo XX, se incrementó la superficie protegida de 5 a 200 millones de hectáreas (Wall y Fredman, 2007). Estos espacios se han convertido, en múltiples casos, en áreas receptoras de actividades de ocio y recreo y, a pesar de que en España hay una distancia considerable respecto a la importancia de este uso respecto a otros países europeos (Fernández y Santos, 2010), en el año 2006 los espacios naturales protegidos en España recibieron más de 36 millones de visitantes. Además, más del 60% de estos visitantes realizaron algún tipo de práctica recreativo-deportiva durante su visita (Farias, 2011).

Las actividades recreativas más habituales en los espacios naturales protegidos españoles incluyen básicamente la realización de itinerarios (guiados o por libre), la contemplación de la naturaleza y del paisaje, las visitas culturales, la práctica de actividades deportivas y la educación ambiental, considerándose el senderismo la más popular entre las mismas (Farias, 2011). Ésta es una actividad, que aunque inicialmente surgió vinculada al montañismo y al deporte, tiene motivaciones diversas de tipo cultural, patrimonial, de contacto con la naturaleza, etc., y permiten el resurgimiento de economías locales en crisis (Benayas del Álamo, 2000). La capacidad que posee la actividad de dar respuesta a las necesidades de usuarios con muy diversos intereses (práctica físico-deportiva, descubrimiento del medio natural y cultural, contemplación de paisajes, etc.), es lo que ha condicionado que el senderismo haya experimentado un crecimiento muy por encima del apreciado en otras actividades de ocio en el medio natural.

El senderismo es una práctica recreativa que requiere poca exigencia ambiental y física y unos conocimientos técnicos mínimos, por lo que puede orientarse a usuarios muy distintos. No todos los senderistas tienen los mismos intereses y motivaciones, y se pueden diferenciar aquellos en los que prima la vertiente deportiva (donde factores como la dificultad o el desnivel pueden resultar muy atractivos), de aquellos en los que prima un cariz ecológico o los que la escogen por su carácter lúdico-deportivo-cultural (Luque, 2004).

Esta diversidad de perfiles condiciona la indeterminación del tipo de recorrido idóneo para los senderistas ya que, las rutas se demandarán en función de la motivación para practicar la actividad, de ahí que resulte fundamental definir un perfil de usuario a priori para poder ofertar la ruta mejor adaptada al mismo. En este sentido, en la actualidad, existen diversas entidades con capacidad para balizar y, por tanto proponer, senderos en la naturaleza. Por ejemplo, la Federación de Montaña y organismos públicos con jurisdicción a diferentes escalas como ayuntamientos, diputaciones, consejerías y ministerios (entre los que se encuentran los gestores de los espacios naturales protegidos). Frente a esta diversidad de patrocinadores, la diversidad de criterios a la

hora de ofertar un sendero para el público es muy amplia, pero ninguna se adapta a las necesidades de los usuarios, sino que son los usuarios los que se tienen que adaptar a los senderos propuestos.

También existen múltiples páginas web enfocadas al almacenamiento de rutas que ofertan a los usuarios el conocimiento de un determinado territorio a partir de recorridos a pie, establecidas previamente por los usuarios de esos espacios. Pero las rutas ofertadas suelen estar basadas en criterios de calidad ambiental, en el amplio sentido de la palabra, sin tener en cuenta otros aspectos importantes a la hora de ofertar recorridos.

Frente a estas carencias, se propone la utilización de un sistema recomendador de rutas para eliminar esa parte de incertidumbre, para que cualquier usuario de los servicios de un espacio público pueda hacer frente a una determinada actividad en el campo.

La zona de estudio seleccionada ha sido el Parque Natural Sierra de las Nieves al reunir una serie de atractivos para la práctica del senderismo como son:

- Cima más elevada de la provincia de Málaga y Andalucía occidental
- Masa forestal de pinsapos
- Cercanía a focos potenciales de senderistas como con la Costa del Sol, Málaga y Sevilla

2. Algoritmo y criterios del sistema recomendador

La utilización de los algoritmos de búsqueda para diseñar rutas o itinerarios es una práctica habitual en el ámbito de los análisis de redes, en general, pero en el terreno del senderismo es un aspecto que ha empezado a desarrollarse recientemente (Rees, 2004; Akasaka y Onisawa, 2008) y más novedoso aun es el tema de las rutas personalizadas (Nadi y Delavar, 2010).

El sistema recomendador de rutas senderistas se ha llevado a cabo mediante la implementación de un algoritmo de búsqueda del camino más corto entre dos puntos localizados en un grafo, cuyas aristas entre vértices están ponderadas en función de diversos criterios. El algoritmo utilizado, A estrella o A* (Hart, Nilsson y Raphael, 1968), es una versión mejorada del algoritmo de Dijkstra, ya que utiliza un método heurístico que mejora el rendimiento de la búsqueda.

El sistema recomendador utiliza los siguientes criterios para buscar la ruta óptima:

- Capacidad física del usuario
- Dificultad de la ruta
- Motivación del usuario
- Tiempo disponible

2.1. Capacidad física de los usuarios-senderistas

Los usuarios del recomendador son encuestados, a través de la aplicación web, donde se ejecuta el recomendador, que permite establecer el perfil del senderista y ajustarlo a uno de los cuatro perfiles prefijados en función de su capacidad deportiva para la práctica del senderismo. Los tipos de perfiles de senderistas se establecieron a partir del conocimiento y la experiencia en este campo de miembros del grupo de montañismo y alpinismo (Grupo Alpino Pinsapo) de la Sociedad Excursionista de Málaga. Los parámetros utilizados para

decidir cuál es el perfil del usuario, según su capacidad física, se tomaron con la asistencia de especialistas del deporte del Ayuntamiento de Málaga.

Los perfiles utilizados fueron cuatro, A, B, C y D (tabla 1) variables en función de su capacidad para mantener un ritmo de marcha durante un determinado tiempo, distancia y desnivel (desde nivel A con Alta capacidad física hasta D con baja capacidad Física).

La determinación del grupo al que pertenece cada usuario se realiza en función de su edad, peso, altura, número de pulsaciones en reposo y entrenamiento semanal. Estos datos permiten establecer cuál es la capacidad cardiopulmonar o resistencia cardio-respiratoria para mantener un esfuerzo (edad y pulsaciones en reposo) a partir del índice Frecuencia Máxima Cardíaca (FCM) y cuál es la capacidad articular para soportar una determinada carga biomecánica (altura y peso) mediante el índice de masa corporal (IMC).

2.2. Dificultad de la ruta

La dificultad de la ruta se ha evaluado a partir de la distancia, desnivel del recorrido y velocidad de paso (tabla 1). Los niveles de dificultad de los recorridos varían en función del tiempo empleado en realizar el recorrido. El tiempo de duración de la actividad se obtiene mediante la siguiente fórmula (Colorado, 2001).

$$\text{Si } Th > Tv \rightarrow \text{Tiempo} = Th + (1/2 \times Tv)$$

$$\text{Si } Tv > Th \rightarrow \text{Tiempo} = Tv + (1/2 \times Th)$$

El tiempo horizontal (Th) equivale al tiempo empleado en recorrer una determinada distancia y el tiempo vertical (Tv) equivale al tiempo que se tarda en superar un determinado desnivel. Tv depende de la velocidad de ascensión y Th de la velocidad mantenida durante una distancia concreta.

Tabla 1. Perfiles de senderistas y características. Estos datos indican la realización de la actividad para senderistas no profesionales y sin consecuencias para salud en condiciones normales.

Perfil	Distancia recorrida	Velocidad (km/h)	Desnivel positivo acumulado (metros)	Velocidad de ascenso (m/h)	Tiempo de ejecución (horas)	Dificultad
A	37 - 42		2300 - 2700		8 - 9	Alta
	32 - 37	5 - 6.5	1900 - 2300	600 - 950	6.8 - 8	Media
	28 - 32		1500 - 1900		5.8 - 6.8	Baja
B	28 - 32		1500 - 1900		7.7 - 9	Alta
	23 - 28	4 - 5	1100 - 1500	400 - 600	6.2 - 7.7	Media
	17 - 23		800 - 1100		4.6 - 6.2	Baja
C	17 - 23		800 - 1100		6.2 - 8.5	Alta
	12 - 17	3 - 4	500 - 800	200 - 400	4.2 - 6.2	Media
	8 - 12		350 - 500		2.9 - 4.2	Baja
D	8 - 12		350 - 500		4 - 6	Alta
	5 - 8	2 - 3	200 - 350	0.5 - 200	2.5 - 4	Media
	0.5 - 5		200		2.5	Baja

2.3. Motivación del usuario

Los condicionantes que intervienen en la decisión personal de escoger un determinado recorrido u otro son muy variables. En este trabajo se han recogido cuatro posibles intereses a la hora de elegir una ruta concreta que primarían por encima de otros: deportivo (por el cual el senderista siempre va a obtener una ruta de dificultad alta acorde a su perfil) paisajístico (por zonas con buenas vistas), forestal (transcurre por zonas forestales o de interés ecológico) y paseo (senderista sin un interés particular al que se le asigna una dificultad baja y que está indicado para niños).

Para establecer la motivación paisajística de los tramos que forman los posibles recorridos, se ha realizado un análisis de visibilidad total (Llobera, 2003), utilizando el algoritmo de cuencas visuales de ArcGIS, a partir de un modelo digital de elevaciones con un paso de malla de 10x10 metros, elaborado ad-hoc, a partir de la información geográfica del relieve del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Para establecer la motivación forestal se ha utilizado la información de usos del suelo, también del IECA. Concretamente, han sido seleccionadas todas las formaciones boscosas, compuestas básicamente por pinsapares, pinares y quercíneas.

2.4. Tiempo disponible

Un último condicionante que determina la ruta a buscar es el tiempo disponible para realizar la actividad, el cual estará en función de la hora estimada de salida. Este dato es importante, sobre todo, en función de la época del año, debido a las variaciones en la cantidad de horas de luz solar directa, 14 en el solsticio de verano y 9.5 en el solsticio de invierno (datos aproximados para la zona de estudio en días despejados).

3. Información geográfica, software y herramientas

El trabajo se ha desarrollado mediante sistemas de información geográfica, que han permitido crear y manipular los geodatos, algoritmos de búsqueda, que han permitido realizar análisis de redes y conectar los tramos del viario según las características almacenadas y gestionadas en una base de datos, y la web que ha permitido recoger la información de los usuarios para poder determinar las rutas que mejor se adaptan a sus necesidades.

El grafo que utiliza el algoritmo para buscar la ruta óptima se ha creado a partir de la información vectorial del Mapa Topográfico de Andalucía a Escala 1/10.000. La base de datos de esta capa de información geográfica tiene diferentes tipologías, de las cuáles solo se han seleccionado las de caminos y senderos. A partir de esta base cartográfica de referencia se han eliminado todos los itinerarios inconexos y se han añadido tramos para conectar otros posibles itinerarios en función de la información recopilada en la web wikiloc.com y de la suministrada por montañeros de la zona de estudio. Por otra parte, los hitos territoriales utilizados para establecer el destino de los senderistas se crearon a partir del Mapa Topográfico Nacional 1/25.000 y las web conocestusfuentes.com y espeleomalaga.com.

El sistema recomendador se ha implantado en un entorno Linux. Consta de un portal web <http://analisisgeografico.uma.es/sierranieves/> (Rolland, 2012) que da acceso a una base de datos relacional PostgreSQL con la extensión PostGIS para almacenar la información geográfica. Los geodatos están en el sistema de coordenadas WGS84, dado que se ha utilizado el visor de Google Maps para mostrar los resultados

del sistema recomendador. Por otro lado, también se ha añadido a la base de datos la extensión pgRouting diseñada para análisis de redes y que, por tanto, permite utilizar el algoritmo de búsqueda.

El portal web ha sido diseñado bajo los estándares del Open Geospatial Consortium (fundación que garantiza la interoperabilidad de los sistemas y estándares de código abierto en el ámbito de los SIG e internet), de manera que la información generada es compatible con otras plataformas universales. Las rutas ofrecidas al usuario se pueden descargar en formato raster (mapa en jpg) o vectorial (track en kml y gpx), lo que permite utilizar cualquier dispositivo móvil de geolocalización para seguir la ruta propuesta por el sistema recomendador.

4. Resultados: ejemplo de aplicación

A modo de ejemplo, se han realizado cuatro peticiones al sistema recomendador con el objetivo de obtener cuatro recorridos senderistas desde distintos puntos de la zona de estudio (Fig 1). En los ejemplos mostrados, los resultados son coherentes con las características de los usuarios en cuanto a las aptitudes físicas de diversos perfiles senderistas, según distancia y desnivel (Tabla 2).

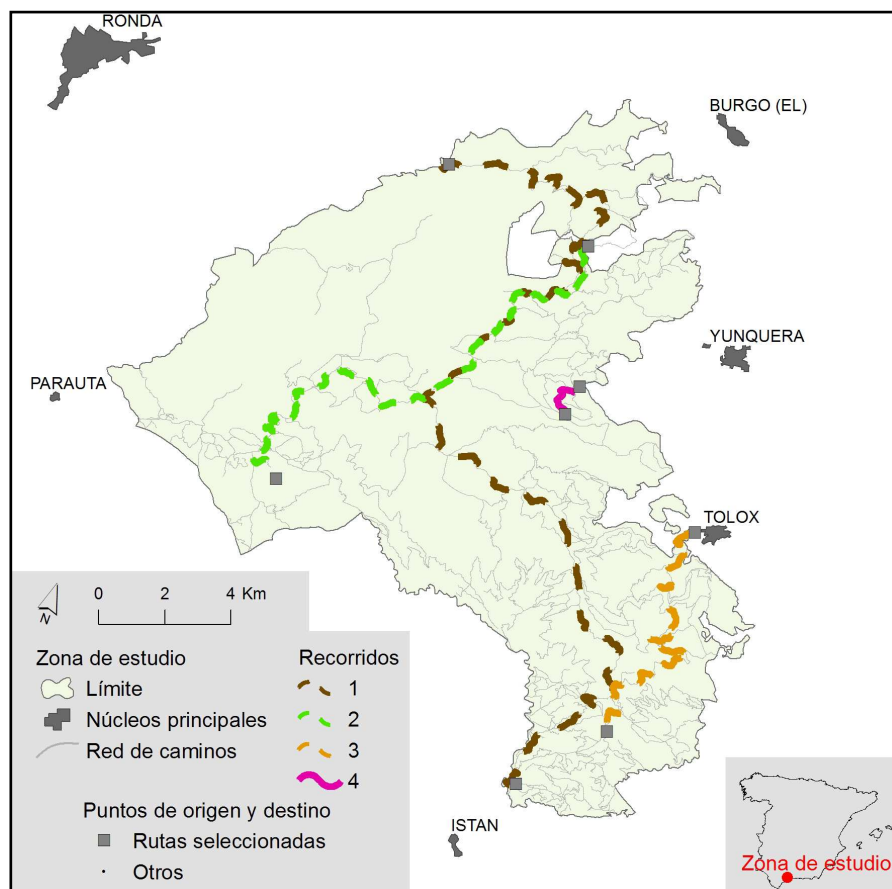


Fig. 1. Ejemplos de rutas de senderismo propuestas por el sistema recomendador.

Tabla 2. Resultados de rutas del sistema recomendador para cuatro zonas del área de estudio a modo de ejemplos de búsqueda de recorridos.

Ruta	Perfil del usuario	Motivación del usuario	Origen	Destino	Distancia (metros)	Desnivel (metros)	Dificultad
1	A	Deportiva	Carril entrada desde Istán	Torre de Lifa	41866	3070	Alta
2	B	Forestal	Área recreativa de los Sauces	Cerro Alcojada	21161	1427	Baja
3	C	Forestal	Hotel Cerro Hajar	Cerro Gaimón	14775	893	Media
4	D	Paisaje	Parking Luis Ceballos	Mirador Tajo de la Caina	1597	201	Baja

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la desinteresada colaboración de Sergio Sánchez Marrero, técnico del área de deportes del Ayuntamiento de Málaga, y de Alfonso Barragán, Vocal del Grupo de Montaña (Grupo Alpino Pinsapo) de la Sociedad Excursionista de Málaga. Este trabajo es una contribución a los grupos de investigación HUM776 (Análisis Geográfico) y TIC 135 (Investigación y Aplicaciones en Inteligencia Artificial) y a los proyectos SEJ2007-67690 y P07-HUM-03049.

Referencias

- Akasaka, Y. y Onisawa, T. (2008). Personalized pedestrian navigation system with subjective preference based route selection. En: Ruan, D., Hardeman, F., Meer, K.V.D. (Eds.). *Intelligent Decision and Policy Making Support Systems, Studies in Computational Intelligence*, vol. 117. (pp. 73–91). Springer, Berlin-Heidelberg.
- Benayas del Álamo, J. (coord.) (2000): *Manual de buenas prácticas del monitor de naturaleza: espacios naturales protegidos de Andalucía*, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- Colorado, J. (2001). *Montañismo y trekking: manual completo*. Ed. Desnivel. Madrid. 325 p.
- Farias, E. (2011): "Managing for recreational experience opportunities: the case of hikers in protected areas in Catalonia, Spain" en *Environmental Management*, 47, 482–496.
- Fernández, A. y Santos, E. (2010): Turismo y parques naturales en Andalucía tras veinte años desde su declaración. Análisis estadístico, tipología de parques y problemática de la situación actual. *Anales de Geografía*, 30, pp 29-54.
- García, M. (2006), *Posmodernidad y Deporte: Entre la Individualización y la Masificación*. Encuesta hábitos deportivos de los españoles 2005. Madrid. CIS/Siglo XXI
- Hart, P., Nilsson, N. y Raphael, B. (1968). A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Trans. Syst. Science and Cybernetics*, 4, 2, 100-107. doi:10.1109/TSSC.1968.300136.
- Llobera, M. (2003): Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualscapes. *International Journal of Geographical Information Sciences*, 17, 1. pp. 25-48. doi:10.1080/713811741.
- Luque, A. (2004): *Evaluación de la aptitud del territorio para la práctica del senderismo*. Málaga, Textos Mínimos, Servicio de Publicaciones, Universidad de Málaga.
- Nadi, S. y Delavar, M.R. (2010). Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, pp 322–335. doi:10.1016/j.jag.2011.01.003.
- Rees, W. (2004). Least-cost paths in mountainous terrain. *Computers & Geosciences*, 30, 3, pp 203–209. doi:10.1016/j.cageo.2003.11.001.
- Rolland, J. (2012). *Servidor de mapas para publicación de rutas senderistas e interfaz web cliente*. Proyecto fin de carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de Málaga. 146 p. Inédito.
- Wall, S. y Fredman, P. (2007): Protected areas as attractions. *Annals of Tourism Research*. Vol 34, nº 1, pp 839-854.