

Modelo anisotrópico de cálculo de rutas de coste mínimo con gvSIG y SEXTANTE

R. Vilanou Vallès⁽¹⁾, A. Muñoz Bollas⁽²⁾ y A. Pérez Navarro⁽²⁾

⁽¹⁾ Amper S.A. - Unitat Homeland Security, rvilanou@uoc.edu.

⁽²⁾ Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació, Universitat Oberta de Catalunya. Rambla del Poblenou, 156, 08018. Barcelona. {amunozbo,aperezn}@uoc.edu.

RESUMEN

La Vía Augusta era una vía romana que iba desde Cádiz hasta Roma. Estaba compuesta de un ramal principal y de diversos ramales secundarios que en su mayoría, constituyen el sustrato de la actual red principal de carreteras del Mediterráneo en la Península Ibérica. A pesar de ello, no se conoce la localización exacta de muchos de esos ramales. El presente artículo muestra un estudio de por dónde deberían atravesar, posiblemente, las rutas romanas el Pirineo Oriental.

Para el cálculo de estas rutas se aplica un algoritmo de mínimo coste que incorpora diversas variables y que tiene en cuenta que el desplazamiento se lleva a cabo a pie, y siguiendo la orografía del terreno. Se utilizan en el proceso las herramientas de análisis de costes y el cálculo de rutas óptimas que incorpora SEXTANTE. En particular se estudia y se modela la ruta de mínimo coste anisotrópica, es decir aquella en la que es importante la dirección del movimiento.

El proceso consiste en analizar diversas rutas de mínimo coste, entendiendo como coste el esfuerzo en recorrerla. Se busca, por tanto, el camino que sea más sencillo de recorrer teniendo en cuenta principalmente la orografía del terreno (MDT), la pendiente y su orientación. Además, en el estudio se tienen en cuenta otras variables como los usos de suelo, la red hidrográfica, la red de comunicaciones romana conocida, así como la ubicación de puentes y asentamientos romanos entre otros. Las diferentes rutas obtenidas se contrastan con las rutas propuestas por los historiadores y arqueólogos.

El resultado del proyecto son unos mapas 3D que muestran por dónde es probable que las rutas romanas cruzaran el Pirineo Oriental.

Palabras clave: gvSIG, SEXTANTE, arqueología, rutas de mínimo coste anisotrópico.

ABSTRACT

The Via Augusta was a Roman road running from Cadiz to Rome. It was composed of a main branch and several side branches which mostly are the background of the current main road network of the Mediterranean side of the Iberian Peninsula. However, no one knows the exact location of many of these branches. This paper presents a study of where they should go through the eastern Pyrenees.

For the calculation of these routes a least-cost algorithm has been applied, incorporating many variables and taking into account that the displacement takes place on foot, following the terrain. The cost analysis and calculation of optimal routes is carried on with SEXTANTE. In particular we study and model the anisotropic least-cost path, in which it is important the direction of motion.

The process consists in analyzing various minimum cost routes taking into account the effort cost. It seeks, therefore, the easier way considering the given terrain (DTM), the slope and the orientation. In addition, the study takes into account other variables such as land uses, the hydrographic network, the known Roman communications network and the location of bridges and Roman settlements, among others. The different routes obtained are compared with the routes proposed by historians and archaeologists.

The result of the project are 3D maps showing where it is likely that the Roman road crosses the eastern Pyrenees.

Key words: gvSIG, SEXTANTE.

Palabras clave: gvSIG, SEXTANTE, archeology, anisotropic minimum-cost routes

INTRODUCCIÓN

El ejército romano desembarcó en la ciudad aliada de Empúries durante la Segunda Guerra Púnica. Una vez terminada la guerra, los romanos permanecieron en la Península Ibérica organizando su explotación creando una estructura territorial y un sistema fiscal.

Este proceso de romanización del territorio se produce gracias al desarrollo de una red de comunicaciones terrestres muy densa, por las que circulaban mercancías y legiones.

El trabajo que se presenta en el presente artículo ha consistido en el análisis de las rutas romanas del territorio catalán que atraviesan los Pirineos, utilizando gvSIG Desktop 1.1 [1] y SEXTANTE [2].

En concreto, se han estudiado las rutas de mínimo coste de movimiento a pie de los humanos siguiendo la orografía del terreno.

Para realizar este análisis, se ha trabajado sobre el concepto de ruta de mínimo coste anisotrópica. Este algoritmo permite modelar el movimiento a pie de las personas a través del territorio, teniendo en cuenta diferentes variables, como la influencia de la pendiente [3] y su relación con la velocidad de movimiento [4].

Con este modelo se han estudiado las diferentes rutas de mínimo coste que atraviesan los Pirineos. Posteriormente, la ruta obtenida se ha comparado con los caminos que se usaban en la época romana.

Para empezar se expondrá el contexto en que se ha desarrollado el proyecto para, a continuación, introducir las herramientas que se han utilizado. Con todo ello ya se está en condiciones de introducir el modelo anisotrópico y mostrar los resultados obtenidos. El artículo finaliza con las conclusiones del trabajo.

CONTEXTO DEL PROYECTO

Según los conocimientos actuales que ha aportado la arqueología y la historia antigua, en la época romana existían cuatro pasos que permitían un tránsito continuo de los Pirineos catalanes: Coll de Panissars, Coll d'Ares, Coll de la Pértiga y el paso de Vielha[5].

En referencia al Coll de la Percha, que cruzaba los Pirineos Centrales, se ha podido observar la existencia de un itinerario que realizaba el paso siguiendo las ciudades romanas de Ruscinone, Iulia líbica y Ilerda. Dentro del presente proyecto se ha analizado la ruta romana desde Llivia (*Iulia líbica*) en Lleida (*Ilerda*), que se consolidó como un eje de gran importancia durante los conflictos militares de la época romana.

También se ha calculado la mejor ruta a pie para conectar estas dos poblaciones. Para ello se ha utilizado información cartográfica digital de base con herramientas informáticas avanzadas de análisis espacial: *gvSIG Desktop 1.1* y su extensión *SEXTANTE*. La ruta así obtenida se ha comparado con la ruta romana real y, como se verá más adelante, con un más que aceptable nivel de acuerdo.

Una vez visto el contexto, vamos a mostrar las diversas herramientas que se han utilizado.

SOFTWARE LIBRE SIG

El proyecto se ha llevado a cabo con *gvSIG Desktop 1.1.2*, y las extensiones *Pilot Raster* y *SEXTANTE*. En este apartado daremos un breve repaso a estas herramientas.

GvSIG Desktop 1.1.2

La aplicación *gvSIG Desktop* es el resultado de un proyecto de software libre desarrollado por la empresa IVER Tecnologías de la Información S.A., a iniciativa de la Generalitat Valenciana a través de la Conselleria de Infraestructuras y Transporte. La Universitat Jaume I realiza su supervisión con el objetivo de que el producto final siga todos los estándares internacionales que define OGC (*Open GIS Consortium*).

Es un software GIS orientado a la gestión de información geográfica y por tanto permite manejar datos espaciales y realizar análisis complejos. Tiene una interfaz amena y clara que permite acceder a los formatos raster y vectorial de cartografía. Es capaz de integrar en una misma vista, datos cartográficos de diferentes fuentes (locales o remotas) como WMS (*Web Map Service*), WFS (*Web Feature Service*), WCS (*Web Coverage Service*) o JDBC (*Java Database Connectivity*).

La aplicación *gvSIG Desktop* nos ofrece una serie de características funcionales muy interesantes para el trabajo aquí presentado:

- Creación, carga y manipulación de capas raster y capas vectoriales.

Esta funcionalidad ha permitido cargar los datos espaciales necesarios así como editarlos para obtener los resultados requeridos. Entre varias aplicaciones, se ha podido recortar partes de capas raster (MDT) para delimitar la zona del estudio, crear capas vectoriales para marcar zonas concretas (espacios de coste, o puntos de origen o destino de las rutas), y consultar información de los objetos espaciales (valores de los atributos).

- Configuración de las vistas.
- Exportación de capas vectoriales a KML

Gracias a esta funcionalidad se puede exportar a un archivo KML cualquier capa vectorial que se encuentre cargada en la vista del proyecto. El archivo resultante contiene los objetos espaciales de la capa vectorial en un formato que se puede cargar y representar visualmente con la aplicación *Google Earth*® 5.0.

Otro punto importante para el trabajo es que, al ser un proyecto de software libre, se suministra gratuitamente con licencia GPL (*General Public License*). Además, es extensible para que los desarrolladores puedan ampliar sus funcionalidades fácilmente o por otra parte, puedan crear nuevas aplicaciones basadas en las librerías de *gvSIG*. Concretamente para el desarrollo del proyecto se ha tenido que ampliar la funcionalidad de *gvSIG* con las extensiones *Piloto Raster* y *SEXTANTE*.

Extensión Pilot Raster

La extensión *Piloto Raster* aplicable sobre *gvSIG Desktop 1.1.2*, es la aplicación ganadora del concurso de herramientas raster de la Conselleria de Infraestructuras y Transporte de la Generalitat Valenciana.

Esta extensión ofrece a *gvSIG* la posibilidad de abrir nuevos formatos de imagen, aplicar paletas de color a un modelo digital de elevaciones (MDE), visualizar el histograma, recortar capas raster y ampliar los filtros de visualización, que como se verá, son funcionalidades interesantes para el proyecto.

Extensión SEXTANTE

La extensión *SEXTANTE* es un proyecto desarrollado por la Universidad de Extremadura a iniciativa de la Junta de Extremadura, a través de la Titulación de Ingeniería Técnica Forestal del Centro Universitario de Plasencia. El objetivo que persigue es ofrecer un SIG especialmente adaptado al análisis de datos geográficos con especial atención a las actividades de gestión del medio.

Está desarrollado sobre una base de software ya existente. Inicialmente se basó en el SIG alemán llamado SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) [6], en el que se desarrollaron un gran número de extensiones y modificaciones. Actualmente, *gvSIG* ha sustituido a SAGA para obtener una estructura de apoyo más sólida y con un mayor potencial.

Así pues, podemos definir la extensión *SEXTANTE* como un conjunto de herramientas de análisis que permiten aprovechar y estudiar con detalle los datos espaciales que se gestionen dentro de *gvSIG*. Estas herramientas se representan con una serie de algoritmos que permiten múltiples cálculos de detalle como puede ser el análisis del terreno, la simulación y modificación de capas raster y vectorial, el estudio geostadístico, el análisis de costes, etc. En total, presenta más de 200 algoritmos que pueden ser usados individualmente o combinados a través de un modelizador.

En definitiva, la extensión *SEXTANTE*, dentro de *gvSIG*, presenta las siguientes funcionalidades:

- Gestor de extensiones: Permite ejecutar cada algoritmo individualmente.

- Modelizador: Permite encadenar y combinar algoritmos dentro de un modelo.
- Línea de comandos: Para usuarios avanzados. Permite automatizar tareas mediante scripts.
- Historial: Consulta de las acciones realizadas con SEXTANTE pudiéndolas volver a ejecutar repetidas veces.

La implementación del modelo del movimiento anisotrópico se realizará, en parte, con la combinación de diferentes algoritmos de *SEXTANTE* sobre su modelizador.

Una vez vistas las herramientas, vamos a ver a continuación, como se trabaja con este modelo anisotrópico.

MODELO ANISOTRÓPICO PARA EL CÁLCULO DE RUTAS DE MÍNIMO COSTE

Una vez establecido el contexto y objetivos del proyecto, así como las herramientas necesarias para llevarlo a cabo, en este punto se muestra el proyecto en si: para ello se empieza definiendo qué se entiende por costes y distancia para, a continuación, establecer el modelo anisotrópico.

Costes y distancias

El desplazamiento entre dos puntos del espacio implica un coste. Por regla general, cuanto más alejados estén estos dos puntos más coste en tiempo y energía en supondrá desplazarnos. Así pues, podemos definir el coste como la resistencia que presenta el medio por el que nos desplazamos en un punto concreto[7].

El proceso de análisis de capas que contengan variables que representen esta resistencia nos permitirán calcular el coste global de desplazarse a lo largo de la capa y, a la vez, poder evaluar la mejor forma de hacer este desplazamiento minimizando el esfuerzo invertido

Superficie de fricción

Una superficie de fricción es una capa que contiene una variable de coste[7]. En una superficie de fricción, el valor de cada celda indica el coste que supone recorrer la celda. Dado que cada celda se puede recorrer en varias direcciones, se establece que el coste que indica se produce en la dirección vertical u horizontal. Un buen ejemplo de capa de coste es la capa de pendientes. Representa la dificultad de desplazarse por el terreno en función de la pendiente que se encuentra.

En ese sentido, dada una celda origen y un conjunto de celdas destino que se encuentren a la misma distancia euclídea (distancia en línea recta entre dos puntos), se presentaran diferentes niveles de facilidad de recorrer la distancia entre cada par de celdas origen y destino (aplicación de costes). Cabe decir que no es necesario que una superficie de fricción exprese en concreto un coste. Si por ejemplo tenemos la velocidad media de atravesar una celda, podemos calcular el tiempo de tránsito sabiendo el tamaño de la celda.

Superficie de coste acumulado

Dado un conjunto de puntos destino y un punto de inicio, podemos calcular cuál es el punto destino más cercano (distancia entendida como coste) y con su coste, calcular el camino mínimo. Para realizar este proceso hay que transformar la superficie de fricción en una superficie de coste acumulado.

Una superficie de coste acumulado es una capa en la que el valor de cada celda representa el coste total a recorrer desde la celda actual hasta la celda destino más

cercana, desplazándose por el camino mínimo. Por ejemplo, si utilizamos una superficie de fricción con tiempos de tránsito, la capa de coste acumulado indica el tiempo mínimo que se tardaría en llegar a uno de los puntos destino.

Coste anisotrópico

Se ha hablado de las superficies de fricción como capas en que sus celdas contienen el coste que supone recorrerlas. Este tipo de coste, sin ampliar su definición, se denomina coste isotrópico.

Ahora bien, si el valor del coste de las celdas de una superficie de fricción no es único porque depende de la dirección que se tome al cruzar la celda, estaremos hablando de coste anisotrópico. Un claro ejemplo es el caso de una superficie de fricción basada en la pendiente, ya que no es lo mismo recorrer la celda ascendiendo por la línea de máxima pendiente que bajarla.

Para contemplar todas las direcciones, será necesario que en la capa de coste se asignen los valores de coste máximo y, por otra parte, se genere una capa adicional con las direcciones en las que este coste es máximo. Ahora con esta información de base, podemos aplicar una función que nos calcule los costes unitarios (fricción efectiva) en cualquier dirección, a través de desviaciones angulares.

Combinación de costes

En múltiples situaciones se requiere combinar diferentes fuerzas de resistencia (costes) y de diferentes fuentes para finalmente obtener una capa que contenga el coste combinado. Si se quiere combinar una superficie de fricción (capa de coste) isotrópica con otra isotrópica o anisotrópica se deberán aplicar los siguientes pasos [7]:

- Si su influencia es equivalente, será necesario normalizar los valores de coste de cada capa a la misma escala y finalmente sumarlos.
- Si la influencia no es equivalente, de nuevo será necesario normalizar los valores de coste de cada capa a la misma escala, ponderar su influencia, y finalmente sumarlos para conseguir la capa de costes combinados.

Si se desea combinar una superficie de fricción anisotrópica con otra anisotrópica, el cálculo requiere de más complejidad.

Rutas óptimas

Tal como se ha indicado anteriormente, en una capa de coste acumulado cada celda nos indica el coste mínimo para llegar a una de las celdas destino que se hayan definido, pero no nos indica qué camino debemos seguir.

Para saber cuál es este camino, será necesario calcular la ruta óptima que representará el camino mínimo a seguir desde un punto origen, que se haya dado como entrada, a cada uno de los diferentes destinos determinados en la capa de coste acumulado.

Movimiento a pie

Con el objetivo de modelar el movimiento a pie de una persona, se requiere un mecanismo que permita determinar el coste del movimiento a pie basándonos con las características del terreno: la función de *Tobler*[7]. La función de *Tobler* relaciona la pendiente del terreno con la velocidad del movimiento a pie de los humanos, de la siguiente forma:

$$(1) \quad W = 6 * e^{\{-3,5 * \text{abs}(S + 0,05)\}}$$

Donde W es la velocidad del movimiento a pie representada en km/h; y S es la tangente de la pendiente en radianes

Tobler indica que la función está pensada en movimientos a pie a través de caminos. Si el desplazamiento se produce fuera de caminos habrá que multiplicar la velocidad resultante por $3/5$ (es decir, 0,6). Si por otra parte, el movimiento se realiza a caballo, habrá que multiplicar el resultado por $5/4$ (es decir, 1,25). Por otro lado, en un terreno llano (donde la pendiente es nula), la velocidad del movimiento a pie es de unos 5 km/h aproximadamente. Además, también se puede apreciar que no es una función simétrica, lo que significa que la velocidad de bajada de una pendiente es más alta que la de subida.

Modelo anisotrópico obtenido

Definidos los conceptos teóricos relacionados con los costes, distancias, cálculo de rutas óptimas, y el movimiento a pie de las personas, a continuación se detalla el modelo de movimiento anisotrópico para el cálculo de rutas de menor coste obtenido en el desarrollo del proyecto.

Como se puede observar en la figura 2, el modelo anisotrópico se basa inicialmente en la entrada del modelo digital del terreno de la zona de estudio. Este modelo contiene una malla regular de puntos de altitud que representan la elevación media de la superficie. En concreto, se ha usado el MDE de Catalunya con resolución 200x200m del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) [8] y con resolución 90x90m de la *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).[9]

Partiendo del MDE, el modelo calcula una capa de pendiente en porcentaje, una capa de pendiente en radianes y una capa de orientación. La capa de pendiente en porcentaje se usa como base para calcular la superficie de fricción base del modelo, puesto que la pendiente será la capa de coste dominante. Esta capa sigue un proceso de reclasificación que permite agrupar los valores de cada celda en un conjunto limitado de clases. De esta forma quedará normalizada a una escala que se podrá comparar y combinar con el resto de capas de coste unitario.

Posteriormente la capa de pendiente se refina mediante la "Calculadora de mapas" de *SEXTANTE*, con la capa *raster* que representa la máscara de hidrografía. La máscara de hidrografía es una capa que permite eliminar las zonas de agua del territorio estudiado, dejando sólo transitables los espacios donde existe tierra firme. En la preparación de esta máscara se ha tenido en cuenta la existencia de puentes y elementos arquitectónicos de la época romana que permitían salvar las zonas de agua.

La capa *raster* resultante se combina con la capa de usos del suelo del año 2000 obtenida del proyecto europeo *CORINE Land Cover* (CLC) [10]. Se ha definido que la capa de usos del suelo tiene un impacto sobre la capa de pendiente del 30%. Previamente, la capa de usos del suelo ha sido reclasificada en un subconjunto de las clases definidas para la reclasificación del pendiente.

Obtenida la capa de coste que incluye la pendiente, la hidrografía y los usos del suelo, se combina con el cuarto atributo del terreno del estudio, el tipo de clima. Esta capa se ha obtenido del Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH) [11] de la Generalitat de Catalunya y data del año 1996. Se ha definido que la capa de tipo de clima tiene un impacto del 20%. Antes de ser combinada, se rasteriza y reclasifica.

Como paso definitivo para conseguir la superficie de fricción total del proyecto, la capa obtenida se combina con el atributo climático de precipitación media anual.

También se ha obtenido del DMAH y responde al mismo año 1996. En este caso, se ha definido un impacto del 10%. De nuevo, la capa vectorial de la precipitación media anual, previamente es rasterizada y reclasificada.

Disponiendo de la superficie de fricción total (cada una de las celdas define el coste máximo de tránsito) y de la capa de orientaciones (cada una de las celdas indica en qué dirección se produce el coste máximo), se realiza el cálculo del coste acumulado anisotrópico. Para ello, se debe rasterizar la capa vectorial que representa el destino de nuestro estudio mediante un punto (Lleida). La capa de coste acumulado obtenida será la entrada al cálculo de la ruta de mínimo coste conjuntamente con las coordenadas del origen (Llivia).

Calculada la ruta de mínimo coste, ahora ya se puede realizar el último paso del modelo, calcular la distancia recorrida y su coste temporal total. Estos datos nos permitirán comparar las diferentes rutas obtenidas y seleccionar la mejor.

Para ello es necesario utilizar el algoritmo de SEXTANTE “Coste por rutas predefinidas (anisotrópico)”. Dada una ruta predefinida calcula su distancia recorrida y el coste que supone recorrerla. El coste viene definido por la capa raster que tenga de entrada. En el caso que nos ocupa, se ha generado una capa de coste temporal que representa los minutos de travesía a pie necesarios para cruzar una celda del terreno en función de su pendiente. En consecuencia, esta capa de coste está basada con la capa de pendiente en radianes y la función de *Tobler*. En concreto, se determina la siguiente expresión para calcular la capa de coste temporal:

$$(2) \left(\left(\left(\left(1/6 \right) * e^{\{ 3,5 * \text{abs}(\tan(S) + 0,05) \}} \right) / 0,6 \right) / 1000 \right) * 60$$

donde S es la pendiente en radianes.

Como se puede observar, es la función recíproca de la función de *Tobler*, que permite conseguir el tiempo en horas para cruzar un kilómetro en un terreno fuera de carretera (factor divisor 0,6 = 3/5). Además, se ha ampliado para traducir las unidades a minutos por metro (división por 1.000 y multiplicación por 60).

Dado que cada capa raster tiene su propia medida de celda, hay que multiplicar la función por el tamaño de las celdas en metros. Por ejemplo, en el caso del MDE del ICC tenemos una resolución de 200x200m, por tanto, será necesario aplicar este factor multiplicador:

$$(3) \left(\left(\left(\left(\left(1/6 \right) * e^{\{ 3,5 * \text{abs}(\tan(S) + 0,05) \}} \right) / 0,6 \right) / 1000 \right) * 60 \right) * \mathbf{200}$$

Gracias a la definición y aplicación de esta capa de coste temporal se puede evaluar y comprar objetivamente cada una de las rutas obtenidas.

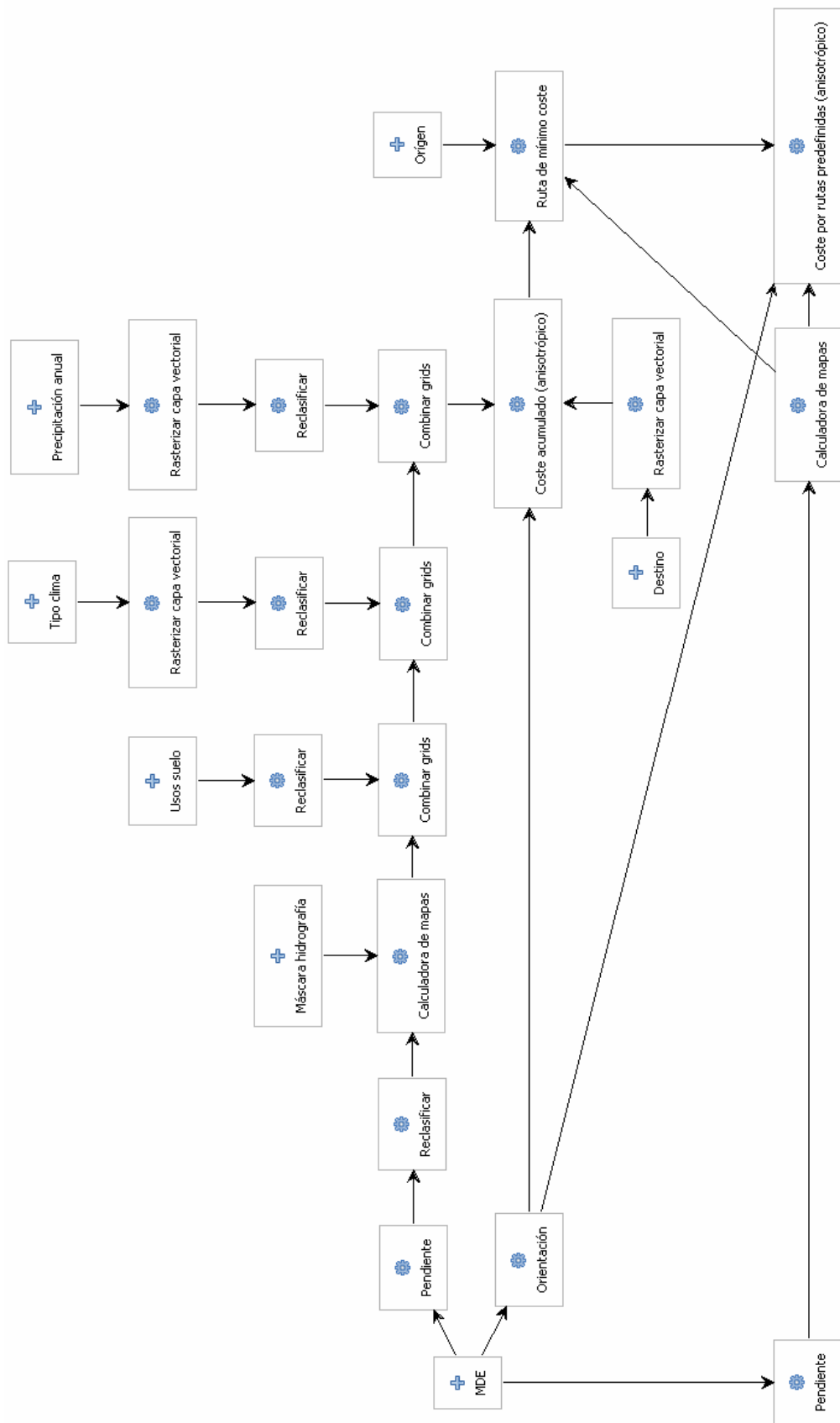


Figura 2: Modelo anisotrópico obtenido

RESULTADOS

El modelo anisotrópico definido se ha aplicado a los MDE de Catalunya en resolución 200x200m y 90x90m, además de aplicarlo parcialmente a medida que se han ido ampliando las superficies de fricción.

Para comparar fácilmente las rutas obtenidas, a continuación se presenta una tabla resumen en la que se puede apreciar por cada superficie de fricción, el MDE usado, el tiempo de ejecución del modelo para realizar el cálculo completo, la distancia y el coste total de la ruta.

Tabla 1: Comparación de las rutas obtenidas

Superficie de fricción	Resolución DTM	Tempo ejecución (min:seg)	Distancia (m)	Coste total (hh:mm:ss)
Pendiente	200x200	1:25	162.716	34:37:53
Pendiente y hidrografía	200x200	1:00	166.308	38:59:52
Pendiente, hidrografía y usos del suelo	200x200	1:52	171.342	41:58:51
Pendiente, hidrografía, usos del suelo y tipo de clima	200x200	3:26	172.983	43:43:10
Pendiente, hidrografía, usos del suelo, tipo de clima y precipitación media anual	200x200	4:21	172.983	43:43:10
Superficie de fricción	Resolución DTM	Tempo ejecución (min:seg)	Distancia (m)	Coste total (hh:mm:ss)
Pendiente	90x90	2:44	183.837	63:41:38
Pendiente y hidrografía	90x90	2:23	184.061	64:03:21
Pendiente, hidrografía y usos del suelo	90x90	16:18	191.650	71:21:12
Pendiente, hidrografía, usos del suelo y tipo de clima	90x90	19:51	192.690	71:55:20
Pendiente, hidrografía, usos del suelo, tipo de clima y precipitación media anual	90x90	27:30	192.765	71:43:03

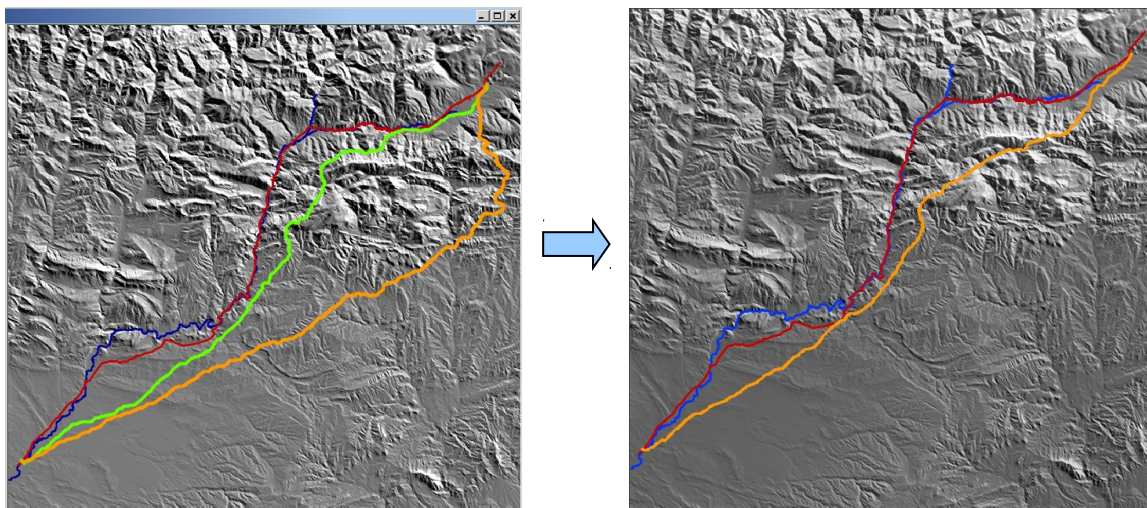


Figura 3: Río Segre (azul) y vía romana existente (rojo) con rutas definitivas MDE 200x200m (verde) con MDE 90x90m (naranja). Rectificación ruta 90x90m con límite de pendiente 46%.

Tal como se puede apreciar en la figura 3, se ha observado que la ruta con superficie de fricción definitiva del MDE 90x90m se desvía más de la vía romana existente que la ruta del MDE 200x200m. La causa se encuentra en que a mayor resolución de MDE, más complejo es el terreno y más pendientes presenta.

En consecuencia, se ha replanteado el límite de pendiente transitable marcado inicialmente en el 36% con el fin de equilibrar el estudio entre los MDE. En ese sentido, Chris Scharenbroich[12] en su resumen del estudio empírico llamado "*Perceiving 'Walk-on-able' Slopes*" de JM Kinsella-Shaw, Brian Shaw y M.T. Turvey[13], muestra que, en un experimento en que se invita a los participantes a cruzar una pendiente: primero evaluaban visualmente la viabilidad de cruzar una pendiente y posteriormente probaban si realmente la podían cruzar caminando normalmente. Las conclusiones que anota Chris Scharenbroich es que la máxima pendiente que cruzó uno de los participantes del estudio fue del 65%. Con lo cual, se ha concluido que una pendiente del 46% debe poder ser cruzada sin demasiadas complicaciones. En consecuencia se ha recalculado la ruta con este nuevo límite, con la superficie de fricción definitiva y el mejor MDE (90x90m) obteniendo la ruta que se presenta en la figura 3 y que responde a una distancia total de 169.014 metros i un coste temporal de 70h 11m 50s. Aumentando el límite de pendiente, la ruta obtenida no ha cambiado.

Finalmente, la ruta definitiva se ha exportado desde *gvSIG* a un fichero KML (*Keyhole Markup Language*) para poderla visualizar perfectamente en tres dimensiones con la aplicación *Google Earth* © 5.0.

CONCLUSIONES

En referencia a las herramientas GIS utilizadas, se puede concluir que el binomio formado por *gvSIG* y *SEXTANTE* ofrece un abanico de herramientas de análisis espacial muy potente y completo. No tiene nada que envidiar a los productos comerciales que podemos encontrar en el mercado. Ciertamente es que aún quedan algunos puntos de mejora. Entre ellos encontramos el puntualmente exagerado uso de memoria de la estación de trabajo o los problemas para conectarse a fuentes de cartografía *on-line* (WMS – WFS). Por otro lado, se ha observado que los algoritmos de *SEXTANTE*, una vez combinados y trabajando con un volumen de datos importante, presentan un rendimiento bajo.

En relación a los resultados obtenidos en el proyecto, se puede afirmar que la ruta obtenida es una buena propuesta de ruta pero aún es mejorable. Se podría ampliar la resolución de los MDE usados para disponer de una representación del terreno más exacta y ajustar mejor la máscara de hidrografía evitando el recorte del cauce de los ríos y los yunques entre montañas. Adicionalmente, se podría obtener capas representativas de las variables del terreno que fueran de la época romana permitiendo simular con más exactitud la realidad de ese periodo.

REFERENCIAS

- ◆ [1] gvSIG. <http://www.gvsig.gva.es/> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [2] SEXTANTE, <http://forge.osor.eu/projects/sextante/> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [3] EBENER, S. (2005), *Physical Accessibility to health care: From Isotropy to Anisotropy*. Suiza
http://www.who.int/kms/initiatives/Ebener_et_al_2005.pdf
- ◆ [4] TOBLER, W. (1993), *Three presentations on geographical analysis and modelling*. National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara. Informe técnico 93-1.
http://www.ncgia.ucsb.edu/Publications/Tech_Reports/93/93-1.PDF
- ◆ [5] Instituto Catalán de Arqueología Clásica, <http://www.icac.net/> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [6] SAGA-GIS, <http://sourceforge.net/projects/saga-gis/> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [7] OLAYA, V. (2007), *Sistemas de Información Geográfica (Capítulo 23. Geomorfología y Análisis del Terreno)* Edición 0.1, Revisión 26.
https://svn.osgeo.org/osgeo/book/es/libro_sig/ (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [8] Institut Cartogràfic de Catalunya, <http://www.icc.es/> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [9] Shuttle Radar Topography Mission, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [10] Corine Data Download, <http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
- ◆ [11] Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH)
<http://mediambient.gencat.cat/cat/inici.jsp> (última consulta, 8 de febrero de 2010).
<http://rdgs.dk/djg/pdfs/102/1/05.pdf>
- ◆ [12] SCHARENBRÖICH, C. (2006), *Classifying Access on Whitewater Wildlife Management Area Callahan Unit using GIS*, Papers in Resource Analysis: v.8, p.9.
http://reference.kfupm.edu.sa/content/c/classifying_access_on_whitewater_wildlif_86122.pdf
- ◆ [13] KINSELLA-SHAW, J. M.; SHAW, B.; TURVEY M. T. (1992), *Perceiving 'Walk-on-able' Slopes*, Ecological Psychology: v.4, pp.223-239.
<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a784403482>