



Tema 6



Análisis de distancias y rutas óptimas en entorno raster

Asignatura obligatoria G-180 Los Sistemas de Información Geográfica I (Raster). Grado en Geografía y Ordenación del Territorio. Curso 3º. Universidad de Cantabria.

Profesora: Olga DE COS GUERRA.

Profesora titular de la Universidad de Cantabria.

Área: Geografía Humana.

Licencia: Creative Commons BY-NC-SA 4.0 Internacional



Abordaremos las operaciones de cálculo de distancias mediante un SIG raster, tanto para la obtención de distancias concretas, como para la determinación de zonas próximas (contenidas en un determinado corredor). Fíjate en el tipo específico de distancia que analiza la fricción, y el coste de desplazamiento como base necesaria para el cálculo de rutas óptimas.

Índice de contenidos

	Página
Bloque 1. Análisis de distancias en modelizaciones SIG raster	3
Bloque 2. Análisis de proximidad (corredores o buffer) en modelizaciones SIG raster	4
Bloque 3. Cálculo de rutas óptimas	6
3.1. Definición de ruta óptima y conceptos asociados	
3.1.1. Barreras	
3.1.2. Superficies de fricción	
3.1.3. Análisis de costes de desplazamiento acumulados (isotrópicos/anisotrópicos)	
3.2. Proceso de cálculo de rutas óptimas en modelizaciones raster	
Bibliografía	13

Bloque 1. ANÁLISIS DE DISTANCIAS EN MODELIZACIONES SIG RASTER

En un análisis de distancia raster se miden las distancias euclidianas (en línea recta), como el vuelo de un pájaro, considerando plenamente regular la superficie abordada. Refleja la distancia entre cada celda de referencia y las más cercanas de un conjunto de celdas objetivo.


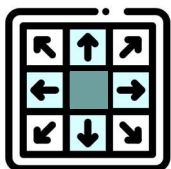
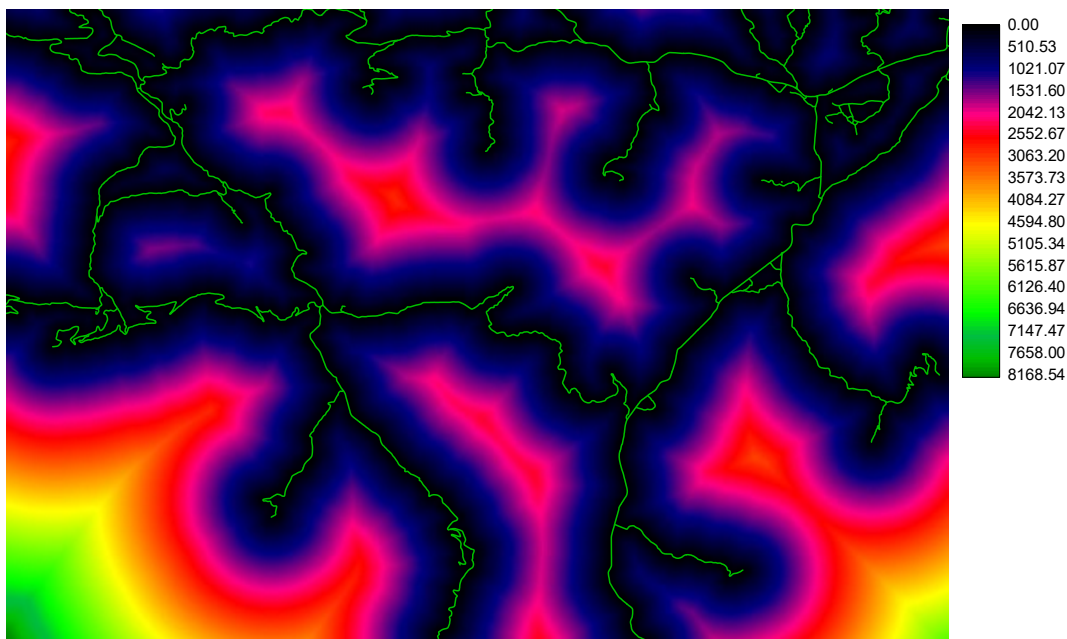
 Se trata de una operación espacial de **capa única y vecindad extendida**, en la que el resultado generado es una capa raster en la que las celdas han asumido el valor de distancia a un elemento concreto de referencia. Estas distancias se expresan en las unidades de referencia (en las que está documentada la capa de entrada –en nuestro caso, metros–).

Figura 1. Ejemplo de mapa de distancias raster con vectorial de carreteras superpuesto



En el proceso de cálculo de distancias **intervienen dos tipos de cálculos** de distancias, según la ubicación de las celdas de referencia y las que asumen el nuevo valor de distancia: distancias directas y distancias indirectas.

- Las **distancias directas** son aquellas que se calculan mediante el producto del número de celdas por la medida del lado de celda, siempre que las celdas se encuentren en la misma fila o columna que el elemento de referencia.

- Las **distancias indirectas** son aquellas calculadas entre celdas que se encuentran en distinta fila y columna. Para su cálculo hay que recurrir al Teorema de Pitágoras, siendo la distancia la hipotenusa y los catetos corresponden con las distancias directas tanto en sentido horizontal como en vertical (el número de celdas que distan entre ambas localizaciones multiplicado por el tamaño del lado de celda).

Figura 2. Ecuaciones que intervienen en el cálculo de las distancias



Siendo: d_f distancia en número de filas, d_c distancia en número de columnas, L tamaño del lado de celda (resolución)

Bloque 2. ANÁLISIS DE PROXIMIDAD (CORREDORES O BUFFER) EN MODELIZACIONES SIG RASTER

Las operaciones de *buffering* (creación de buffers) permiten definir zonas a partir de un elemento o conjunto de elementos de referencia. Se trata de operaciones sencillas de interpretar e incorporar a análisis posteriores.

En su proceso de cálculo, para generar el corredor buscado inicialmente, el sistema debe realizar un análisis de distancias euclidianas respecto al elemento *bufferizado*.



Si nos centramos en los cálculos mediante sistemas raster, a partir del análisis de proximidad (BUFFER), esta operación estima las celdas que se encuentran a menos de cierta distancia de algún elemento tomado de referencia (por ejemplo, a menos de 500 metros de una autovía).

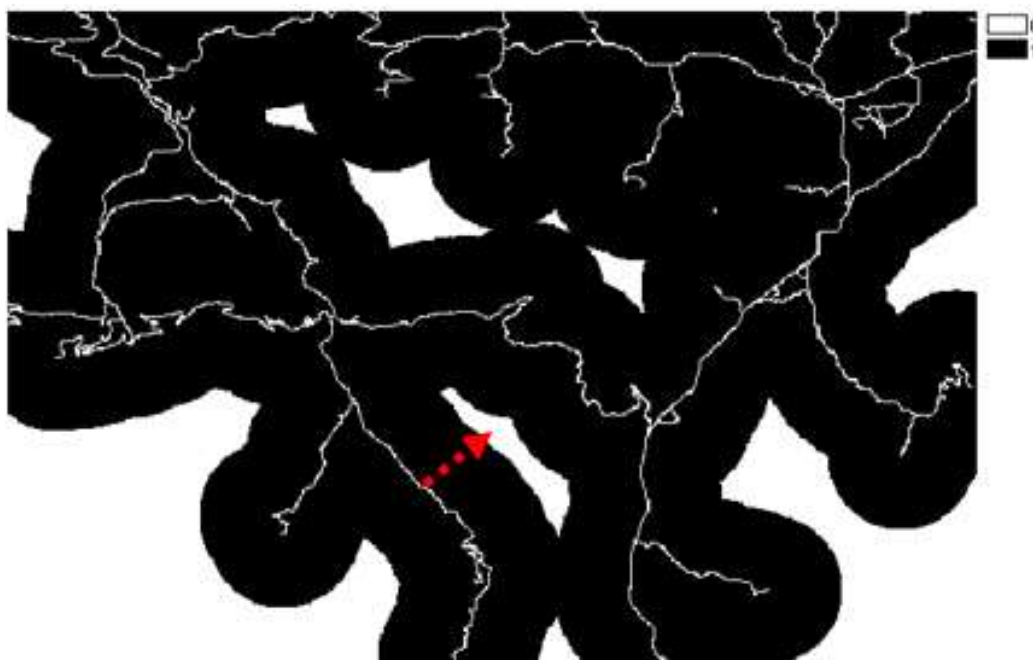
Con este cálculo el mapa resultante identificará en el conjunto de celdas que integran el corredor (es decir incluidas a menos de cierto umbral de distancia al elemento de referencia) y se anularán (valor 0) las celdas ubicadas más allá de las zonas del buffer (externas al corredor definido). Permite, en suma, calcular cuáles son todos los píxeles a menos de “x” unidades de distancia al elemento de referencia.



Es una operación de **vecindad extendida y capa única**. Para poder calcular un corredor sólo es necesario disponer de un raster con el elemento a partir del cual se va a realizar el análisis de proximidad (capa única) y (dado que en su estimación debe desarrollarse inicialmente un análisis de distancias completo) es una operación de vecindad extendida. Sólo es necesario el elemento de referencia y un umbral a modo de parámetro para marcar la diferencia entre lo que forma parte y no del corredor. Dicho umbral debe expresarse en las mismas unidades que la capa de referencia.

En este caso, no se conocen las distancias exactas, como ocurría en el análisis de distancias euclidianas, sino que sólo se sabe si una determinada celda se encuentra dentro de cierto umbral de distancia.

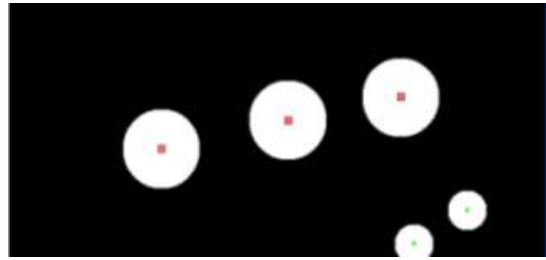
Figura 3. Ejemplo de corredor de 2Km a las carreteras de la Hoja 57



La operación de buffer equivale a la realización de un análisis de distancias que posteriormente se reclasifica, de modo que quien realiza la operación no percibe el cálculo de distancias intermedio y recibe como resultado final los valores calculados ya reclasificados.

En esta operación espacial –y en función del software SIG con el que se desarrolle– es posible identificar variantes, algunas de cierta utilidad en la resolución de problemas espaciales concretos como el análisis de corredores de diferente amplitud (tamaño variable según los elementos de referencia) a partir de una capa de entrada.

Para ello es necesario que cada celda que configura un elemento de referencia tenga como valor el tamaño de buffer que a partir de ella se desea aplicar, eligiendo en la operación correspondiente la opción “Usar valor de celda como distancia”.



Bloque 3. CÁLCULO DE RUTAS ÓPTIMAS

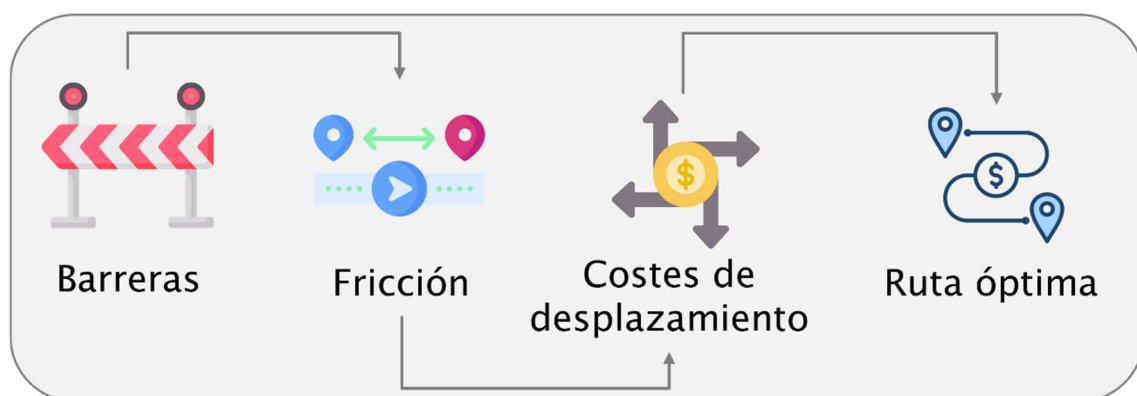


3.1. Definición de ruta óptima y conceptos asociados

En una filosofía SIG raster se definirán rutas óptimas basadas en el concepto de “**caminos o rutas de menor coste**”.


Este concepto base condiciona el desarrollo aplicado de rutas óptimas y hace necesario precisar los siguientes conceptos asociados: barreras, superficies de fricción y análisis de costes de desplazamiento, función que enlaza directamente con el concepto inicialmente planteado de “caminos de mínimo coste” que se materializa en determinar la ruta de menor coste entre dos puntos de referencia (inicio y destino) a partir de una capa raster de base que almacena el coste de desplazamiento acumulado.

Figura 4. Principales conceptos asociados al cálculo de rutas óptimas



3.1.1. Barreras. Se consideran barreras aquellas variables que interfieren en el desplazamiento en una determinada zona, dificultado el desarrollo de rutas y, por tanto, aumentando los costes de

desplazamiento. Son variables o condiciones de resistencia al desplazamiento.

 Esta denominación genérica puede materializarse en barreras concretas –según el objetivo de la ruta, el ámbito de estudio, etc.– si bien se pueden clasificar en dos tipos básicos:



Barreras absolutas: insalvables



Barreras relativas: aquellas que se pueden atravesar con mayor o menor dificultad

Algunos ejemplos de barreras u obstáculos al desplazamiento pueden ser: los ríos, la existencia de espacio edificado, la presencia zonas forestales o áreas diversas a proteger, las elevadas pendientes, la altitud...

3.1.2. Superficies de fricción. La fricción en el cálculo de rutas óptimas es entendida como la magnitud de resistencia al desplazamiento impuesta por una barrera. Para establecer la superficie de fricción se parte de la base de que las distancias o el movimiento entre un origen y un destino no lo son en términos geométricos y que se pueden derivar distancias efectivas, en las cuales la superficie atravesada no se considera homogénea.

Las superficies de fricción representan un valor de dificultad al desplazamiento¹ desde el mínimo posible en “1” hasta fricciones muy elevadas (no acotadas) que pueden aproximar el concepto de barrera relativa a absoluta a partir de cierto umbral.

¹ Mediante la reclasificación se otorga un valor de fricción a los distintos valores de la variable considerada barrera. Según V. Olaya (2020) *“Aunque la capa con la superficie de fricción cubre toda una extensión dada, es probable que puntos de esta extensión no sean transitables. Si suponemos que el coste viene expresado por la pendiente, hay zonas tales como embalses donde, con independencia de su pendiente, no podemos cruzar. Una solución habitual es asignar a las celdas en estas zonas un valor muy elevado (coste infinito), que haga que no sea viable transitarlas...”*.

En algunos programas SIG es posible indicar una fricción máxima completa equivalente a una barrera absoluta mediante el “-1”.



La fricción también puede denominarse **coste unitario** en cuanto que solo contempla el valor de dificultad impuesto por una celda y no su valor relacionado con la distancia a la celda objetivo (destino de la ruta).

3.1.3. Análisis de costes de desplazamiento acumulados (isotrópicos/anisotrópicos). El coste de desplazamiento viene impuesto por la **distancia al punto destino de la ruta** y por la existencia de una serie de barreras u obstáculos al desplazamiento materializados en la **superficie de fricción** descrita en el apartado anterior. Se considera acumulado desde el destino (punto de partida para el análisis de coste de desplazamiento) de forma que en la capa de costes cada celda representa el coste de desplazamiento a la celda objetivo (si solo se considera un destino) o bien al destino más cercano (en caso de tomarse varias celdas como referencia -destino- en el cálculo del coste).



“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 supondrá desplazarnos. Así pues, podemos definir el coste como la resistencia que presenta el medio por el que nos desplazamos en un punto concreto”

(Vilanou, Muñoz y Pérez, 2010: 5)

El análisis de costes de desplazamiento genera una superficie de distancia (entendida no como cercanía espacial sino como una distancia-coste) medida como coste de desplazamiento (en términos del esfuerzo, del gasto, etc.) al moverse por una superficie de la fricción desde un destino. Con frecuencia la unidad de la medida en la imagen de costes resultante es “los equivalentes de celda” (gce: *grid cell equivalents*).

Así, un valor de 1 indica el coste de mover por una celda de la malla cuando la fricción igual a 1. Un coste de 5 gce quizás surja de un movimiento por 5 celdas con una fricción de 1, o atravesar una celda con una fricción de 5. Estos costes se determinan radialmente desde el destino, es decir, de la celda de referencia inicial para terminar la ruta.

Los costes acumulados de desplazamiento se pueden calcular tomando como referencia dos principios posibles: isotrópico y anisotrópico.

- **Isotrópico** basado en un coste de desplazamiento idéntico en todas las direcciones, solo alterado por la distancia a la celda destino y por la dificultad indicada en la superficie de fricción.
- **Anisotrópico** basado en un algoritmo que contempla variantes en función de la dirección, para lo cual además de contemplar los condicionantes del coste isotrópico se considera la orientación de las celdas en grados respecto al norte.

Figura 5. Ejemplo de capa raster de coste de desplazamiento acumulado anisotrópico (H35-3) según fricción impuesta por la pendiente

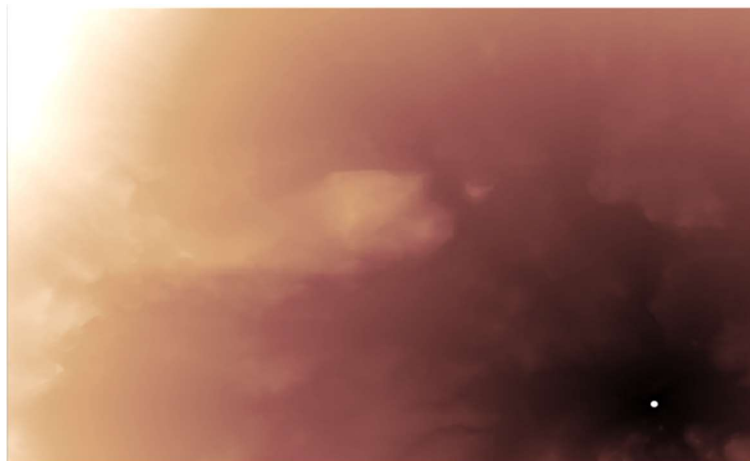
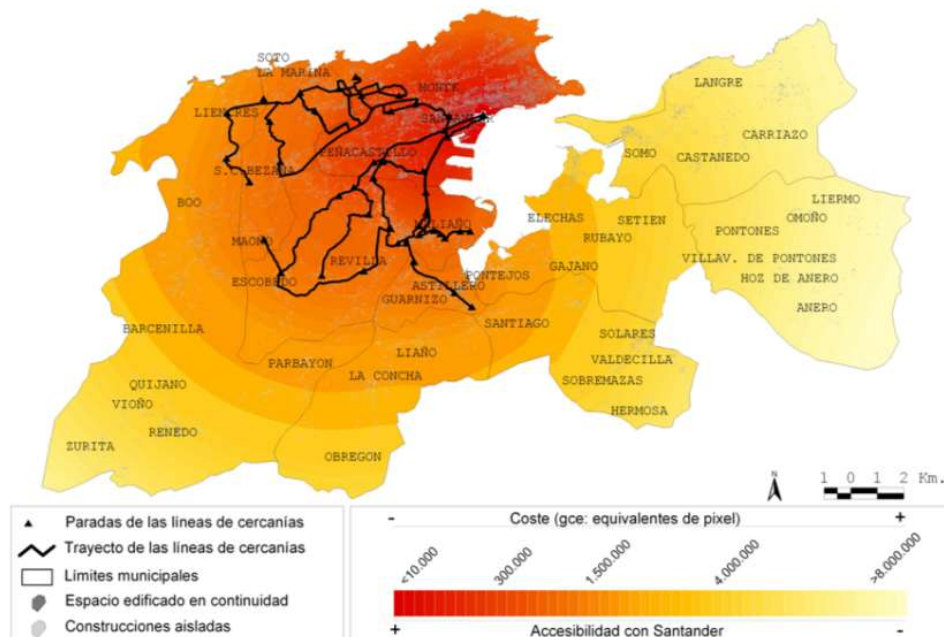


Figura 6. Ejemplo de mapa de costes de desplazamiento según las rutas de autobuses de cercanías en el área metropolitana de Santander



Elaboración propia. En: De Cos, O. (2005). *Propuesta de delimitación del área metropolitana de Santander. Realidad funcional, organización administrativa y Gobernanza*. Santander: Centro de Estudios de la Administración Pública Regional. Gobierno de Cantabria.

3.2. Proceso de cálculo de rutas óptimas en un SIG raster



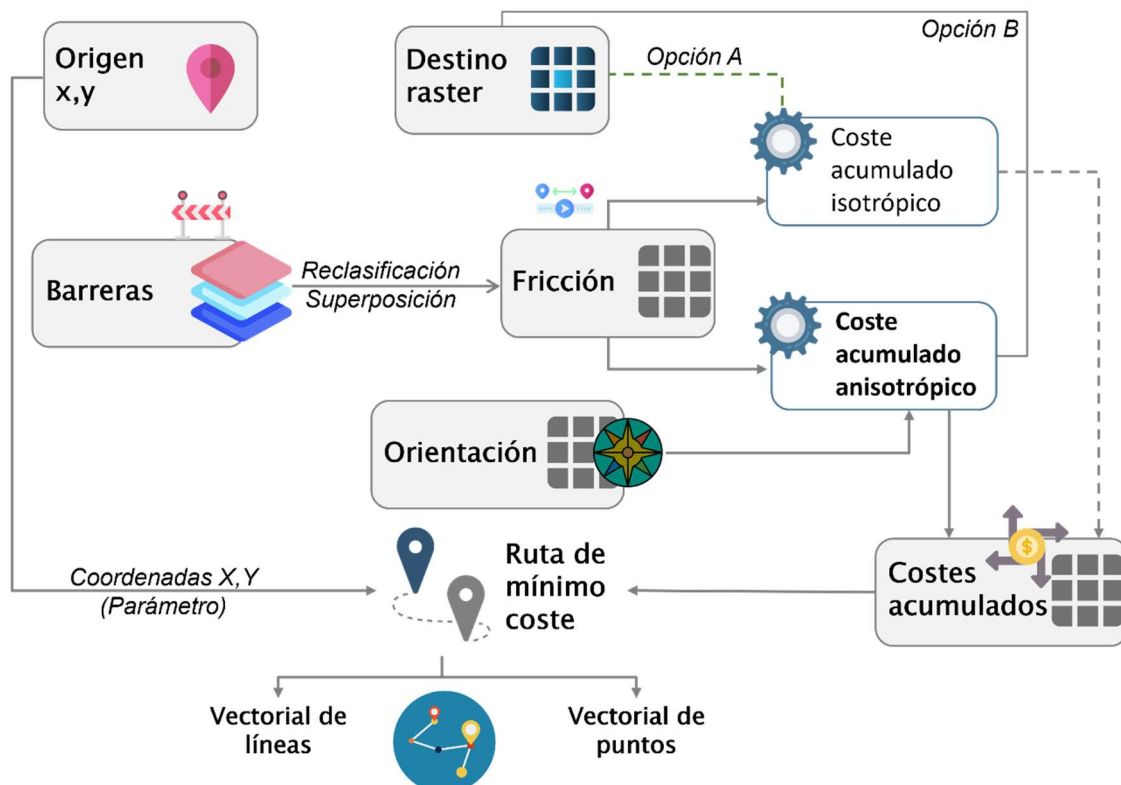
“El valor de cada celda en una capa de coste acumulado nos indica el coste mínimo para alcanzar una de las celdas de destino, pero no nos informa de la ruta que implica dicho coste. No obstante, no es difícil calcular dicha ruta”

(Olaya, 2020)

Los SIG incorporan algoritmos orientados al análisis de rutas óptimas con condicionantes que pueden variar de unos programas a otros. En este caso, la base teórica de rutas óptimas se presenta adaptada al procedimiento de análisis que desarrolla GvSIG para tal fin.

Al margen de estas precisiones iniciales, la realización del cálculo de rutas óptimas, o rutas de mínimo coste, implican una serie de pasos encadenados que deben seguirse hasta lograr la propuesta de camino final.

Figura 7. Organigrama metodológico de cálculo de rutas óptimas (de mínimo coste) según procedimiento isotrópico (opción A) y anisotrópico (opción B)



Tal como muestra el organigrama anterior son variados los datos o capas de referencia necesarias y los procedimientos o algoritmos que intervienen en el cálculo de caminos de mínimo coste.

En esencia las capas de partida son:

1. Mapa (raster) con la localización del destino de la ruta.
2. Coordenadas X,Y del punto de origen de la ruta. En caso de disponer de la localización cartografiada vectorial deben incorporarse los procedimientos necesarios para la extracción de sus coordenadas.
3. Barrera o barreras cartografiadas: según el objetivo de la ruta, el ámbito de estudio, etc. Por término general se incorporan barreras representadas bajo el modelo raster.
4. Traducción de las barreras en superficies de fricción. Mediante reclasificación se otorga un valor de fricción a los distintos valores de la variable considerada barrera. La mínima fricción es “1” y la fricción de las barreras absolutas se indica con el valor “-1” si el programa contempla este tipo de barreras, o bien con un valor de fricción muy elevado.
5. Cálculo de los costes de desplazamiento desde el destino hacia todos los píxeles de la zona en función de la distancia al punto de referencia y de la fricción impuesta por las barreras.
 - Si se opta por el coste acumulado anisotrópico será necesario incorporar la capa de orientación de las celdas en grados.

Sobre el esquema de trabajo (Fig. 7), finalmente, se obtiene la ruta óptima o “ruta de mínimo coste”. Determina la ruta de menor coste entre dos puntos de referencia a partir de una acumulación del coste de desplazamiento. La ruta se utiliza en conjunción con el coste de desplazamiento (donde está implícito el destino en el píxel de mínimo coste) y la posición del origen a partir de su par de coordenadas.

El resultado obtenido puede variar de unos sistemas SIG a otros. En el caso que nos ocupa el resultado de un análisis de rutas óptimas se materializa en dos archivos vectoriales de geometría distinta:

- **Vectorial de líneas** con el trayecto correspondiente a la ruta de mínimo coste.
- **Vectorial de puntos equiespaciados** tomados a lo largo del trayecto de la ruta de mínimo coste para los que se dispone de coordenadas X,Y del valor de coste en esa localización, la distancia horizontal al extremo de la ruta, la distancia real y el valor extraído de las capas raster adicionales que se hubiesen indicado en el análisis de ruta óptima.

Figura 8. Ejemplo de tabla de atributos de una capa de puntos obtenida en una ruta de mínimo coste de desplazamiento en la que se indicó variable adicional (pendiente en grados)

Tabla: Tabla de atributos: Ruta (puntos)					
X	Y	Z	DistHorz	DistReal	PENDIGRADO
442037.5	4799387.5	19.54818	4414.98395	4418.47993	11.85901
442062.5	4799362.5	17.85216	4450.33928	4453.87592	10.63919
442062.5	4799362.5	17.85216	4450.33928	4453.87592	10.63919
442087.5	4799337.5	15.76353	4485.69462	4489.2929	8.4725
442087.5	4799337.5	15.76353	4485.69462	4489.2929	8.4725
442112.5	4799312.5	14.04779	4521.04996	4524.68985	4.8682
442112.5	4799312.5	14.04779	4521.04996	4524.68985	4.8682

BIBLIOGRAFÍA

- BOSQUE SENDRA, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, Rialp.
- CEBRIÁN, J.A. (1992): *Información geográfica y Sistemas de Información Geográfica* Santander, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- FUENZALIDA DÍAZ, M.A. BUZAI, G.D., MORENO JIMÉNEZ, A. y GARCÍA DE LEÓN, A. (2015): Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones. Santiago de Chile, Ed. Triángulo, 208 p. ISBN: 978-956-9539-01-5. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/113478>
- GONZÁLEZ AGUAYO, R.: *Diccionario de términos SIG*.
- GUTIÉRREZ PUEBLA, J. y GOULD, M. (1994): *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, Síntesis.
- HAINING, R. (1994): *Designing spatial data analysis modules for GIS*. En: Fotheringham and Rogerson (eds.) *Spatial Analysis and GIS*. Taylor and Francis: London, 45-64. Adaptado por Giscampus.org.
- OLAYA, V. (2020): *Sistemas de Información Geográfica*. En: <http://volaya.github.io/libro-sig/>
- TOBLER, W.R. (1959): "Automation and Cartography". *Geographical Review*, págs. 526-534.
- VILANO, R., MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (2010): "Modelo anisotrópico de cálculo de rutas de coste mínimo con gvSIG y Sextante". IV Jornadas de SIG Libre. SITGE. Universitat de Girona.