



Simulando una vía de comunicación: el tramo de la vía romana entre el Coll de Panissars y Girona

Mediante programa informático es posible simular las vías de comunicación existentes entre asentamientos humanos, siendo muchos los trabajos publicados y varias las formas de aproximación al problema. El objetivo del trabajo que nos ocupa ha consistido en la generación de un nuevo modelo a partir del cual fuera posible simular una vía de comunicación, con la salvedad de que en este caso ya existía una idea aproximada de cual sería su trayectoria a partir de trabajos de otros autores. Esta vía de comunicación es la vía *Augusta*, en el tramo que une el Coll de Panissars y la ciudad de Girona.

Palabras clave: GIS, DEM, vía Augusta, *Gerunda*.

It's possible to simulate the ways of communication existing between human settlements using a computer program, being a lot of works published and diverse ways of approximation to the problem. The objective of this work is the production of a new model from which it would be possible to simulate a way of communication, with the exception that in this case an approximated idea of which would be the trajectory already existed from works of other authors. This way of communication is the way *Augusta*, at the stretch which links the Coll of Panissars and the town of Girona.

Key words: GIS, DEM, way Augusta, *Gerunda*.

1. Introducción: la función de cálculo del coste de desplazamiento (*Cost Surface*) y la superficie de fricción

Las sociedades intercambian conocimientos, ideas y mercancías a través del movimiento por el territorio. La topografía juega un papel primordial en la trayectoria de tal movimiento y es un elemento que nos explica la disposición a lo largo del paisaje tanto de los asentamientos, como de otros elementos que de su acción sobre el territorio se derivan. Los elementos topográficos del territorio condicionan e impactan en tal movimiento, ya sea la pendiente, los ríos o las zonas que sufren los efectos de la acumulación y escasez de aguas debidas a una climatología como la mediterránea. La aparición de los Sistemas de Información Geográfica y su aplicación en la arqueología, en especial en la disciplina que se

ocupa del territorio, han facilitado la construcción de modelos que simulan las redes de intercambio entre sociedades.

En estos casos, una función como es el cálculo del Coste en el Desplazamiento, aportada como primitiva en los SIG, permite la recreación sobre plano de las rutas óptimas de comunicación entre los asentamientos humanos. Este coste se traduce en la cantidad de energía necesaria para acceder o atravesar un determinado punto del territorio, en el camino que une dos asentamientos.

1.1. Aproximaciones al movimiento: isotropía y anisotropía

Dos son las formas en que la investigación se ha aproximado al problema, por un lado los llamados algoritmos isotrópicos (WHEATLEY, GILLINGS 2002, 151)

fundamentados en que todo movimiento implica un coste sin que la dirección sea significativa; por otro lado, los anisotrópicos, construidos teniendo en cuenta que la dirección es esencial para complicar o optimizar el acceso al elemento más próximo en el movimiento. Para el primero son variables comunes la frondosidad de la vegetación o el tipo de suelo, asignándose un coste cuantitativo al tránsito por tales unidades topográficas. En el segundo son factores como la pendiente o los flujos hidrográficos (DE SILVA, PIZZIOLLO 2001, 279) los que determinan, facilitan y dificultan tal movimiento.

Tradicionalmente geología y topografía son las variables más utilizadas en el cálculo de los costes. La razón estriba en que el resto de factores están mucho más influenciados por el devenir del tiempo (BELL *et al.* 2002, 174-175): un bosque, un tipo de cultivo, un tipo de suelo, el curso de un río están más sujetos al cambio temporal. Y sin embargo tampoco la topografía se libra del tiempo, ya que factores como la erosión, las líneas de costa, la transformación deltaica o los entornos aeolianos hacen que cualquier estudio de estas características esté sujeto a análisis previos que calibren, en lo posible, la transformación producida.

En los algoritmos anisotrópicos, el estudio de la pendiente ha generado interesantes modelos que explican y calculan la llamada *fricción efectiva*. Entendiendo como fricción de un elemento topográfico aquel desgaste que este ejerce sobre el objeto en movimiento (DE SILVA, PIZZIOLLO 2001, 279). Por esta razón la pendiente es uno de los factores principales en el cálculo de la fricción efectiva, y por tanto la variable utilizada en diversos modelos que representan el movimiento. Así, una pendiente del 60% sufre un coste 100 veces mayor que si no hay pendiente, y 600 veces mayor si la pendiente alcanza el 80%, de lo que se entiende que el coste sufre un incremento no lineal con el aumento de la pendiente (BELL *et al.* 2002, 175).

Ericson y Goldstein (ERICSON, GOLDSTEIN 1980) estimaban el esfuerzo teniendo en cuenta que la comunicación entre dos comunidades es bidireccional y por tanto el recorrido es la suma de la distancia recorrida, y del diferencial entre la altura alcanzada en el ascenso y de la producida en el descenso, ambas ponderadas. Así la fórmula era (WHEATLEY, GILLINGS 2002, 151):

$$\text{ESFUERZO} = \text{DISTANCIA} + 3.168 * D_{\text{arriba}} + 1.2 * D_{\text{abajo}}$$

De esta fórmula De Silva y Pizziolo (DE SILVA, PIZZIOLLO 2001, 281-282) realizaron una adaptación con la intención de crear un modelo que también explicara el movimiento humano. Asumiendo el píxel como unidad de medida, determinaban que la fricción efectiva en un recorrido de ida y vuelta se podía estimar como:

$$\text{FACTOR DE FRICCIÓN} = 1 + \frac{\text{Fricción ascenso} + \text{Fricción descenso}}{2}$$

Siendo:

Fricción ascenso = 3.168* pendiente expresada en porcentaje

Fricción descenso = 1.2* pendiente expresada en porcentaje

Otra forma de representar el desgaste fisiológico producido en el movimiento la expresó Pandolf (PANDOLF *et al.* 1977) mediante una fórmula en la que intervenían variables como eran el peso del vehículo tractor, el peso a transportar (W y L), la velocidad del movimiento (V), la pendiente (G) y un factor dependiente del terreno (N):

$$M = 1.5W + 2.0 (W+L) (L/W)^2 + N (W+L) (1.5V^2 + 0.35V * \text{abs}(G+6))$$

El factor N sería el coste de atravesar una unidad de terreno teniendo en cuenta elementos topográficos como marismas, carreteras, ríos con diferentes aportes hídricos. Cada uno de ellos recibiría un valor que representaría una penalización al movimiento.

Van Leusen realizó un estudio de gran interés con el propósito de simular cual era la red de comunicaciones en el territorio de Wroxeter, durante la edad de Hierro y el periodo Romano (VAN LEUSEN 2000). Partió de la fórmula de Pandolf, utilizando modelos digitales de elevación con una resolución de 50 m/píxel, sobre una serie de supuestos:

- La dirección del movimiento, fuera en ascenso o descenso, no requería un tratamiento especial.
- El factor N se calculaba en función, por ejemplo, del caudal de los ríos.
- Determinó que el medio de transporte tenía un peso de 70 kg (W), soportaba una carga máxima de 4 kg (L) y transitaba a una velocidad de 4,8 km/h.

De esta manera, la fórmula de Pandolf pasaba a convertirse en otra únicamente dependiente de N y la pendiente (G):

$$M = 105.483 + 2557.44N + 124.32NG$$

A partir de aquí y tomando los diversos asentamientos como puntos de origen y destino se construía, con el uso del algoritmo de cálculo del camino de coste óptimo, que veremos a continuación, una red de comunicaciones dentro del área de Wroxeter.

El cálculo del Camino de Coste Óptimo (least cost route)

El cálculo del Coste de Desplazamiento es un paso intermedio necesario para generar los caminos óptimos entre una serie de asentamientos. El algoritmo consiste en determinar cual es la ruta que implicará un menor coste. A partir de aquí puede construirse la red de comunicaciones de un territorio generando un Coste de Desplazamiento por cada uno de los asentamientos sujetos a estudio, calculando a continuación cuales son los caminos de coste óptimo de cada uno de ellos

con respecto al resto. Una aplicación del sistema, que además estudia diacrónicamente las redes de comunicación desde la Edad de Bronce hasta la Edad Media, se hizo en el valle del río Sangro en Italia (BELL *et al.* 2002, 177-186). Otro caso, el ya citado de De Silva y Pizziolo, se usó en la reconstrucción de la red de comunicaciones entre los asentamientos Neolíticos del valle de Biferno, también en Italia (DE SILVA, PIZZIOLLO 2001, 282-285).

2. Una calibración del Coste de Desplazamiento: el Modelo de Oposición al Movimiento

2.1. Justificación

Al revisar todos los estudios vistos hasta ahora, la pregunta que quedaba en el aire era si ciertamente la utilización de estas funciones explicaba la realidad. Es decir, si tomamos una vía de comunicación ya estudiada, para la cual ya se había definido su trayectoria a partir de las fuentes históricas y arqueológicas, ¿existía un modelo de *fricción* en el paisaje que permitiera la simulación de un recorrido aproximativo al real? Tal modelo solo podría justificarse si sus variables se fundamentaban en los condicionantes implicados en la construcción de una gran infraestructura de comunicación.

Por esta razón buscaríamos primero el elemento arqueológico, en nuestro caso la vía romana como elemento catalizador, distribuidor y organizador del movimiento a través del territorio; luego estudiaríamos cuales serían los condicionantes que explican o alteran su recorrido, y finalmente, construiríamos el modelo que asumiera tales variables y nos permitiera su aplicación a un caso concreto en el que se dieran diversas circunstancias, por ejemplo varios ramales.

2.2. ¿Qué condiciona la construcción de una vía romana?

Son factores topográficos los que generalmente condicionan el trayecto de una vía que comunica dos centros, sin descartar aspectos de tipo político o social, factores estos últimos que en principio se alejarían de nuestros propósitos.

Chevalier (CHEVALIER 1997, 98-99) ya indicaba que de todos los factores condicionantes en la construcción de una vía eran los geográficos, naturales, climatológicos y humanos los que se tenían que considerar prioritariamente. Entre los factores naturales enumerados cabría destacar:

- La permeabilidad de un relieve.
- La disimetría de las vertientes.
- Los pasos anexos a las grandes gargantas practicados ya desde la antigüedad y que favorecían el factor sorpresa de un invasor.

Todos ellos justifican la necesidad de una vía de comunicación, pero si buscamos imperativos constructivos o delineadores de la trayectoria, encontramos que la adaptación a la topografía de un territorio pasaría por:

- Una repulsión a las zonas húmedas o inundables (CHEVALIER 1997, 107) que provocan, por ejemplo,

el embarrado de la carretera, consecuentemente una mayor fricción y por tanto, retrasos en la marcha. En las zonas más meridionales esto se traduce en un efecto agresivo sobre la infraestructura, producido por avenidas y riadas que no solo dificultan el paso, sino que lo interrumpen bruscamente, siendo necesario el desvío por vías alternativas, si estas existen.

- Se buscaba la superación de montañas y serranías por los collados más bajos, siguiendo las laderas con mejor acceso y más soleadas posible. Así se evitaban problemas de humedad, hielos y temperaturas bajas. La comparación con infraestructuras actuales evidencia esta característica ya que la diferencia alcanza los 100 metros, por ejemplo, en el tramo *Asturica Augusta* (Astorga) y *Bergido* (Cacabelos) (MORENO 2004, 64).
- Desgaste y fricción se aminoraban siguiendo las pendientes naturales más suaves, alcanzando como máximo un 8%, bajo situaciones excepcionales, limitadas a tramos lo más cortos posibles, que evitaran el agotamiento de las bestias de carga, y por tanto dificultaran o impidieran el tránsito (MORENO 2004, 65).
- La línea recta, evidente en el caso de llano, se abandonaba en beneficio de su acomodo al perfil de la ladera.

Sin embargo, cuando las circunstancias así lo requerían, se utilizaban los recursos técnicos disponibles ya fuera excavando en roca, terraplenando zonas mal drenadas o elevando puentes que salvaran las dificultades. Y si no se daba ninguna de estas circunstancias, es decir el tránsito era en llano, el trazado seguía larguísimas alineaciones, utilizando para ello el terraplenado.

2.3. Condicionantes adoptados

En principio se tomó como punto de arranque la función de cálculo de la fricción efectiva desarrollada por De Silva y Pizziolo.

Un segundo elemento que tuvimos en cuenta fue la repulsión a aquellas zonas que estuvieran sujetas a posibles inundaciones y por tanto propensas a sufrir una mayor acumulación de aportes hídricos. Un patrón a tener muy en cuenta ya que estas situaciones penalizaban el tránsito, degradaban la infraestructura con la pérdida de firme y era complicado el drenaje de las aguas acumuladas.

Por esta razón se buscó en el SIG alguna función que permitiera representar un modelo semejante. El SIG utilizado fue ArcView, en su versión 3.1, con la extensión *Spatial Análisis* y el cual nos aportaba las funciones necesarias. Pero para que estos cálculos se pudieran realizar es necesaria la utilización de un DEM, un modelo digital de elevaciones, a partir del cual se calculara el Sentido de Circulación del Agua (*Flow Direction*) y después la Respuesta Hidrológica (*Flow Accumulation*). Como términos que necesitan una aclaración diríamos que un DEM es la digitalización topográfica de un territorio, construida como una matriz donde cada casilla contiene una altura; y que la resolución de un DEM equivaldría a los metros de topografía real representados por cada una de sus casillas.

El Sentido de Circulación del Agua se define como la dirección de salida del agua, desde una celda hacia las celdas vecinas más cercanas, cuando se produce una acumulación hídrica. De este cálculo se deriva el segundo, Respuesta Hidrológica, basado en determinar cual es la acumulación hídrica, producida por una tormenta o un deshielo, ejercida por las celdas vecinas sobre la sometida a cálculo. Ambos algoritmos fueron definidos por Jenson y Domingue en 1988 (JENSON, DOMINGUE 1988).

Sin embargo se vio que aún faltaba un tercer elemento de ponderación, como puede ser la presencia de un río que interrumpe y dificulta el movimiento. El modelo contemplaría la situación en la que un mismo río sería difícilmente salvable en las proximidades a la desembocadura, y sin embargo podría cruzarse más fácilmente, a través de vados, corriente arriba. Esta circunstancia se simplificó y simuló estableciendo para un mismo río diferentes tipos de tramo con valores clasificados de mayor a menor caudal.

Con estos tres elementos se construyó el siguiente modelo al que llamaremos Mapa de Oposición al Movimiento:

$$\text{MOM} = \text{FRICCIÓN EFECTIVA} + K * (\text{INUNDACIÓN} + \text{RÍOS})$$

Donde INUNDACIÓN representa aquellas zonas con riesgos de ser incapaces de drenar los aportes hídricos de celdas adyacentes, y K sería una constante sujeta a la climatología del área estudiada. Inundación sería un mapa raster obtenido a partir de la utilización de las funciones de cálculo del Sentido de Circulación del agua (*Flow Direction*) y de Respuesta Hidrológica (*Flow Accumulation*).

A partir de este Modelo de Oposición al Movimiento se calcularían los Costes de Desplazamiento, mediante la función adecuada suministrada por ArcView, para luego obtener el camino óptimo entre dos comunidades.

Se probaron diferentes valores para la constante K, encontrándose finalmente uno que aproximaba el modelo a la realidad. Pero la dificultad en encontrar la constante adecuada evidenció que era necesario normalizar todas las componentes del modelo, de tal manera que manejáramos magnitudes semejantes.

Esta normalización se expresó en la siguiente forma:

$$\text{HIDROFOBIA} = \frac{(\text{INUNDACIÓN} + \text{RÍO}) * \text{MAX (Da Silva, Pizziolo)}}{\text{MAX (INUNDACIÓN + RÍO)}}$$

Es decir, la repulsión al agua, llamada hidrofobia, se expresaría como una magnitud ponderada por los máximos valores obtenidos en el cálculo de fricción establecido por De Silva y Pizziolo, y entre los máximos valores establecidos en la suma de los factores inundación y río. La función final sería:

$$\text{MOM} = \text{FRICCIÓN EFECTIVA} + \text{HIDROFOBIA}$$

3. Experimentando el modelo

3.1. La zona de estudio: el tramo de la vía Augusta entre Coll de Panissars y Girona

Se conoce como *vía Augusta* al trazado hispánico de comunicación entre Roma y *Gades*, teniendo ramificaciones e itinerarios alternativos y siendo organizado en época de Augusto sobre la llamada *vía Heraclea*. Este era un camino o pista prehistórica que fuera acondicionada, al menos en lo que al sector nordeste de Catalunya se refiere, tras las fundaciones griegas de *Emporion* y *Rhode*. Sobre ella y en los primeros cincuenta años de ocupación, se construyó la primera vía romana (NOLLA, CASAS 1997, 142), sobre la que circularían las tropas, impedimenta y suministros que facilitarían la expansión romana por la península.

El recorrido de la *vía Augusta* ha sido objeto de largas controversias en lo que se refiere al tramo que estamos estudiando, siendo dos los itinerarios propuestos para la *vía Augusta* (fig. 1). Así el tramo más oriental, cercano a la costa (MALLER *et al.* 1997, 118) se iniciaría en el paso de Panissars dirigiéndose hacia Sant Martí del Forn del Vidre y la Jonquera, donde las fuentes identifican la *mansio* de *Deciana*. Luego seguiría hasta Pont de Molins, continuaría por els Hostalets llegando a la *mansio* de *Iuncaria* que estaría situada en el barrio de la Aigüeta al noroeste de Figueres. A partir de aquí la vía descendería por Sant Pau de la Calçada, y cruzaría el río Fluvià por Sant Miquel de Fluvià aproximándose a Sant Mori. Desde Sant Mori la vía giraría hacia el sudoeste, en dirección a Saus y Caballera, cruzando el río Cinyana a poco de su confluencia con el Ter. Allí encontraríamos la *mansio* de *Cinniana*, situada en la localidad de Raset. Finalmente la llegada a *Gerunda* la haría por Medinyà y Sarrià de Ter.

Gerunda sería una fundación *ex-novo*, 80/70 aC (BURCH *et al.* 2000, 11-12), como consecuencia colateral de las guerras sertorianas, y posteriormente elevada al rango de derecho latino por Augusto entre el 15 y el 14 aC (BURCH *et al.* 2000, 19). A poca distancia, hacia el nordeste, y dominando el *Congost* sobre el río Ter, se situaría el *oppidum* de Sant Julià de Ramis, punto de control del tránsito norte-sur. Desde sus alturas se controlaba el paso de la *vía Heraclea*, primero, y de la *vía Augusta*, después. Este asentamiento sobrevive a la represión Catoniana de inicios del siglo II aC, y se convierte, con el soporte de la propia Roma, en el centro sobre el que se estructura el territorio indígena en el proceso de romanización, no produciéndose su abandono hasta el siglo I aC (BURCH *et al.* 2000, 20-22).

El descubrimiento del pilar de un puente a poca distancia de Bàscara, tras las riadas de 1987 (NOLLA, CASAS 1997, 144-145) y del que no existía constancia en época moderna, fue un elemento que confirmaba una segunda hipótesis. Esta consistía en que la *vía Augusta* habría tenido en esta región un segundo ramal más interior, y que seguiría, aproximadamente, el trayecto recorrido por la actual carretera N-II, más interior. Así desde Medinyà, y atravesando el puente sobre el Fluvià por la localidad de Bàscara,

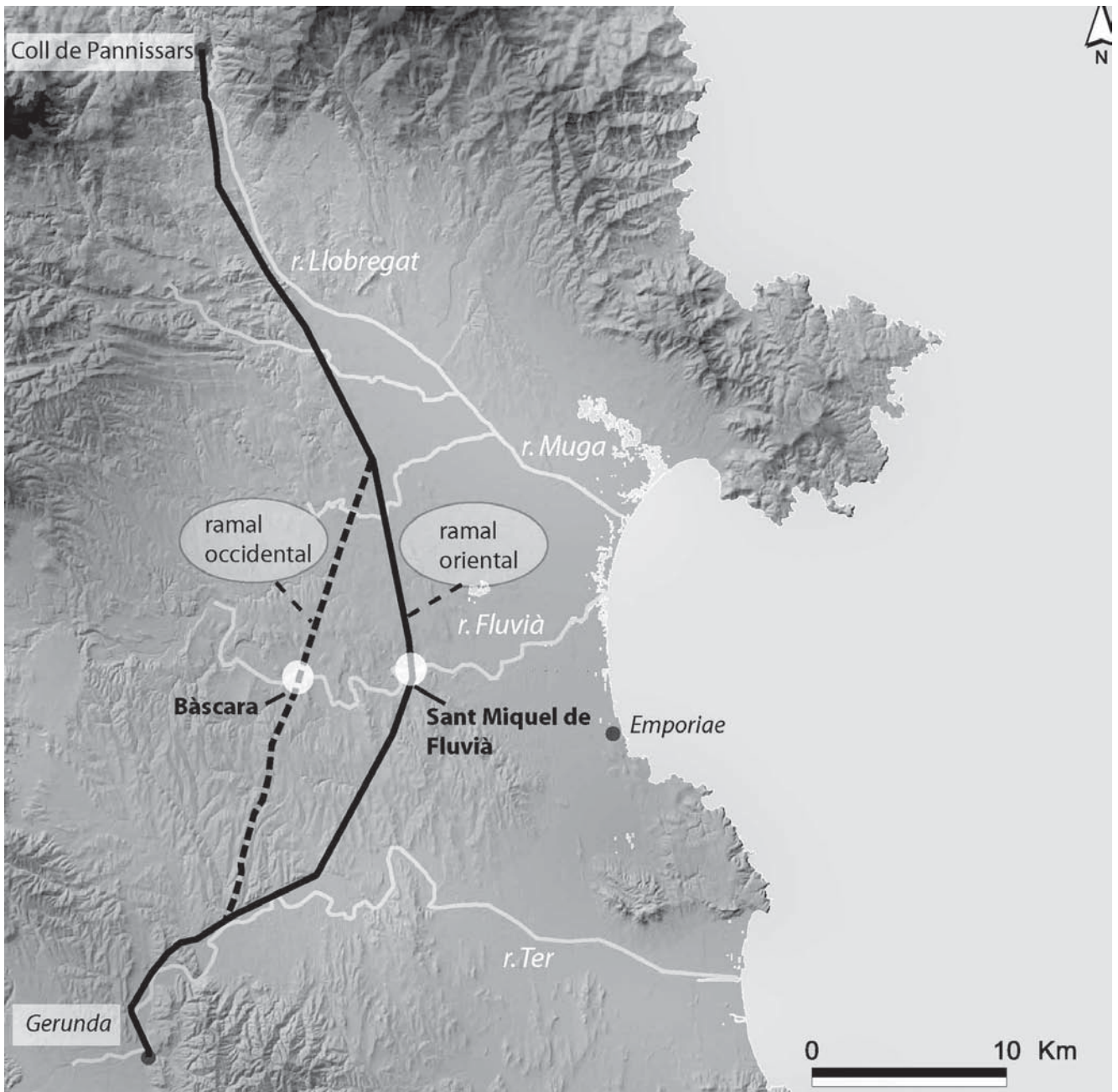


Fig. 1. Hipótesis de recorrido de la vía Augusta (a partir de NOLLA y CASAS 1997, 143, fig. 80).

este tramo se uniría al más oriental a la altura de la *mansio* de *Iuncaria*, en Figueres.

3.2. Fuentes documentales

Un segundo trabajo, absolutamente necesario, fue la recopilación de las diversas fuentes documentales que nos hablarían de este trayecto y a fin de tener una “guía de carreteras” del momento estudiado y del territorio que nos ocupa.

Así, un documento de excepción consultado fueron los llamados Vasos Apollinares, que representan, para algunos autores, una situación vial en los primeros tiempos de Augusto (MALLER *et al.* 1997, 149). Son cuatro cubiletes, con forma de miliario, en los que se inscriben las principales *mansiones* entre Roma y Gades con las distancias entre unos y otros en MP.

Se consultaron los *Itinerarium Antonini Augusti* (CHEVALIER 1997, 57-59), que enumeran las rutas de todo el imperio, donde el título *Antonino* haría referencia a Caracalla, pero cuya compilación quizás se habría realizado en época de Diocleciano.

La tercera fuente sería la Tabla de Peutinger (CHEVALIER 1997, 53-56; AMICH, CASAS 1998, 175-177) copia medieval de una compilación tardía datada entre los inicios del siglo III para Occidente y en el final del IV e inicios del V para Oriente.

De esta información construimos un cuadro (fig. 2) donde se presentan las *mansiones* citadas en el texto, junto con las distancias en MP y kilómetros.

3.3. Resultados

Utilizamos como recurso indispensable de apoyo un DEM, suministrado por el Institut Cartogràfic

| Vasos de Vicarello | | | | It. Antonino. | It. Antonino | T. de |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Vaso 1 | Vaso 2 | Vaso 3 | Vaso 4 | Arles/Castulo | de Gap en Galice | Peutiger |
| Aquis Voconis XII | Aquis Voconis XII | Aquis Voconis XII | Aquis Voconis XII | Aquis Voconis XXIII | | Aquis Voconis XII |
| Gerundam XII | Gerundam XI | Gerundam XII | Gerundam X | | Gerundam XXVII | Gerundam XII |
| Cilniam XV | Cilniana XV | Cinniana XV | Cinniana XII | Cinniana XV | | Cemuana XV |
| Iuncariam XVI | Iuncaria XVI | Iuncaria XVI | Iuncaria XVI | Iuncaria XVI | Iuncaria XVI | Iuncaria XVI |
| | | | | | | Deciana III |
| In Pyraeneum | In Pyreneo | In Pyrenaeo | Summo Pyrenae | Summo Pyreneo | Ad Pireneum | In Summo Pyreneo |
| 43 MP 63640 m | 42 MP 62160 m | 43 MP 63640 m | 38 MP 56240 m | 42 MP 62160 m | 43 MP 63640 m | 43 MP 63640 m |

Fig. 2. Cuadro comparativo de distancias entre mansiones en los diferentes itinerarios a partir de CASTELLVÍ *et al.* 1997, 18-19. En este caso el itinerario no menciona la *mansio* de Gerunda. Sin embargo las fuentes indican unánimemente que entre *Aquis Voconis* y *Gerunda* hay 12 MP, así que entre *Gerunda* y *Cinniana* habría 11 MP, y de ahí se deducirían los 42 MP totales.

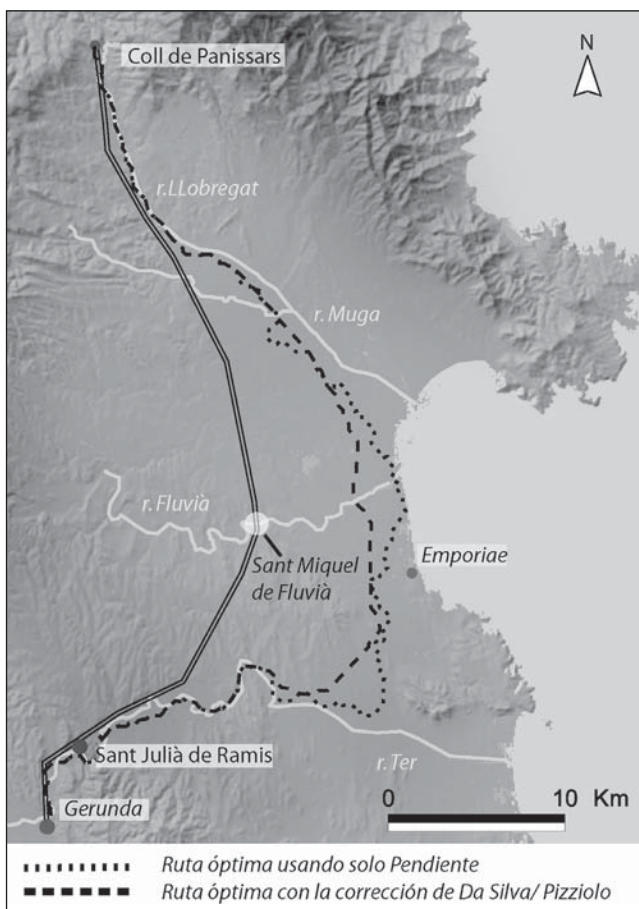


Fig. 3. Resultados del cálculo del camino más óptimo utilizando únicamente la pendiente y la corrección de De Silva y Pizzolo.

de Catalunya, con una resolución de 100 m/píxel, y mapas topográficos digitalizados del ICC a escalas 1:10.000 y 1:25.000.

En un primer momento se hicieron las pruebas utilizando únicamente como modelo de coste la fricción obtenida a partir de la pendiente de la zona de estudio, y aplicando después la fricción efectiva del modelo de De Silva y Pizzolo (fig. 3). Los resultados no explicaban suficientemente el trazado de la vía romana, ya que son solo producto de la pendiente y por tanto su tendencia es buscar la mínima variación, sin importar la elongación del trayecto. El algoritmo de coste óptimo provocaba un desvío excesivo hacia el Golfo de Rosas.

En esta situación se aplicó en primera instancia el factor de repulsión al agua, pero solo el ocasionado por las acumulaciones de agua, no por los ríos. Sin embargo los itinerarios propuestos tampoco eran satisfactorios, no tanto por la aproximación que se hacía a la vía teórica, sino por una sistemática falta de criterio al atravesar las dificultades hidrográficas dibujadas, dado que un mismo río era cruzado en varias ocasiones por diferentes accesos. Todo ello era debido a que la fricción efectiva de la pendiente era inferior a la que pudieran tener otros puntos de tránsito. No se hicieron más intentos de aproximación al itinerario teórico dada la falta de exactitud del modelo propuesto hasta ese momento.

La tercera aproximación consistió en añadir los ríos principales de la zona de estudio, cuantificando para ellos un valor diferente en función de su capacidad hídrica, y aplicando para esto la fórmula del modelo de oposición al movimiento (MOM).

El resultado (fig. 4) no podía ser más esperanzador, dada la adecuación del modelo al trazado teórico de la vía. La descripción que se ha hecho en líneas

anteriores del recorrido de la vía *Augusta* a su paso por diferentes puntos del área estudiada se ajustaba muy aproximadamente al trazado conocido de la vía. Así destacaríamos:

- Desde el Coll de Panissars el modelo propondría un descenso que pasaría por el Veinat de Sant Julià, desde donde seguiría hasta la Jonquera.
- Continuaría el recorrido pasando a un kilómetro aproximadamente del término de la Estrada, siguiendo los topónimos de l'Hostal nou y Camps de l'Hostal, próximos a la N-II entrando en Figueres por el barrio de l'Aigueta.
- Desde Figueres la vía pasaría a poca distancia de Villamalla, Tonya, y el topónimo de les Closes, llegando hasta Sant Miquel de Fluvià.
- Cruzaría el río Fluvià, a la altura de Sant Miquel y continuaría por Sant Mori, Saus y Caballera, hasta aquí como en el trazado teórico. A partir de este punto desciende hacia el sur, en vez del

sud-oeste, hacia Gausés y llegando hasta Sant Jordi Desvalls, atravesando topónimos como les Closes y Mas Masó y cruzando el río Cinyanal.

- Desde aquí, y más o menos siguiendo el trazado de la carretera GI-633, llegaría hasta Cervià de Ter, seguiría por Medinyà, pasaría el Turó de Maobert, atravesando Sant Julià de Ramis y entrando finalmente en Girona por Sarrià de Ter.

Posteriormente se quiso comprobar como podía verse afectado el modelo si se cambiaba la resolución del DEM utilizando en este caso una de 30 m/píxel. En un principio la respuesta no fue la esperada ya que la repulsión al agua parecía atenuada por el cambio. El problema consistía en que anteriormente un píxel de río equivalía a 100 metros, ahora este representaba 30 metros y por tanto era más fácil atravesarlo que antes, dado que era menor la distancia a recorrer. Se hicieron los reajustes necesarios y el nuevo trazado propuesto (fig. 5) seguía las mismas pautas que el

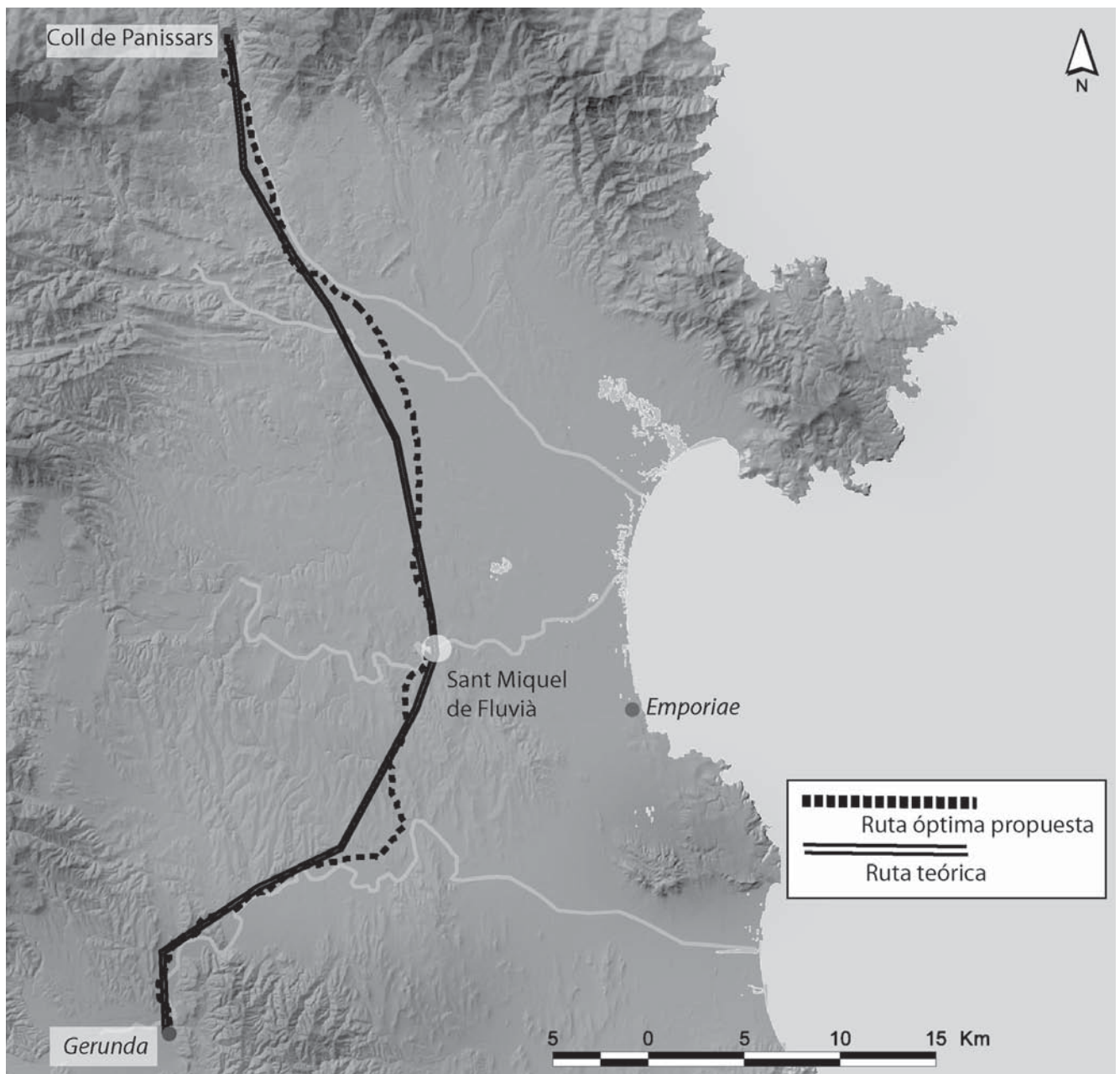


Fig. 4. Visualización del camino más óptimo a partir del modelo de oposición al movimiento.

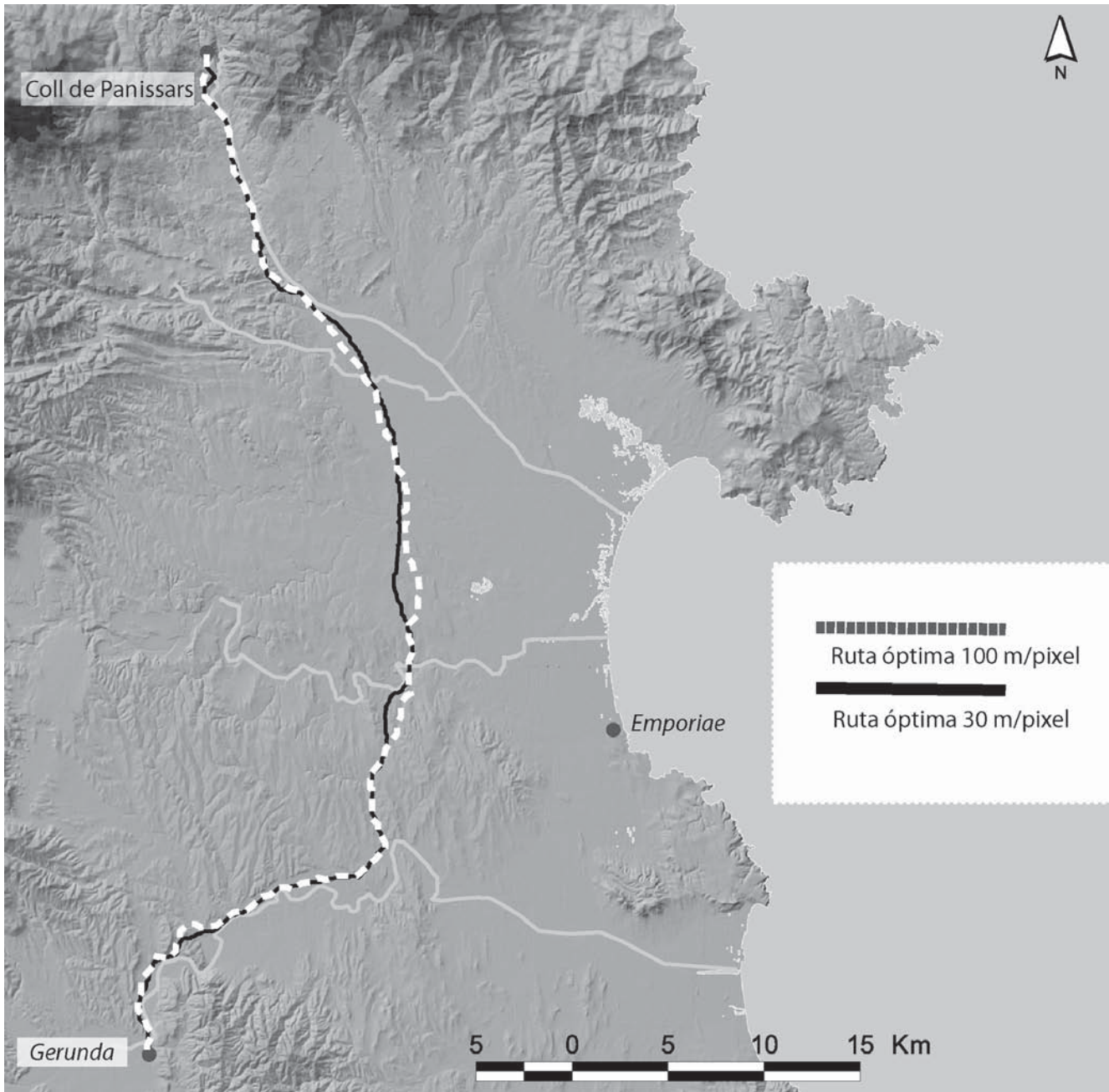


Fig. 5. Comparación entre el camino óptimo obtenido de un DEM a 100 m/píxel y el de un DEM a 30 m/píxel en la zona de la costa roja, se puede apreciar como el segundo se ajusta más al trazado real.

calculado para una resolución de 100 m/píxel, pero con algunas variaciones muy interesantes. La más importante surgía precisamente en el tramo entre Medinyà y Girona, a su paso por la localidad de Sant Julià de Ramis. En el primer intento, con un DEM de 100 m/píxel, el programa había propuesto atravesar el turó de Maobert, demasiado alejado de Sant Julià y por tanto no ajustándose correctamente al itinerario teórico. En cambio, la mejora en la resolución del DEM implicaba que el programa prefiera otro paso, un poco más al sur, por la *Costa Roja* (fig. 6), punto mejor controlado por el *oppidum* ibérico.

En los ensayos nos encontramos con otro problema, que surgió de las revisiones del modelo DEM utilizado. Se usaron dos, la primera construida a partir de vuelos comprendidos entre 1983 y 1995, recogiendo la segunda vuelos realizados ente 1995 y

la actualidad. Esta última no cubría completamente el área estudiada, ya que la revisión estaba aún en proceso de elaboración, por lo que el tramo inicial entre el Coll de Panissars y la Jonquera no pudo ser calculado con esta segunda versión. Sí se pudo comprobar que entre ambas versiones existía una discordancia importante al elegir el punto de cruce del río Fluvià, teniendo que desestimar el DEM procedente de la primera versión por estar quizás más sujeto a errores.

3.4. Simulando el ramal de Bàscara

Se quiso materializar de alguna manera, si esto era posible, el ramal occidental teórico expresado para la vía *Augusta*. La hipótesis de partida era que el tránsito por el ramal oriental estaría sujeto a las

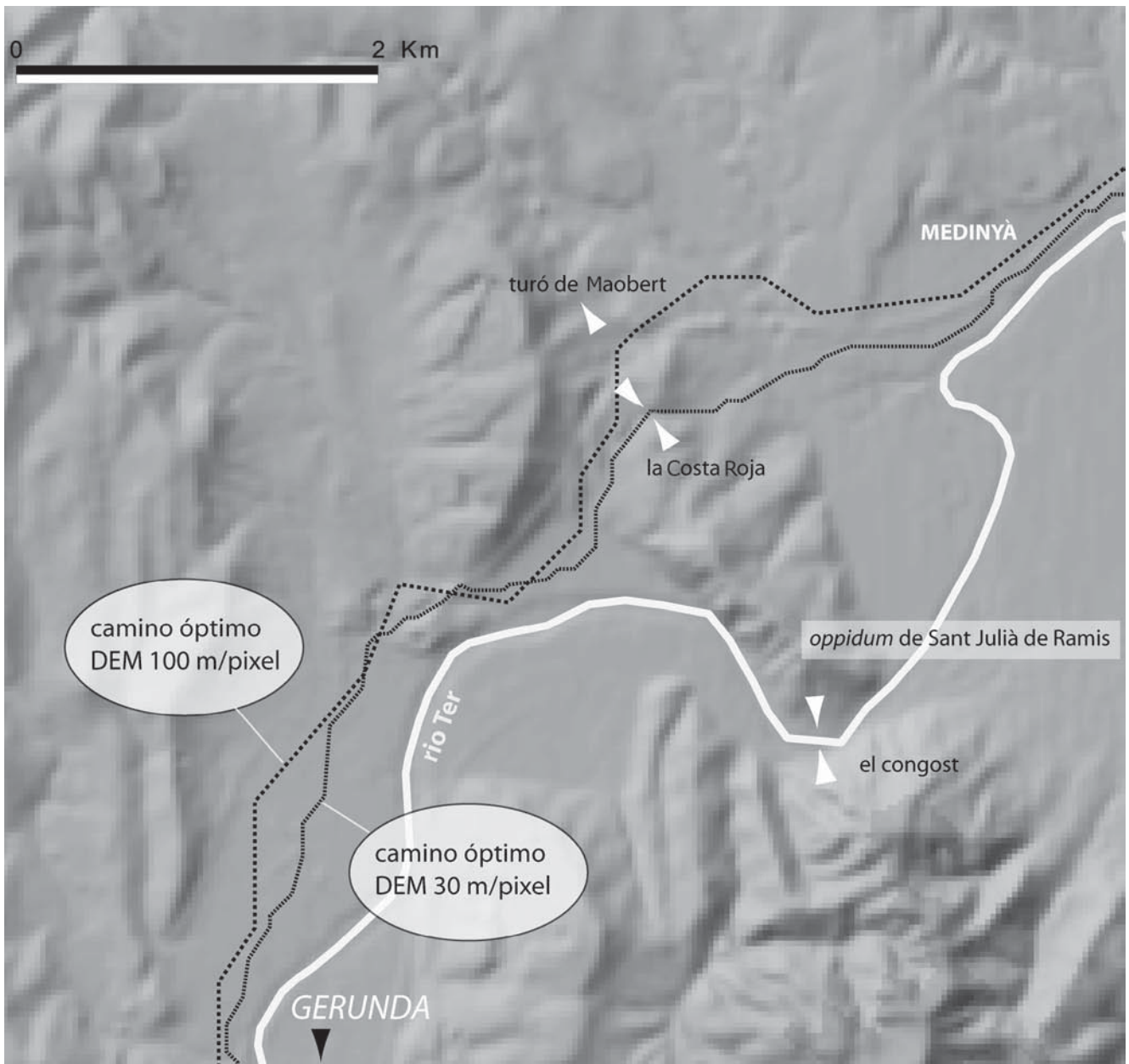


Fig. 6. Detalle de los caminos óptimos calculados para el ramal oriental y el ramal occidental.

crecidas del Fluvià, y a las diversas rieras de la zona, que harían los vados infranqueables y la vía intransitable, motivando por ello la construcción de un ramal occidental.

Una primera simulación (S1, fig. 7) se buscó en reajustar el mapa de ríos utilizado, de tal manera que la zona en torno a Bàscara dispusiera de un punto franqueable, manteniendo el modelo de oposición al movimiento. El camino óptimo resultante seguía desde el coll de Panissars la ruta calculada anteriormente, pero ya en el barrio de la Aigüeta, en Figueres, cerca de la *mansio* de *Iuncaria*, iniciaba el desvío hacia el puente de Bàscara, pasando por La Bòbila, y siguiendo el trazado de la NII. Una vez cruzado el Fluvià, se desviaba en dirección sudeste, siguiendo el trazado de menor pendiente hasta La Mora, donde se sitúa el topónimo Quintanes. Desde allí cruzaría a poca distancia de Viladasens, cambiando el sentido hacia el sudoeste, cruzaría la riera de Cinyana y llegaría a Cervià de Ter, en

donde se uniría al ramal oriental, para seguir hasta *Gerunda*. La *mansio Cinniana* estaría quizás ubicada entre Viladasens y Cervià de Ter, con dos posibles localizaciones arqueológicas: una en La Plana y otra en Raset (MAYER *et al.* 1997, 129).

Como segunda simulación del ramal (S2, fig. 7), se modificó el Modelo de Oposición al Movimiento, estableciendo una constante C dependiente de la capacidad de drenaje y de la climatología:

$$\text{HIDROFOBIA} = \frac{(C * \text{INUNDACIÓN} + \text{RÍO}) * \text{MAX (Da Silva, Pizziolo)}}{\text{MAX}(C * \text{INUNDACIÓN} + \text{RÍO})}$$

Después de varios ensayos y dando a C un valor de 10, se consiguió un camino óptimo que se adecuaba mejor al ramal occidental tradicionalmente propuesto. El incremento de la constante C provoca

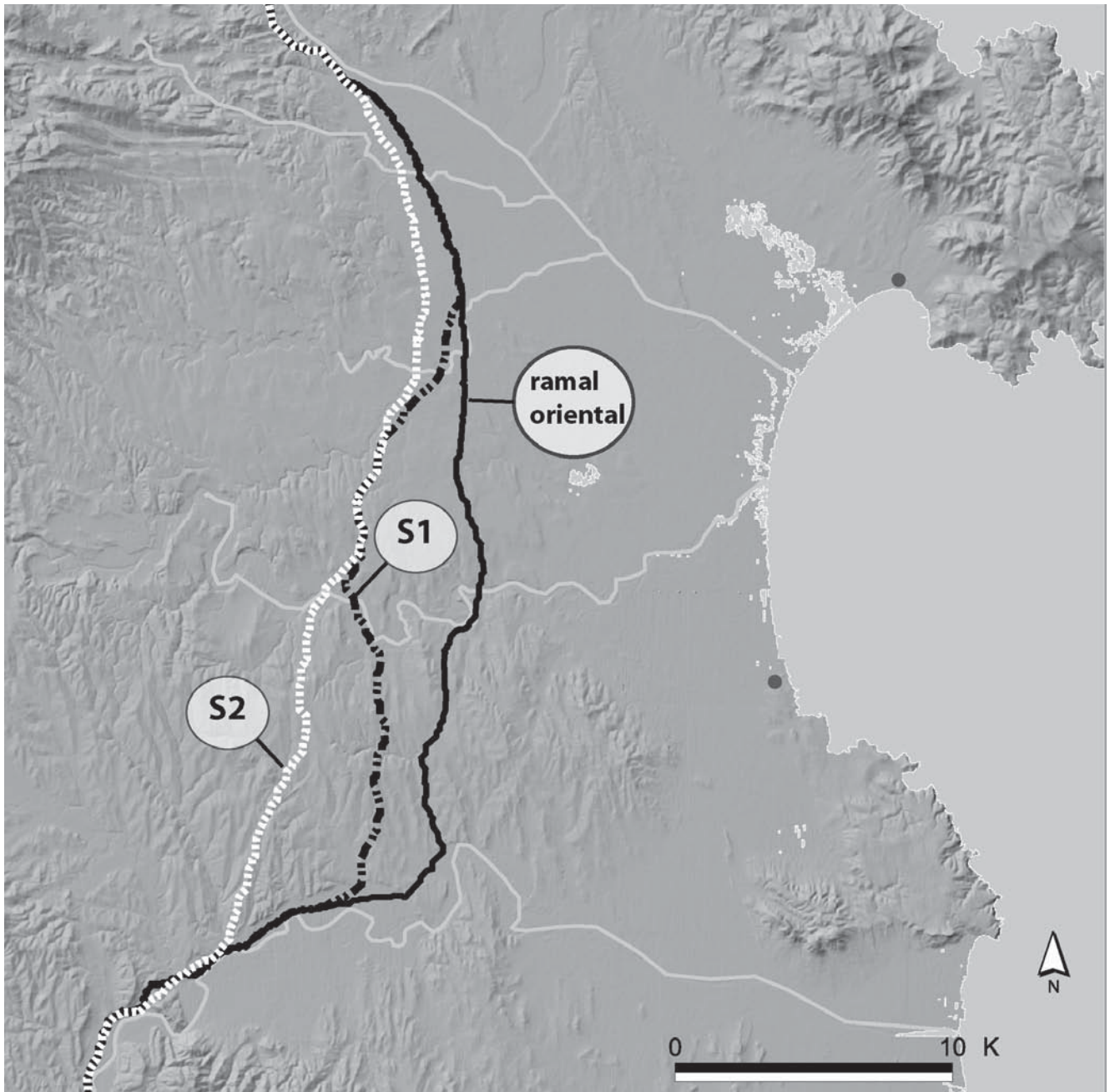


Fig. 7. Simulaciones aplicando el factor hidrofóbico.

que el factor hídrico sea mucho más importante con respecto al factor topográfico.

De esta manera se confirmaba, en este caso, la hipótesis de que el patrón hídrico condicionaba la construcción de un ramal más occidental, para evitar quizás las zonas difícilmente drenables aún al coste de seguir un trayecto de pendientes mucho más complejas.

Este ramal presentaría el siguiente recorrido:

Saldría de *Iuncaria* atravesando el río Manol por Santa Llogaia d'Àlguema, y pasaría, siguiendo el sentido sudoeste, la localidad de Vilamorell, próxima siempre a la NII.

Seguiría hasta llegar al Fluvià, cruzando el río por un paso situado a 1,5 km al nordeste de Bàscara (recordemos el pilar del puente citado anteriormente), pasando antes el topónimo de l'Hostal de la Barca.

Desde allí, en dirección sur y entre la carretera NII y la autopista AP7 continuaría hasta llegar a Medinyà, punto en el que se uniría nuevamente con el ramal oriental, y desde donde seguiría hasta *Gerunda*.

Finalmente y ya que existía documentación de las distancias entre los puntos de parada, fuera en los Vasos Apollinares, el itinerario Antonino o la tabla de Peutinger, se procedió a proponer una ubicación para cada uno de las *mansiones* implicadas en la ruta estudiada (fig. 8), tanto para la vía exterior como para la interior. Para ello simplemente se tomaron las distancias propuestas por las fuentes y siguiendo mediante algoritmo ambos recorridos se calcularon los lugares en los que estas se ubicarían.

Un aspecto a tener en cuenta era que según las fuentes las distancias a recorrer en este tramo medirían 63.640, 62.160 y 56.240 metros respectivamente,

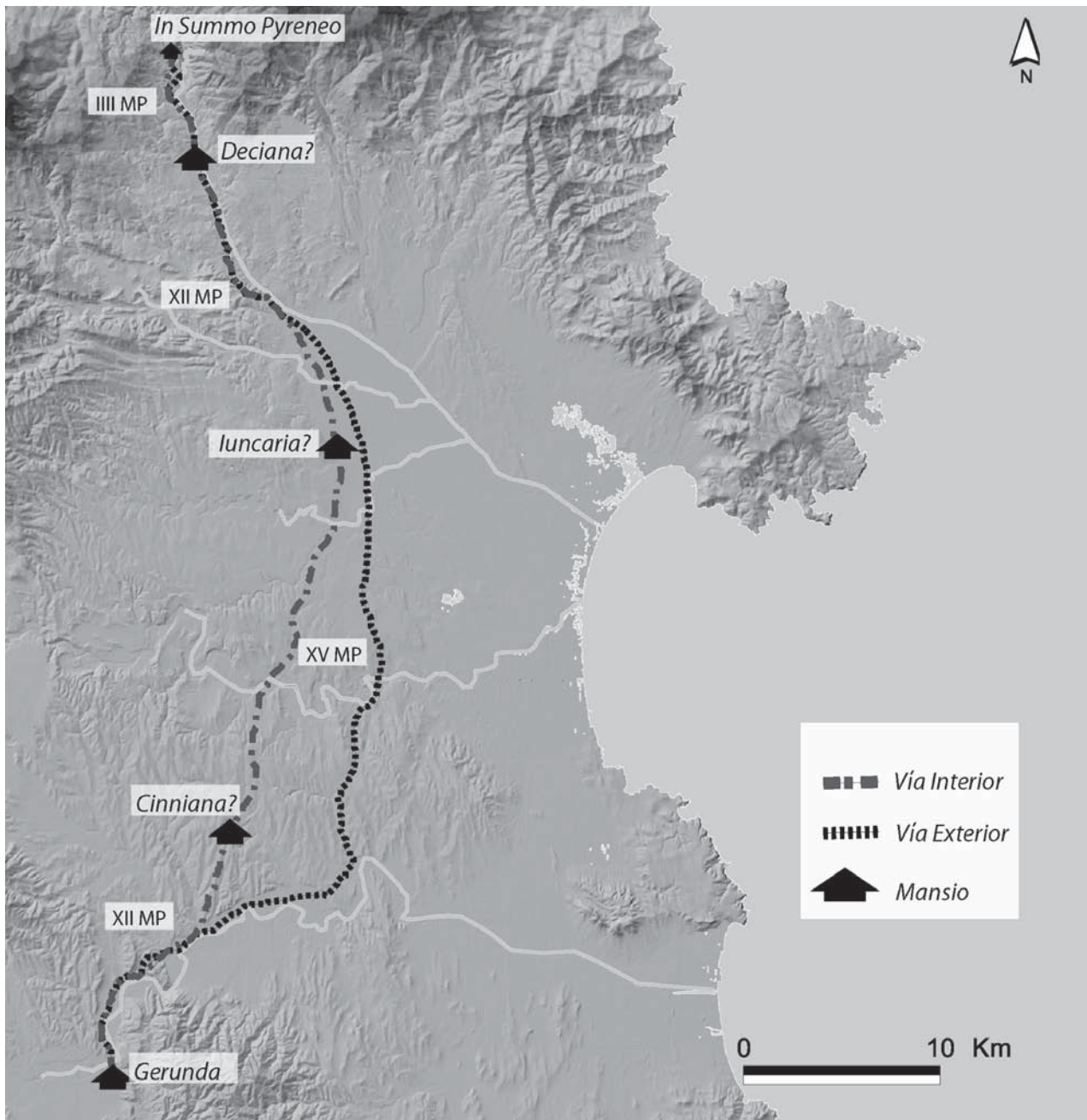


Fig. 8. Propuesta de la vía *Augusta*, a partir del camino más óptimo. Se indican el ramal occidental y el ramal oriental, así como la ubicación de las mansiones mencionadas en los vasos de Vicarello, el Itinerario Antonino y la Tabla de Peutinger.

y que la longitud de la vía más oriental calculada por el modelo estaría en torno a 68.559 metros, mientras para los dos ramales calculados tendríamos que S1 mediría 66.369 y S2 62.060 metros. Este último resultado estaría mucho más ajustado a las fuentes, con un error de 100 metros en el caso de compararlo con el segundo vaso de Vicarello y uno de los itinerarios de Antonino, deduciendo que estas citarían siempre del trazado occidental de la vía, frente al otro ramal, el oriental, que aunque implicara un recorrido de pendiente mucho más suave, seguramente se encontraría más afectado por las crecidas del río Fluvià, la formación lacunar y pantanosa de la zona y las avenidas de las rieras próximas.

La propuesta que el programa nos hace de ubicación de las *mansiones* mencionadas en las fuentes sería la siguiente: la primera, *Deciana*, citada solo

en la tabla de Peutinger, se encontraría a poca distancia de la Jonquera; la segunda, *Iuncaria*, estaría en el barrio de la Aigüeta, a la entrada de Figueres. Sin embargo es la tercera *mansio*, *Cinniana*, la que presenta más dificultades, dado que su situación no se ajusta a la propuesta por otros autores. Según el modelo tendría que estar situada cerca del término de Fellines, entre los kilómetros 44 y 45 de la AP7. Próxima y paralela a esta propuesta, discurriría una riera llamada, según los planos topográficos consultados, con los topónimos de Cinyanella y Cinyana y estando su nacimiento a unos 300 metros de la localización calculada de la *mansio*. A casi dos kilómetros hacia el nordeste, siempre siguiendo el trazado propuesto para la vía interior, esta atravesaría los llamados *Camps de Cinyana*. Desde aquí y a un kilómetro siempre en la misma dirección se encontraría el topónimo

de la *Quintana*, a unos 20 kilómetros de Girona, lo cual equivale aproximadamente a 13 o 14 MP, indicándonos la proximidad del decimoquinto miliario (*Ad Quintanas*), tomando su inicio desde un centro urbano como *Gerunda*.

Otros autores, sin embargo, situarían *Cinniana* en Cervià de Ter (importantes restos arqueológicos así lo afirmarían), en Viladasens (NOLLA, CASAS 1997, 142) y en la Plana, a tres kilómetros al nordeste del primero, en el término de Vilademuls (AMICH, CASAS 1998, 178).

4. Conclusiones

Hemos visto como resulta inadecuada la utilización de la pendiente del terreno como único factor en el cálculo del Coste de Desplazamiento. Inevitablemente se produce un efecto no deseado como es el rodeo en búsqueda de las pendientes más suaves. Es absolutamente necesario completarlo con otros factores correctores como los que se han visto a lo largo del presente artículo. Otro factor a tener en cuenta es la precisión del modelo digital de elevación escogido, cuanto mayor resolución apliquemos al modelo más correcto será el resultado. La resolución debiera ser coherente con las dimensiones de los elementos topográficos tratados como por ejemplo cauces de ríos o pasos de montaña. En nuestro caso nos encontramos con que no resulta suficiente la resolución aplicada, aunque sea de 30 m/píxel.

El modelo no deja de ser una primera aproximación, afortunada quizás, a lo que debiera haber sido la vía *Augusta* en sus dos ramales. No obstante son varios los condicionantes que aún no han sido tratados. Así el efecto de atracción que ejercen sobre la construcción de la vía determinados núcleos urbanos, por ejemplo en el caso de *Emporion*, o la propia *Gerunda* no se ha tenido en cuenta. Tampoco se han considerado elementos tan importantes como la antigua línea de costa, los antiguos cursos de ríos como el Ter o el Fluvià, o el efecto distorsionador que puedan ejercer sobre el DEM infraestructuras modernas, como son los desmontes, rebajos o la construcción de terraplenes, todas ellas destinadas a aminorar la pendiente. Además, la clasificación que se ha hecho de los ríos para añadirlo al modelo ha sido demasiado simplista y por tanto sujeta a correcciones que la aproximen más a la realidad, como es el caso de la entrada en Girona.

Falta un elemento primordial como son los tramos de vía constatados arqueológicamente y que de alguna manera habrán de ser incluidos como importantísimos calibradores del modelo. Por esta

razón este no será correcto hasta que no sean corregidas las restricciones mencionadas, ni aplicadas a otros tramos de la vía, conocidos y confirmados arqueológicamente. Por último añadir que faltaría la validez del modelo contrastando y contextualizándolo con los yacimientos arqueológicos del área estudiada. Además cabría aplicar el modelo a otros trazados de la vía *Augusta* en Catalunya, para comprobar su bondad en otro entorno.

Se nos plantean, además, algunas preguntas importantes, como por ejemplo, si existe una relación entre estos ramales y las centuriaciones propuestas para este territorio o determinar informáticamente si existe un componente visual en la elección de determinados pasos (por ejemplo el de Sant Julià de Ramis y la Costa Roja). Por último, y dados los centros neurálgicos del territorio, el estudio se completaría con la propuesta de redes de comunicación.

Para terminar cabe destacar que el aspecto más positivo del modelo propuesto, cuando todos los condicionantes antes mencionados se hayan corregido, es que nos proporcionará dos predicciones interesantes como son: el propio trazado de la vía, que puede permitir el elaborar planes de contingencia para la construcción de grandes infraestructuras; y la propuesta de lugares de localización para las paradas documentadas en los Vasos Apollinares, la Tabla de Peutinger y en el Itinerario de Antonino.

Ignacio Fiz Fernández

Profesor Lector
Seminari de Topografia Antiga
Universitat Rovira i Virgili (URV)
Plaça Imperial Tàrraco 1
43005 Tarragona
joseignacio.fiz@urv.net

Nota del autor

El artículo que el lector tiene ahora entre sus manos acabó de redactarse en setiembre de 2005. A lo largo del año 2008 o del 2009 será también publicada en las actas del 35 *Annual meeting* del *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (celebrado en Berlín en abril del 2007) la comunicación titulada "Simulating Communication routes in Mediterranean alluvial plains" que representa la continuación de este trabajo de investigación, estando aún en proceso de redacción un tercer artículo en el cual se presentarán los resultados de estos últimos cuatro años de investigación.

Bibliografia

AMICH y CASAS 1998

N. Amich, J. Casas, "La Tabula Peutingeriana i la Xarxa viària al nord-est de Catalunya. Una nova lectura", *Comerç i vies de comunicació (1000 aC-700 dC)*, XI Col·loqui Internacional d'arqueologia de Puigcerdà (31 d'octubre i 1 de novembre de 1997), Puigcerdà, 1998, 175-181.

BELL *et al.* 2002

T. Bell, A. Wilson, A. Wickham, "Tracking the Samnites: Landscape and communications routes in the Sangro Valley (Italy)", *American Journal of Archaeology*, 106, 2002, 170-186.

BRIAN 2005

R. Brian, "Praise the sea, on shore remain?. GIS analysis of travel routes in an Iron Age island environment", *The world in your eyes. Book of abstracts*, CAA 2005 (Tomar 21-24 march 2005), Tomar, 48-49.

BURCH *et al.* 2000

J. Burch, J. M. Nolla, L. Palahí, J. Sagraera, M. Sureda, D. Vivó, "La fundació de *Gerunda*. Dades noves sobre un procés de reorganització d'un territori", *Empúries*, 52, 2000, 11-28.

CASTELLVÍ 1997

Castellví *et al.* (dir.), *Voies romaines du Rhône à l'Ebre: via Domitia et via Augusta*, DAF 61, Paris, 1997.

CHEVALIER 1997

Chevalier, R., *Les voies romaines*, Paris, 1997.

DE SILVA y PIZZIOLLO 2001

M. De Silva y G. Pizzio, "Setting up a «Human Calibrated» anisotropic cost surface for archaeological landscape investigation", *Computing archaeology for understanding the past. Proceedings of the 28th conference* (Ljubljana, april 2000), BAR, 931, Oxford, 2001, 279-286.

ERICSON y GOLDSTEIN 1980

J. Ericson, R. Goldstein, "Work space: a new approach to the analysis of energy expenditure within site catchments" F. J. FINDLOW, J. E. ERICSON (eds.), *Catchment Analysis: essays on Prehistoric Resource Space*, Anthropology UCLA, 1980, 21-30.

JENSON y DOMINGUE 1988

S. K. Jenson y J. O. Domingue, "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, núm. 11, 1593-1600.

MALLER *et al.* 1997

M. Mayer, J. M. Nolla, I. Rodà, "La via Augusta des Pyrénées à l'Èbre", *Voies romaines du Rhône à l'Ebre: via Domitia et via Augusta*, DAF 61, Paris, 1997, 114-140.

MORENO 2004

I. Moreno, *Vías romanas. Ingeniería y técnica constructiva*, Ministerio de Fomento-CEDEX-CEHOPU, Madrid, 2004.

NOLLA y CASAS 1997

J. M. Nolla, J. Casas, *Nouvelles données sur la via Augusta dans le secteur nord-est de la Catalogne, Voies romaines du Rhône à l'Ebre: via Domitia et via Augusta*, DAF 61, Paris, 142-148.

PANDOLF *et al.* 1977

K. B. Pandolf, B. Givoni, R. F. Goldman, "Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly", *Journal of Applied Physiology* 43, 1977, 577-581.

VAN LEUSEN 2000

M. Van Leusen, *Pattern to process: Methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes*, tesis doctoral Universidad de Leiden, 2000.

WHEATLEY y GILLINGS 2002

D. Wheatley, M. Gillings, *Spatial technology and archaeology: the archaeological applications of GIS*, London, 2002.