SIG Y NETWORK ANALYSIS EN EL ESTUDIO DE LAS REDES DE COMUNICACIÓN DE LA CATALUÑA ROMANA

POR

PAU DE SOTO CAÑAMARES*

RESUMEN

En este artículo se pretende mostrar como se está estudiando la red de comunicaciones de época romana en el noroeste peninsular. Este análisis parte, en primer lugar, de la reconstrucción de las vías de comunicación estudiadas hasta nuestros días. Esta red se compone de tres conjuntos diferenciados dependiendo del medio físico por el que transcurran. En primer lugar se han recopilado todas las vías terrestres conocidas, tanto principales como secundarias. Durante la elaboración de esta red de calzadas se ha intentado ajustar lo máximo posible su recorrido a la realidad geográfica existente, utilizando para ello mapas topográficos, ortofotomapas y modelos digitales del terreno, y gracias también a los distintos estudios publicados sobre estos territorios, y a la georreferenciación de distintos elementos arqueológicos significativos, como miliarios, *mansios* o yacimientos. Posteriormente se recogieron las posibles vías fluviales navegables en época romana. Estos conocimientos se han basado, en primer lugar, en las informaciones que nos ofrecen las fuentes clásicas y, en segundo lugar, en estudios morfológicos, etnográficos e históricos. Finalmente y para completar esta red de comunicaciones, se han recogido las posibles rutas marítimas, teniendo en cuenta las distintas categorías de los puertos marítimos de la costa catalana, y las principales características de la navegación por estas costas.

Con la obtención de un modelo vectorial de la red de comunicaciones romana, se procedió a analizar su posible capacidad de movilidad y comunicación. En este sentido, se decidió valorar su Grado de Centralidad calculando el número de vías de comunicación que se relacionaban con cada uno de los distintos núcleos urbanos. Este estudio se relaciona directamente con los estudios de la Teoría Grafos, iniciados por L. Euler ya en el siglo XVIII (James 2002), pero con la particularidad de la distinta valoración de las aristas según el medio de transporte que representan. De este modo el grado de comunicación de los distintos núcleos (nodos) no se valora únicamente por el número de vías que se le relacionan si no que depende a su vez de su capacidad de comunicación por mar o por vías fluviales.

El resultado de estos análisis de conectividad ofrece una visión clara de las comunicaciones en estos territorios. Principalmente se pueden dividir en tres grandes grupos dependiendo de su morfología. Un primer grupo lo ofrecen aquellas zonas en las que se encuentra un núcleo principal muy bien comunicado, junto con un territorio cercano también bien comunicado. Un segundo grupo lo forman los grandes núcleos con un elevado grado de centralidad pero sin un territorio bien comunicado. Finalmente, el tercer grupo lo conforman los territorios con una mala comunicatividad.

* Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC). PLaça Rovellat s/n. 43003 Tarragona. E-mail: psoto@icac.net

SUMMARY

The intention in writing this article is to show how the network of roads and sea and fluvial routes communications at Roman times are being studied. This analysis starts with the reconstruction of the communication networks that have been studied up to now. This network consists of three different groups according to their physical environment. Firstly, all the known land roads, both main as well as secondary ones, have been collected. Throughout the preparation of this roadway network, its route has been adjusted, as much as possible, to the actual geographical facts, using topographic maps, orthophotomaps and digital land models. Also, the different previous studies, which had been published as well as the geographical references from significant archaeological elements have been a great help. After that, the possible Roman sailing fluvial routes were collected. This knowledge has been based, firstly according to the information given by the classical sources, and secondly, by the morphological, ethnographic and historical studies. Finally, the sea routes were collected taking into account the different categories of the harbours on the Catalan coast and its main sailing characteristics.

After the acquisition of a vectorial model of the Roman communication network, the capacity of such communication was analysed. In this case it was decided to assess the Centrality Degree calculating the number of communication networks that were related to each of the different urban centres. This study is directly related to the *graph theory*, which was started by L. Euler far back in the eighteenth century (James 2002), though having a peculiarity which is the different assessment of the edges according to the means of transport which they belong to. Thus the degree of communication of the different nodes are not assessed only by the number of the routes related to them but it also depends on the capacity of communicating by sea and fluvial routs.

The result of these studies show a clear view of the communication networks in this territory. Basically, they can be divided in three important groups, depending on their morphology. One first group would be those areas in which we find a main urban centre very well communicated and it is next to a territory which is as well communicated. A second group is formed by big urban centres with a high degree of centrality but with not such a well communicated territory. And finally, the third group would be those with rather a bad communication.

PALABRAS CLAVE: vías terrestres, calzadas, mapas topográficos, ortofotomapas, modelos digitales del terreno, georreferenciación, etnografía, rutas marítimas, movilidad, Teoría Grafos.

KEY WORDS: land routes, roads, topographic maps, ortophotomaps, digital terrain models, georeferencing, ethnography, maritime routes, movement, Grafos Theory.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las redes de comunicación en el mundo romano se ha ido desarrollando a medida que los datos históricos, epigráficos y arqueológicos, han permitido completar cada vez más los vacíos existentes en nuestro conocimiento. Los primeros estudios arqueológicos sobre las vías de comunicación se centraban principalmente en reconocer y vincular las distintas ciudades y localizaciones que aparecían en los *Itineraria* antiguos. En este sentido, obras como las de Wesseling (1735), Parthey/Pinder (1848), Blázquez (1892), Miller (1916) o Cuntz (1929) pueden ser buenos ejemplos. En la actualidad, estos estudios están ganando popularidad gracias, en parte, a los avances en nuevas tecnologías como, en este caso, los SIG y sus posibilidades de localización, interpretación o reconstrucción de territorios y recorridos.

En este estudio se pretende explicar como se está analizando la red de comunicaciones que existió en el noreste peninsular durante el período romano. Una de sus principales características ha sido la realización de una nueva red general de vías de comunicación, elaborada a partir de técnicas SIG, con la recopilación de datos y su inclusión dentro de un modelo vectorial. Se ha tenido en cuenta no sólo el estudio de las vías terrestres de comunicación (véase calzadas), sino también aquellas corrientes fluviales que por su morfología y por la documentación histórica y arqueológica se les puede suponer una navegabilidad en época romana y, finalmente también, las posibilidades de la comunicación marítima dentro de la costa catalana.

Cuando se empezó a abordar este estudio, apareció la problemática sobre cómo recopilar, combinar y analizar toda la información aparecida y publicada sobre las redes de comunicación en este territorio. En este aspecto, las funciones y la potencialidad de los SIG resultaron ser las más idóneas para acometer este tipo de trabajo. Dentro del entorno que ofrecían los SIG, fue posible combinar informaciones procedentes de imágenes y mapas (cartografía antigua, mapas topográficos, ortofotomapas, etc.), de datos arqueológicos e históricos georreferenciados (*mansios*, miliarios, yacimientos, etc.), así como informaciones y trazados viarios (*itineraria* antiguos, costes de transporte, etc.) y a su vez, mantener toda la información gracias a gestores de bases de datos.

REELABORACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIONES

Una de las principales características de este estudio ha sido la integración dentro del modelo de comunicaciones del conjunto de medios de comunicación utilizados en época romana. Así, se integraron dentro del mismo modelo la red de comunicaciones terrestres, las posibles comunicaciones fluviales y finalmente, también las marítimas. Dadas las diferentes características de los medios de transporte que las utilizaban en cuanto a la velocidad, al coste o a la capacidad de carga, se hizo necesaria la utilización de sistemas SIG tanto para su desarrollo como para su posterior análisis.

En lo referente a las vías terrestres, una de las principales peculiaridades de este trabajo fue la necesidad de implementar una nueva red de comunicaciones utilizando como base, la gran cantidad de estudios publicados sobre algunos tramos de la red viaria catalana. Es importante destacar la falta de un estudio global de la red de comunicaciones romana en este territorio a excepción quizás de la elaborada en 1997 dentro del proyecto de la *Tabula Imperii Romani* (Guitart *et al.*, 1997). Aunque lamentablemente ésta no ofrecía el grado de detalle suficiente, ni la totalidad de las posibles vías romanas que se requerían para este estudio.[1]

Como se ha comentado, para realizar esta red terrestre se estudiaron, por un lado, los grandes ejes viarios de época romana como fueron la Vía Augusta y los Itinerarios Antoninos que cruzaban estos territorios. Sobre éstos, ya desde finales del siglo XIX y comienzos del XX, se empezó a analizar el posible recorrido de su trazado. El intento de ubicación de las principales mansiones recogidas tanto en los Vasos de Vicarello, como en otras fuentes que hacían referencia a esta vía,[2] fue uno de los focos de interés en el estudio arqueológico por parte de estudiosos como Wesseling (1735), Miller (1916) o Cuntz (1929). Posteriormente, trabajos más locales como los de Pallí (1985) o Mayer y Rodà (1997) son los que aportaron en gran parte los trazos generales del posible trazado de este eje viario. En lo referente a las otras vías terrestres de Cataluña, su estudio ha recibido un tratamiento desigual. Mientras que algunas de ellas, debido a su estado de conservación u otras características han recibido un amplio tratado, como

[1] A pesar de ofrecer un mapa y una serie de descripciones sobre las vías, quizás el grado de elaboración del mapa no ofrecía suficiente detalle, ni las descripciones son lo suficientemente explícitas para plasmar con acierto y exactitud todas las vías conocidas de la geografía catalana. Esto se debe al distinto objetivo que se buscaba con esta publicación, que no se centraba únicamente ni especialmente en el aspecto de las comunicaciones en época romana.

[2] Los datos del Itinerario de Antonino, la Tabula Peutingeriana, la Tegula de Valencia, etc... fueron recopilados, analizados y comparados entre sí, para establecer paralelismos y diferencias de trazado o cronología entre sí.

por ejemplo la Vía del Capsacosta (St. Pau de Segúries, Girona),[3] otras en cambio apenas han sido objeto de estudio o análisis.

Una vez finalizada la recopilación y el análisis de los datos, se procedió a su inclusión dentro de un sistema SIG, que permitía entre otras acciones una situación geográfica precisa, una adaptación detallada al medio físico y su posterior uso en Sistemas de Network Analysis. Dentro de la Base de Datos del SIG, se incluyeron cuando fue posible su datación (tanto de uso como de construcción, mediante los datos ofrecidos por los distintos miliarios, información arqueológica, o incluso datación relativa mediante las variaciones en los *Itineraria*, por ejemplo).

Además de esta inclusión de los posibles recorridos de las vías terrestres, se realizó un importante trabajo de localización y ubicación de elementos arqueológicos, históricos, toponímicos y geográficos, que fueran de ayuda para situar con más precisión las calzadas romanas. En este sentido, fue importante la adscripción de todos los miliarios localizados y estudiados en este territorio, que fueron divididos por períodos cronológicos y por su ubicación (in situ o no). De este modo, posteriormente fue posible incluso proponer diferentes redes de comunicaciones dependiendo de su cronología o utilización.

También se trató en este apartado la localización de las mansiones que aparecen en los distintos *Itineraria* antiguos, ya comentados anteriormente. Su utilización resultó sumamente útil en tanto en cuanto nos permitió proponer en algunos puntos algunas variaciones a los trazados estimados anteriormente, así como el tener en cuenta sus distancias aproximadas para poder realizar cálculos temporales de comunicatividad. Gracias a la localización prácticamente segura de algunas de las *mansios* (aquellas que coincidían con ciudades como *Gerunda*, *Barcino* o *Tarraco*), se intentó situar con la máxima precisión el resto de *mansios* del territorio. A pesar de haber logrado en algunos casos una localización prácticamente segura, en otros casos, la posibilidad de distintos trazados, o la baja seguridad del trazado propuesto, únicamente permitió una localización aproximada basada en algunos casos en estudios anteriores como los mencionados de Pallí (1985) o Mayer y Rodà (1997).

Para realización de todo este trabajo se utilizaron especialmente, a parte de los datos arqueológicos propios, las informaciones coordenadas localizadas en publicaciones, los mapas topográficos de Cataluña (serie 1:5000 / 1:10000 / 1:25000, facilitados por el ICC), los ortofotomapas (series 1:5000 / 1:100000 / 1:25000, facilitados por el ICC), y un modelo digital del terreno (valor de la celda: 30 m, facilitado también por el ICC). Gracias a la combinación de estos mapas se intentó ajustar con la máxima precisión los posibles trazados de las calzadas romanas que cruzaban este territorio. En algunos casos, cuando los datos publicados sobre alguna calzada únicamente recogía las poblaciones que comunicaba, se escogía el trazado óptimo siguiendo criterios geográficos, históricos e incluso etnológicos entre esas poblaciones. Para finalizar este estudio se ha previsto realizar próximamente análisis sobre caminos óptimos en algunos puntos de la red, que ofrecerán una mayor solidez a estos trazados.

Fruto de todo este estudio, se configuró una red viaria de comunicaciones representada por dos grandes ejes de comunicación (Vía Augusta e Itinerario de Antonino II) y por una treintena de ejes de carácter secundario que unirían los distintos núcleos urbanos entre sí y con otros territorios colindantes.[4] Una de las principales particularidades del modelo de red de comunicaciones es que su imagen resultante se adapta en gran medida a la realidad geográfica del territorio, alejándose de las típicas formas esquemáticas. La nueva red de comunicaciones refleja en algunos puntos su carácter abrupto y curvilíneo, más parecido seguramente a la realidad. Además, la potencialidad de los SIG permite dotar a esta red de su carácter geográfico, perfectamente coordenado y capaz de ser combinado en cualquier momento con otros tipos diversos de datos, como puntos, imágenes, etc.

Para el estudio de la red de comunicaciones fluviales, se tuvieron en cuenta diversos aspectos. En primer lugar, se realizó un estudio de las noticias históricas que aparecen en las fuentes clásicas sobre los ríos, cómo son descritos y en que medida serian navegables a ojos de los geógrafos antiguos que los describían.[5] En este sentido, el río principal de esta zona estaba representado, obviamente por el Ebro. De él nos hablan autores como Estrabón (III, 4, 16), Plinio (NH, XIV, 71) e incluso Julio César entre otros. Naturalmente, los geógrafos e historiadores clásicos también reflejaron en sus escritos las características de otros ríos, como la Muga y su relación con el lago

[3] Vías romanas como la mencionada del Capsacosta, la Vía Emporitana o incluso la vía de *Auso*, famosa por sus miliarios republicanos de *Manus Sergius* son algunas de las vías más estudiadas de este territorio. Otras, como las vías Pirenaicas o Pre-Pirenaicas en cambio, carecen generalmente de amplios estudios.

[4] Para ver con más detalle la red de comunicaciones resultante, de Soto (2006).

[5] El principal estudio realizado sobre los ríos de la península y su influencia en el mundo romano lo encontramos en Parodi (2001).

Stagnum Toni (Avieno, 547), o el Fluvià que lo reconocen como el puerto de Empúries (Estrabón, III, 4, 9). De otros ríos, sin embargo, parece desprenderse por las fuentes las pocas facilidades para la navegación que ofrecían debido, por ejemplo, a su carácter estacional. En este sentido Plinio (III, 21) nos describe el río *Subi* (Francolí) como un «torrente que baña a Tarraco».

Además, se han tenido en cuenta otros aspectos, como su morfología actual y la supuesta en época romana. En este sentido, destacar como los últimos estudios sobre la morfología de la costa ampuritana han dado a conocer los posibles recorridos en época antigua de los ríos Fluvià y Ter, con una desembocadura mucho más cercana a la colonia griega que en la actualidad (Aguelo *et al*. 2005: 71-102).

También se han tenido en cuenta datos arqueológicos, principalmente para intentar delimitar la profundidad de penetración que ofrecían estos ríos. En el caso del río Ebro, justificar su navegabilidad (tanto desde el interior hacia la costa como en el recorrido inverso) parece sencillo, tanto por lo que se desprende de las fuentes clásicas como por los numerosos datos arqueológicos con que contamos, empezando por los puertos fluviales de época romana en *Dertosa*, *Caesaraugusta* o *Vareia*. Además, la documentación etnológica también ha ayudado a justificar de algún modo este tipo de navegación. En el mismo caso sobre el río Ebro, su navegación con grandes mercantes de hasta 50 toneladas se realizó hasta bien entrado el siglo XIX, si bien con distintos medios motrices, pero que nos pueden revelar perfectamente la capacidad de navegación que permitían. A parte del Ebro, también se ha podido justificar la navegabilidad de otros ríos de esta geografía. En este sentido, la localización de embarcaderos, de época romana principalmente, pero también de época medieval (vinculado al dominio árabe), nos ha sido de gran ayuda. En el río Llobregat (*Rubricatum*) se localizó un posible embarcadero situado en uno de los pilares del Pont del Diable (Martorell) hecho que nos estaría indicando una posible navegabilidad hasta este punto, junto con otros dos embarcaderos más situados entre este punto y su desembocadura. Otros embarcaderos que nos demuestran la navegabilidad de ríos han sido localizados en Besalú (Girona) en relación al río Ter y en Balaguer (Lleida) de época musulmana en relación con el río Segre (*Sicoris*).[6]

El tercer medio de comunicación estudiado ha sido el mar. La navegación marítima entre los puertos costeros catalanes debió ser, seguramente el principal medio de comunicación que sirvió para comunicar y distribuir mercancías a un nivel de desplazamiento de media y larga distancia. Son numerosas las ciudades de época romana situadas cerca de la costa. De hecho, los primeros asentamientos en los que se documenta población itálica se sitúan en estos territorios costeros. A lo largo de esta costa nos encontramos con enclaves marítimos de distinta importancia. Centros de primer orden (*portus*), como debieron ser *Tarraco*, y quizás *Dertosa* o *Emporion*, se sitúan distribuidos por la costa flanqueados por otros de categoría inferior (*emporium*) como debieron ser *Barcino*, *Iluro*, *Baetulo*, o incluso con diversos embarcaderos (*statio*) como *Subur* o Darró. Además de analizar la importancia de los distintos puertos, también se tuvo en cuenta, a la hora de valorar las capacidades comunicativas, las peculiaridades de navegación del mar Mediterráneo, sobretodo en la zona comprendida entre las Islas Baleares y la costa catalana.[7]

Durante la realización de todo este conjunto de estudios sobre las posibilidades comunicativas de los distintos medios de la red romana en este territorio, se fueron integrando estos datos dentro de un entorno SIG. Para esta tarea, se debieron configurar distintos modelos para cada uno de los tipos de datos que se obtuvieron. Tanto modelos de vectores para la creación de la red como para la situación de los distintos elementos arqueológicos (tanto con aristas como con puntos). A estos se les dieron distintos valores para poder posteriormente realizar los cálculos pertinentes. Esta tarea, aún en fase de elaboración, es la que permitirá proponer los distintos cálculos de rutas óptimas o zonas de máxima distribución de productos entre otros cálculos, teniendo en cuenta los distintos medios de comunicación, impedancias en los cambios de vehículos, etc.

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

El análisis funcional de esta red se centró principalmente en la capacidad de movilidad de cada uno de los distintos núcleos urbanos. Así, principalmente se intentó valorar las distintas capacidades de las ciudades de época romana de este territorio para recibir y exportar mercancías, o para la entrada y salida de personas y mercaderes. Para realizar este análisis se intentó valorar cual era el mejor método

[6] Debo agradecer en este apartado la aportación de sus conocimientos e informaciones a los arqueólogos de la empresa Àtics SL.

[7] En este apartado es importantísima la aportación de J. Ruiz de Arbulo (1990), con su análisis de las condiciones marítimas de estas costas a partir de informaciones antiguas y modernas, como los distintos derroteros de la Marina.

para cuantificar dicha circulación. Se llegó a la conclusión de que un valor indicativo podría ser el número total de vías de comunicación que se relacionaban con cada uno de los distintos núcleos de población. Durante la configuración de este sistema, nos dimos cuenta de la estrecha relación entre este modo de aproximación y la Teoría de Grafos que se aplica, principalmente en matemáticas.

Los estudios sobre la morfología y la funcionalidad de las redes de comunicación, hoy más conocidos como parte del Network Analisys tienen en los geógrafos británicos de la década de los sesenta del pasado siglo a unos de sus principales precursores. Así, Dicks (1969) publicó su estudio sobre la red británica de comunicaciones, llegando a la conclusión que la red de comunicaciones se caracterizaba por representar una morfología en forma de árbol. Según este estudio, *Londinum* (Londres) representaría su raíz, y el resto de ciudades se comunicarían a ella y entre sí siguiendo un esquema fluvial, representando cada vía como un afluente de otra vía principal hasta analizar su trazado principal.

Algunas de estas aplicaciones que podrían parecer novedosas, aparecieron en contextos matemáticos o geográficos, en algunos casos incluso ya a mediados del siglo XVIII. Uno de los principales ejemplos fue el estudio realizado por el matemático Leonhard Euler en 1736 cuando demostró que una procesión no podía cruzar una sola vez cada uno de los siete puentes que unían las 2 islas del río Pregel con tierra firme en la ciudad de Königsberg (actualmente Kaliningrado) sin repetir ninguno. Su estudio se considera el punto de inicio de la Teoría de Grafos. Posteriormente, aparecieron otros estudios como los del cartero chino o el hombre de negocios.

La Teoría de Grafos, y por consiguiente, este estudio, se basa principalmente en el análisis de los grafos. Los grafos son conjuntos de vértices (o nodos), unidos por aristas (o arcos) formando una morfología particular que puede utilizarse para representar (o no) algún aspecto de la realidad.[8] En nuestro caso, se ha identificado a cada ciudad y nudo de comunicaciones con un nodo, y a cada fragmento de vía de comunicación con un arco (aunque se le ha mantenido su parecido con su trazado real para su mejor identificación).

El estudio que se realizó partió de lo que se conoce en *Network Analysis* como el Grado de Centralidad (*Centrality Degree*). Se corresponde con el estudio de la centralidad de un nodo respecto al resto de nodos y de toda la red, y se pueden analizar distintas variables dependiendo de que tipo de valores se cuantifiquen (Shermann, 1972). Para nuestro estudio, este valor fue entendido como la capacidad máxima de comunicarse con los otros nodos de la red, y se sintetizó básicamente con la suma de las diversas vías de comunicación que se le relacionaban. En este sentido, la forma de valoración se nos aparece como mucho más sencilla e intuitiva, puesto que no se deriva de los cálculos relacionados en toda la red (en la que se deberían haber tenido en cuenta todos los territorios del Imperio Romano), sino únicamente sobre cada nodo en particular.

Quizás el elemento más novedoso aportado por este estudio sea la diferencia de valor otorgado a cada una de las aristas dependiendo del tipo de transporte que por ella circula. En el sistema inicial estudiado en un grado de centralidad típico (utilizado por ejemplo en sociología) cada arista tiene invariablemente un valor igual a uno, por lo que el nodo con mayor valor es aquel que más cantidad de aristas recibe, y el que tiene una capacidad menor es aquel que se combina con el número mínimo de estas mismas aristas. En cambio, en nuestro caso se han valorado de forma diversa los valores de las aristas dependiendo de diversos condicionantes.

La realidad comunicativa de los distintos medios de comunicación, según las fuentes clásicas, la arqueología, la etnología e incluso, la lógica actual (incluyendo las normas físicas) aplicadas a los medios de tracción romanos, permiten interpretar la diferencia de costes, tanto a nivel económico como temporal, de los distintos medios de comunicación. Estudios como los efectuados por Carreras (1994), o más actualmente en obras como Lawton (2006) permiten realizar una aproximación cuantitativa a esta diferenciación de costes, que obviamente se trasluciría al estudio de la comunicatividad de estos nodos.

En nuestro caso, se tomaron en cuenta las diferencias de costes entre los distintos medios de comunicación y, principalmente, el impacto que la posibilidad de ser utilizados comportaba a cada uno de los distintos núcleos estudiados. De este modo, se distinguieron cuatro tipos distintos de categorías de aristas. Uno para las comunicaciones marítimas, otro para las fluviales y dos para las comunicaciones terrestres, uno de ellos referente a los principales ejes viarios (Vía Augusta, etc.) y finalmente, otro para las vías secundarias. Se otorgaron cuatro valores naturales para cada uno de los distintos tipos de aristas, ya que se juzgó suficiente para valorar las potencialidades de la comunicatividad de los núcleos estudiados y para obtener valores diferenciales ob-

[8] En el caso de Euler, cada nodo representaba una porción de tierra firme donde se ubicaba la ciudad de Koningsberg, mientras que cada arco representaba a cada uno de los puentes por los que debía transcurrir la procesión.

servables entre zonas bien y mal comunicadas. Así, se otorgó para las aristas que representaban una vía marítima un valor de 4 puntos, para las fluviales de 3, y para las vías principales y secundarias valores de 2 y 1 respectivamente.

Después del estudio de cada uno de los distintos núcleos urbanos de la geografía catalana junto con algunos otros puntos, escogidos por el elevado número de comunicaciones que recibían, se obtuvo el siguiente resultado:

Ciudad	Núm. vías	Descripción	Ríos	Mar	Total
Emporiae (Empúries)	4	Coll de Banyuls / *Iuncaria-Emporion* / *Emporion*-Besalú / Vía Emporitana	1	1	9
Barcino (Barcelona)	4	Vía Augusta (Baetulo) / *Semproniana-Barcino* / *Barcino-Ad Fines* / *Barcino*-Sant Cugat	1	1	9
Tarraco (Tarragona)	3	Vía Augusta (2) / It. Anton. I	1	1	8
Dertosa (Tortorsa)	3	Vía Augusta(2) / *Dertosa-Ilerda*	1	1	8
Baetulo (Badalona)	2	Vía Augusta (2)	1	1	7
Ilerda (Lleida)	5	It. Anton. I (2) / *Ilerda-Ruscinone* / *Ilerda-Dertosa* / *Ilerda-Escarne*	1		7
Semproniana (Granollers)	6	Vía Augusta (2)/ Vía del Congost (2) /Vía Parpers / *Semproniana-Barcino*			6
Ad Fines? Pont del Diable	4	Vía Augusta (2) / *Barcino* (Cardener)-*Sigarra?*	1		6
Iluro (Mataró)	3	Vía Augusta (2) / V. Parpers		1	6
Gerunda (Girona)	3	Vía Augusta (2) / Girona-Besalú	1		5
Iuncaria (Figueres)	5	Vía Augusta (2) / Pas de Maçana / Figueres-Besalú / Figueres-Empúries			5
Blandae (Blanes)	2	Vía Augusta (2)		1	5
Cruïlles	5	Vía Emporitana (2) / Camí de Colomers / *Gerunda*-Cruïlles / Cruïlles-*Aqua Voconis*			5
Ponts	4	Iesso-Aesso (2)/ Ilerda-Ruscinone (2)			4
Montblanc	4	It. Anton. I (2) / Montblanc-Vilafranca (Ramal Vía Augusta) / *Tarraco-Iesso*			4
Acqua Voconis (Caldes) 3	3	Vía Augusta(2) / A. Voconis-Cruïlles			3
Ausa (Osona)	3	*Semproniana-Ausa* / Ausa-Ripoll / *Ausa-Sigarra*			3
Iesso (Guissona)	3	*Iesso-Sigarra* / *Iesso-Aesso* / *Iesso-Tarraco*			3
Sigarra (Prats de Rei)	2	*Sigarra-Iesso* / *Sigarra-Ausa*			2

Tab. 1. Jerarquía de centros según su valor de comunicatividad

Los datos de este análisis fueron introducidos en un entorno SIG. El mejor método para su representación, fue la interpolación de los distintos valores en una capa raster. Se valoró cada uno de los distintos nodos de la red de comunicaciones con el valor propuesto en la tabla anterior (figura1), para posteriormente, y ya dentro del marco geográfico de Cataluña, poder realizar una interpolación de todos los valores. El resultado obtenido fue un mapa donde aparecían representados los distintos territorios de este ámbito geográfico con distintas intensidades de coloración que representaban los distintos grados de su comunicatividad.

Del mapa resultante se pudieron establecer tres modelos distintos dependiendo de su comunicatividad. En primer lugar, se pudo observar como se localizaban algunas zonas con un nivel muy alto de posibilidades de comunicación. Estas zonas corresponderían principalmente con las colonias de *Emporion* y de *Barcino* y sus respectivos hinterlands. En estos territorios, nos encontramos como los dos núcleos tienen una muy alta capacidad para recibir y exportar mercancías (y para el tránsito de personas), y a su vez, disponen de una importante red de comunicaciones a su alrededor que facilita las comunicaciones con poblaciones y territorios vecinos. En este sentido, es importante destacar el fuerte desarrollo de núcleos en una relativa corta distancia, como *Gerunda* o *Blandae* en las proximidades de *Emporion*, o *Iluro* y *Baetulo* en las de *Barcino*. También serán significativos los territorios de *Ad Fines* y *Semproniana*, en los alrededores de Barcino, donde si bien no se ha documentado la existencia de núcleos urbanos propiamente, sí se desarrollaron importantes centros de producción e intercambio (De Soto y Carreras 2006-2007).

Un segundo tipo de modelo de comunicaciones lo encontramos en grandes núcleos urbanos que concentraban el trazado de los grandes ejes de comunicación pero que, seguramente debido a su gran importancia y atracción, no permitieron un desarrollo urbanístico de los territorios vecinos. En este caso, nos encontramos con ciudades como *Tarraco*, *Dertosa* o *Ilerda*. Véase como en el caso de la capital provincial, recibe únicamente las vías terrestres más importantes (y que han quedado recogidas precisamente en los *Itineraria*), mientras que a su vez, no necesita una red de comunicaciones secundarias puesto que no tiene ningún centro urbano en sus proximidades. Los casos de *Dertosa* e *Ilerda* son muy parecidos, en el primer caso, la ciudad situada cerca de la desembocadura del río Ebro, se fortalece gracias a su papel de puerto dual (marítimo/fluvial), y a las posibilidades de comunicarse por tierra, gracias principalmente, al papel de la Vía Augusta. Quizás un papel ligeramente distinto lo encontramos en la capital leridana. En este caso, sí que se comunica con los territorios vecinos, pero destaca que a diferencia del primer modelo donde todo el territorio estaba bien comunicado entre sí (gracias principalmente a una red triangulada), la red de comunicaciones de *Ilerda* es totalmente radial. Este núcleo, según su modelo de comunicaciones, se elaboró con la intención de crear un núcleo concentrador de mercancías relacionado con el transporte a través del río *Sicoris* (Segre), afluente del Ebro.

Finalmente, nos encontramos con un tercer modelo dentro de la red catalana, en el que la red de comunicaciones es nula o prácticamente nula. La principal zona que muestra este tipo de comunicaciones es el extremo noroeste, aunque actualmente está en proceso de revisión puesto que seguramente existiría un entramado de vías secundarias que unirían los territorios de *Lugdunum Convenarum* (St. Bertrand de Commiges) con los de *Ilerda*. Otras zonas donde se encontraría una red limitada de comunicaciones lo encontramos en algunos territorios de la zona central de Cataluña. Los núcleos de *Aesso*, *Iesso* o *Sigarra*, se beneficiarían únicamente del trazado de algunas vías secundarias, importantes sin duda para el transporte de mercancías intangibles como el trigo de estas tierras.

Futura investigación: costes y tiempo de transporte

No es el objetivo de este trabajo el presentar conclusiones significativas en relación a la comunicatividad e importancia histórica de los territorios estudiados. Aún así, la configuración a grandes rasgos que se desprende del presente artículo sobre la movilidad de este territorio parece reflejar la distinta importancia que, en época romana tuvieron los diversos medios de comunicación. Así, las zonas mejor comunicadas de todo el territorio se sitúan principalmente en la zona costera, a excepción de un único punto que se sitúa en el interior pero en este caso en relación con una vía fluvial. Las facilidades que se obtenían del transporte marítimo potenciaban, sin duda, una buena red de comunicaciones terrestres para la redistribución de las mercancías importadas. Sin estas infraestructuras, el transporte marítimo carecía de todo su interés. El trazado de la Vía Augusta, muy cercano a la línea costera en la mayor parte de su recorrido, seguro que facilitó la distribución de los productos arribados a los distintos puertos. Además, la situación estratégica de la mayor parte de estos puertos, en la desembocadura de ríos con posibilidades de navegación, también favoreció el transporte fluvial hacia el interior.

Una vez integrada en el SIG la red de comunicaciones existente en época romana, en la que aparecen representados los distintos medios de transporte, los nodos en los que se puede realizar un cambio de transporte, y las restricciones necesarias, es cuando se pueden calcular las diferencias en los costes de transporte a distintas áreas geográficas. En este sentido, si se utilizan, por ejemplo, los datos obtenidos de las fuentes clásicas como el Edicto de Diocleciano para el transporte de trigo calculado en Toneladas por Kilómetro recorrido: 0,097 kg de trigo T/km para barcos; 0,33 kg T/km en barca fluvial a favor de la corriente; 0,66 kg T/km en barca fluvial a contracorriente; 4,92 kg T/km en carro; 4,21 kg T/km (Carreras, 1994) en asno se puede llegar a elaborar un mapa de costes interpolando los datos obtenidos al calcular los costes de transporte desde un punto inicial al resto de puntos de la red de comunicaciones.

De este modo se han tomado como elementos de análisis 75 puntos de la red de comunicaciones coincidentes con los principales núcleos urbanos de época romana, así como con puntos geográficos estratégicos (pasos naturales, embarcaderos, *mansios*, etc.), y finalmente puntos intermedios para cubrir eficientemente todo el territorio. Una vez establecidos todos estos puntos se ha procedido al cálculo de costes de transporte. La realización de estos cálculos de transporte se ha elaborado en esta fase inicial, con un cálculo de coste por kilómetro recorrido desde un punto inicial hacia el resto de puntos establecidos en la red. De los resultados obtenidos, y una vez interpolados para una mayor visualización se puede em-

pezar a desprender las primeras limitaciones económicas para cada uno de los distintos territorios estudiados. A modo de ejemplo, se ha tomado como elemento transportable una tonelada de trigo desde distintos puntos de la geografía catalana (*Tarraco*, *Iulia Libica*, *Iesso* y *Emporion*). Teniendo en cuenta que el gasto del transporte de trigo, únicamente resultaría económicamente viable la distribuación de mercancías hasta zonas marcadas con tonalidades claras (quizás también en las zonas inmediatamente más cercanas marcadas con tonalidades grisáceas, pero no en zonas oscuras) en los mapas resultantes.

A pesar de estar en una etapa inicial, ya se pueden percibir visualmente las probables zonas de distribución de los distintos puntos estudiados. Así, las zonas costeras se benefician de una amplia difusión, favorecida sin duda por el bajo coste del transporte marítimo, y a su vez por el uso de las corrientes fluviales como vías de penetración. En cambio, los territorios interiores en los que el transporte es significativamente más elevado, estas zonas de difusión quedan drásticamente seccionadas.

Estos análisis nos pueden permitir además, proponer las rutas más probables de comunicación de estos territorios. De este modo por ejemplo, en el caso de *Iulia Libica*, situada justo en el centro de los Pirineos catalanes, se le podrían atribuir tres rutas distintas de comunicación con los territorios costeros (hacia el oeste buscando el río Segre y Ebro hasta *Dertosa*; hacia el sur utilizando la ruta terrestre que pasaba por *Auso* hacia *Barcino*; finalmente hacia el este, pasando por la Vía del Capsacosta en busca del río Fluvià que desembocaba a muy poca distancia de *Emporion*). De estas tres rutas, la que se nos aparece como significativamente más económica resulta ser la última, siguiendo la Vía del Capsacosta hacia Emporion. Quizás fuese su utilización como vía de penetración hacia los territorios Pirenaicos centrales la que llevase a los gobernadores romanos a valorar su mantenimiento y conservación, hasta el punto de ser actualmente una de las vías romanas mejor conservadas del territorio catalán.

Aunque todo este estudio está en proceso, las informaciones generadas a partir del análisis de redes, y principalmente, en el estudio de la centralidad, pueden ayudar a comprender y a conceptualizar la distinta morfología de la red de comunicaciones, que sin duda será el reflejo de las intencionalidades del poder romano dentro de este territorio. Teniendo en cuenta que puede ser complejo comprender totalmente la movilidad dentro de este territorio sin tener en cuenta las comunicaciones con los territorios adyacentes, se está empezando a elaborar un estudio de las mismas características pero con un marco geográfico mucho más amplio y completo que abarque toda la península. Al igual que en el caso catalán se tomarán como referencia los principales núcleos urbanos de época romana y se analizarán sus posibilidades de comunicación tanto a nivel marítimo, fluvial y terrestre, valorándose del mismo modo que el expuesto en este artículo y posteriormente elaborando un mapa de valores.

Siguiendo un esquema parecido al utilizado en este estudio pero a nivel peninsular, parece desprenderse ya a primera vista una serie de grandes focos de comunicación y a su vez unos vacíos bastante significativos. Como no podía ser de otro modo, los grandes centros dotados de importantes redes de comunicación se encuentran en las capitales conventuales, como *Caesaraugusta*, *Hispalis*, *Emerita Augusta*, *Bracara Augusta* y *Lucus Augusti*. Por contra también se localizan importantes vacíos, como el ocupado por la Cordillera Cantábrica o el Sistema Ibérico. Pero muy a pesar nuestro, este estudio a nivel peninsular aún se halla elaboración y por tanto sus resultados, aunque interesantes, deben ser tomados con cautela.

A pesar de todo esto, con la elaboración de este artículo se ha querido mostrar como a través de los análisis de redes se pueden empezar a mostrar distintos elementos de una realidad histórico-arqueológica a veces, difícilmente demostrable, como pueden ser las razones de las distribuciones de materiales, la concepción teórica de un territorio, las elecciones de capitales conventuales o las variaciones estratégicas de algunos territorios a través del tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUELO, X.; NIETO, FX; MORHANGE, C; REVILL, A; RIZZO, E; VIVAR, G. (2005): «La fachada marítima de Ampurias: estudios geofísicos y datos arqueológicos». *Empuries*, 54: 71-102.

BLÁZQUEZ, A. 1982: «Nuevo estudio sobre el Itinerario de Antonino». *Boletín de la Real Academia de la Historia*, 31

BUSQUETS, C.; FREIXA, M. (1998): «La Via Romana del Capsacosta (Sant Pau de Segúries, El Ripollès - La vall de Bianya, La Garrotxa). Història d'un camí», *Comerç i vies de comunicació (1000 a. C. - 700 d. C.) XI Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerda*. Puigcerdà. UAB-IEC, 183-190.

CARRERAS, C. (1994): *Una reconstrucción del comercio en cerámicas: la red de transportes en Britannia*, Barcelona, 1994.

CASAS, J. (1981): «Vías romanas en Catalunya». *Revista de Arqueología*, 7.

CUNTZ, O. (1929): *Itineraria Romana*, vol. I, Leipzig,

DE SOTO, P. (2006): *La Xarxa de comunicacions romanes a l'actual Catalunya*. Inédito. Trabajo para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (UAB-URV-ICAC).

DE SOTO, P.; CARRERAS, C. (2006-2007): «Anàlisi de la xarxa de transport a la Catalunya romana: alguns apunts», *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 16-17, 177-192.

DICKS, T. R. B. (1972): «Network analysis and historical geography», *Area*, 4, 4-9.

GUIACCHERO, M. (1974): *Edictum Diocletiani et Collegarum de Pretiis rerum venalium*. Roma

GUITART, J.; FATÁS, G.; CEPAS, A.; UNIÓN ACADÉMICA INT. (1997): Tabula Imperii Romani. Hoja K-J 31: Pyrénées Orientales-Baleares Tarraco-Baliares: sobre la base cartográfica a escala 1:1.000.000 del IGN. Madrid. Instituto Geográfico Nacional.

HAGGET, (1969): *Network analysis in geography*, Londres.

IZQUIERDO, P. (1996): «Los condicionantes de la navegación en la Antigüedad: una aproximación al caso de la Provincia Citerior Mediterránea*», I Simposio de Historia de las técnicas. La construcción naval y la navegación*, Santander, 299-306.

IZQUIERDO, P. (2000): «Intervenció arqueològica al Pont del Diable (Martorell/Baix Llobregat – Castellbisbal/Vallès Occidental). Resultats primera fase», *Tribuna d'Arqueologia* 1997-1998. Barcelona: 39-53.

JAMES, I. (2002): *Remarkable Mathematicians: From Euler to von Neumann*. Cambridge.

LAWTON (2006): *Various and Ingenious Machines*. 2 vols. Brill. Leiden, Boston.

MAYER, M.; RODÀ, I. (1997): «La Via Augusta des Pyrénées à l'Èbre», en Castellvi, G. *et al*. (eds.) *Voies Romaines du Rhône à l'Èbre: Via Domitia et Via Augusta*. DAF, 61. Paris, 125-140.

MILLER, K. (1916): *Itineraria Romana. Römische Reisewege an der Hand der Tabula Peutingeriana*, Stuttgart.

PALLÍ, F. (1985): *La Vía Augusta en Cataluña*. UAB, Bellaterra.

PARODI (2001): *Ríos y lagunas de Hispania como vías de comunicación: la Navegación Interior en la Hispania Romana*. Écija. Gráficas Sol.

PARTHEY, G.; PINDER, M. (1848): Itinerarium Antonini Augusti et Hierosolymitanum ex libris manuscriptis, Berlín,

ROUCHÉ, J. (1989): «Aphrodisias in late antiquity». *Monographia Journal of Roman Studies*, 5. Oxford.

RUIZ DE ARBULO (1990): «Rutas marítimas y colonizaciones en la Península Ibérica. Una aproximación náutica a algunos problemas», *Italica: cuadernos de Trabajos de la Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma*, n.º 18, 79-116.

WESSELING, P. (1735): *Vetera Romanorum Itineraria*, Amsterdam,

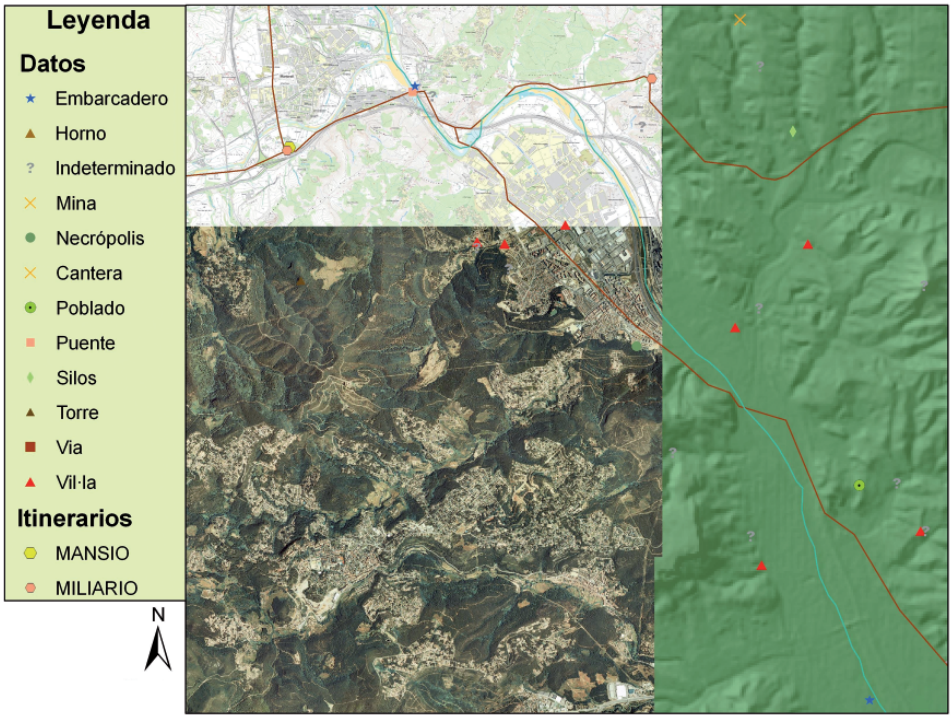

Fig. 1. Imagen donde se muestran los mapas topográficos, los ortofotomapas y el MDT utilizados en este proyecto.

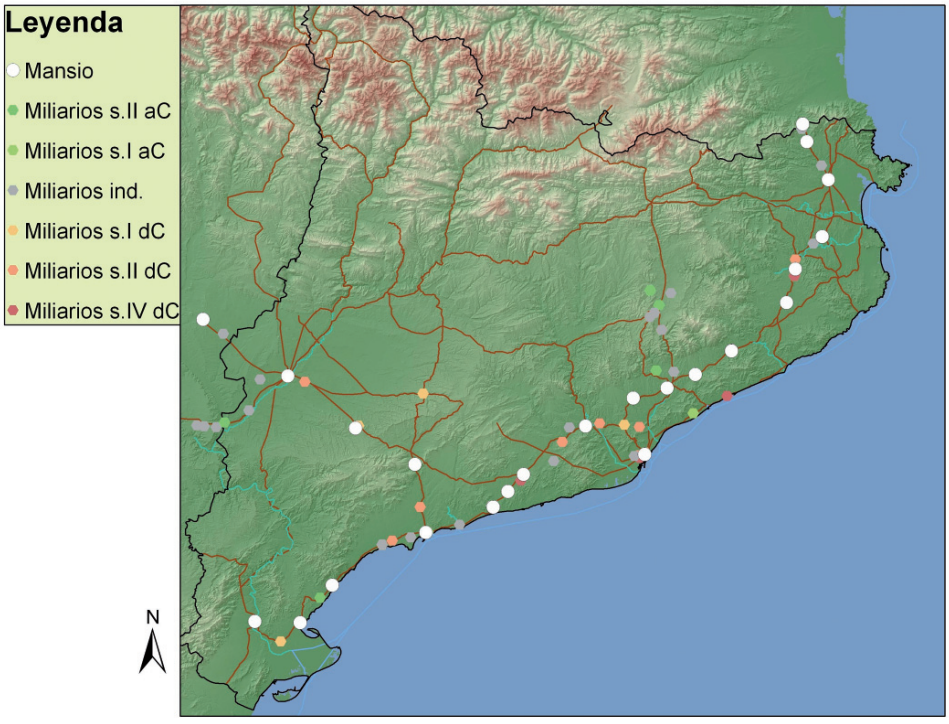

Fig. 2. Mapa donde aparecen representadas las *mansios* recogidas en los Itineraria, así como los distintos miliarios documentados en este territorio.

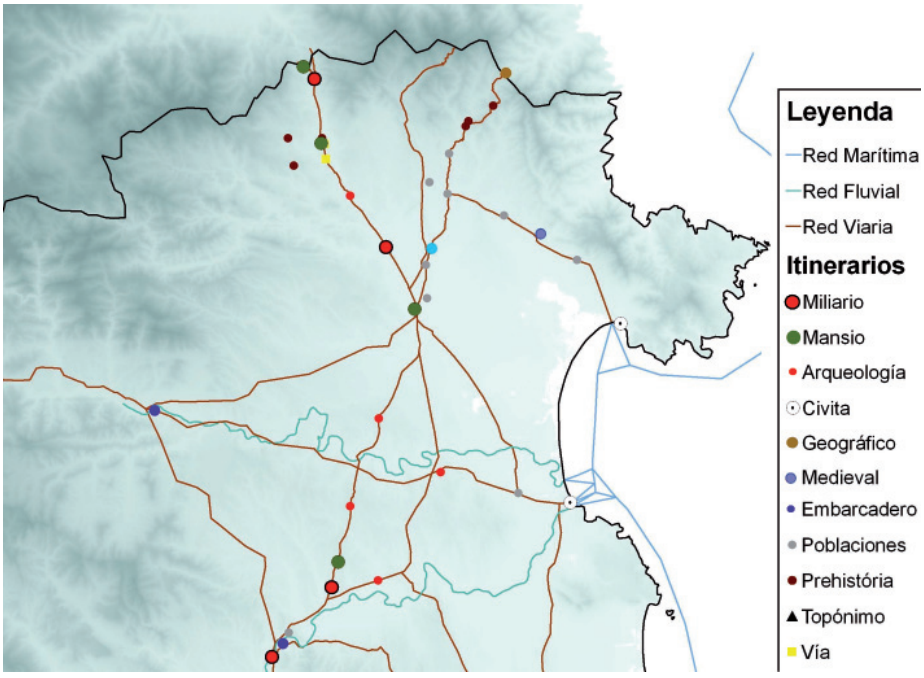

Fig. 3. Mapa donde aparecen representados los recorridos de los ríos Fluvià (al norte) y Ter supuestos en época romana.

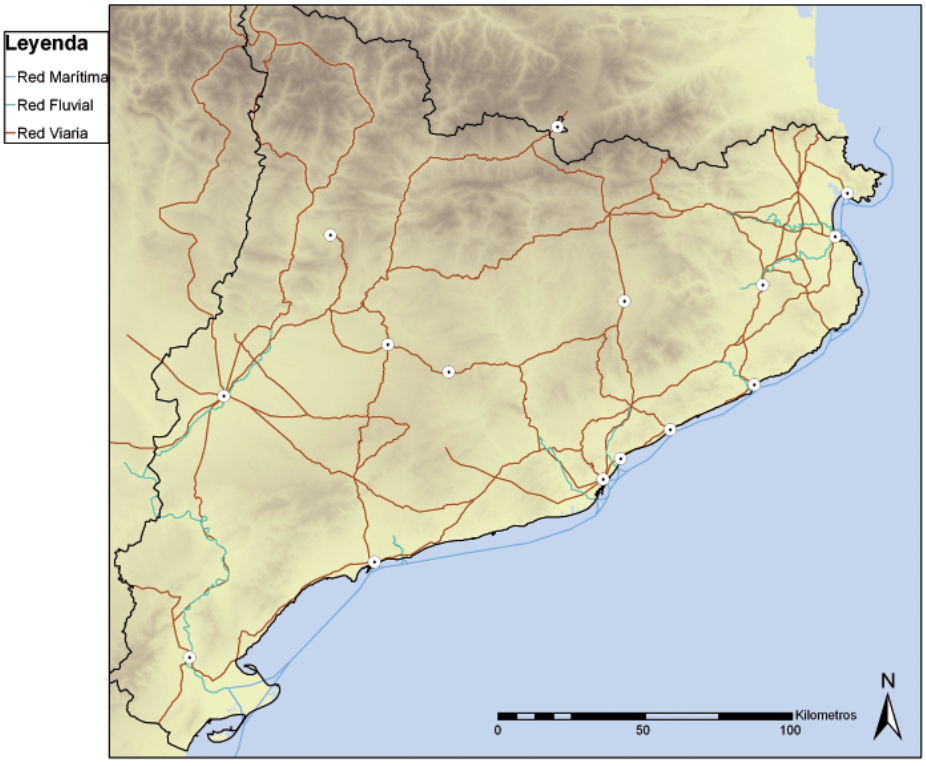

Fig. 4. Mapa resultante de la red de comunicaciones romana propuesta en este estudio.

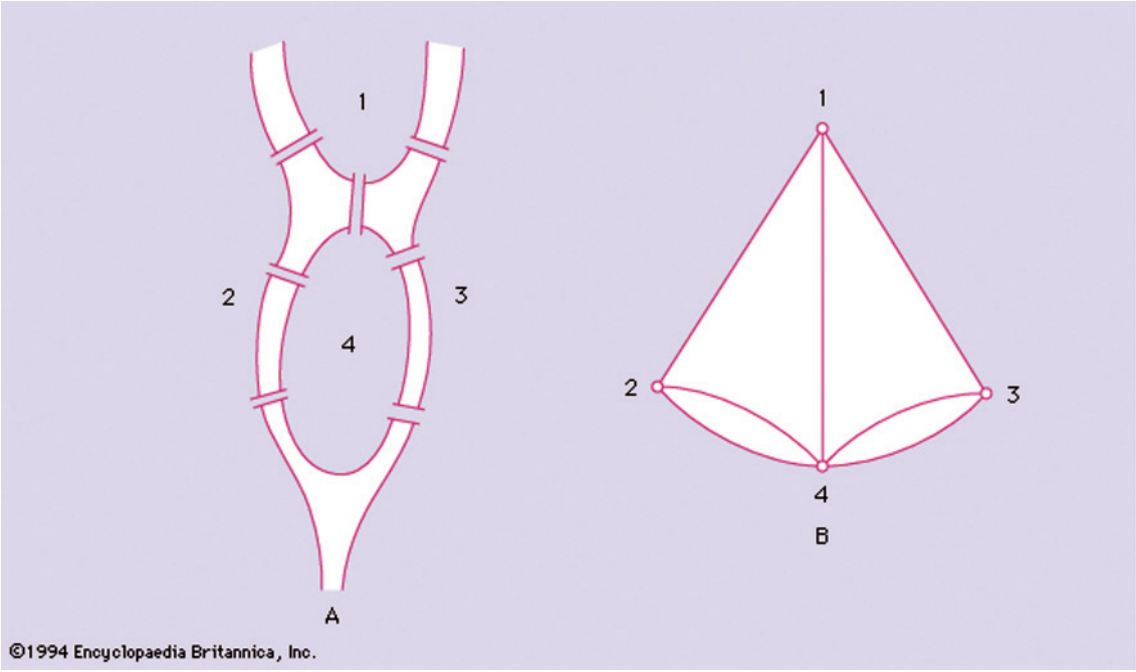

Fig. 5. Esquema de la morfología de Konigsberg y traslación a un modelo de Grafos realizada por L. Euler. (Imagen: Encyclopaedia Britannica).

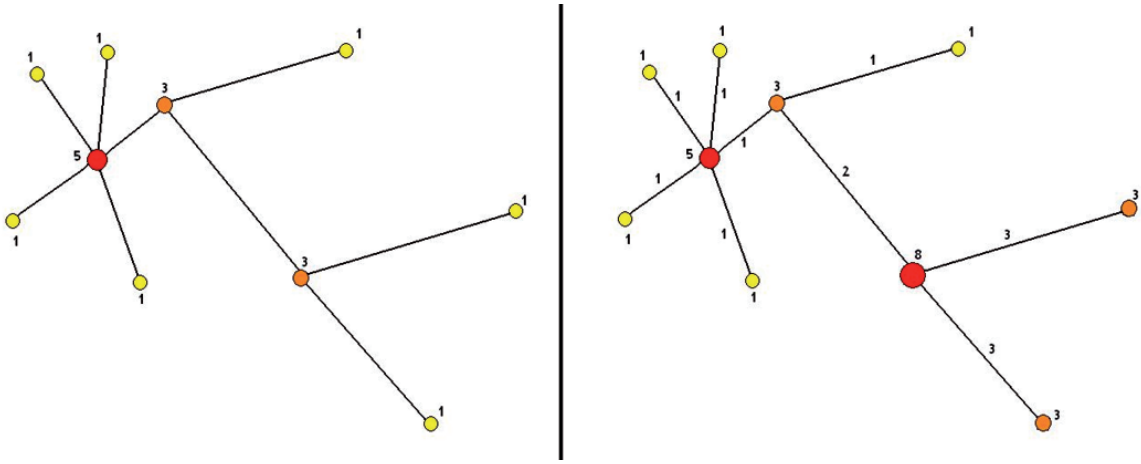

Fig. 6. Dos grafos iguales con la diferencia que en el primero todas las aristas tienen un valor 1, mientras que en el segundo se han valorado de forma distinta (véase el cambio de importancia de algunos nodos).

Fig. 7. Mapa donde aparecen representadas las distintas comunicatividades del territorio catalán (en oscuro mayor comunicatividad).

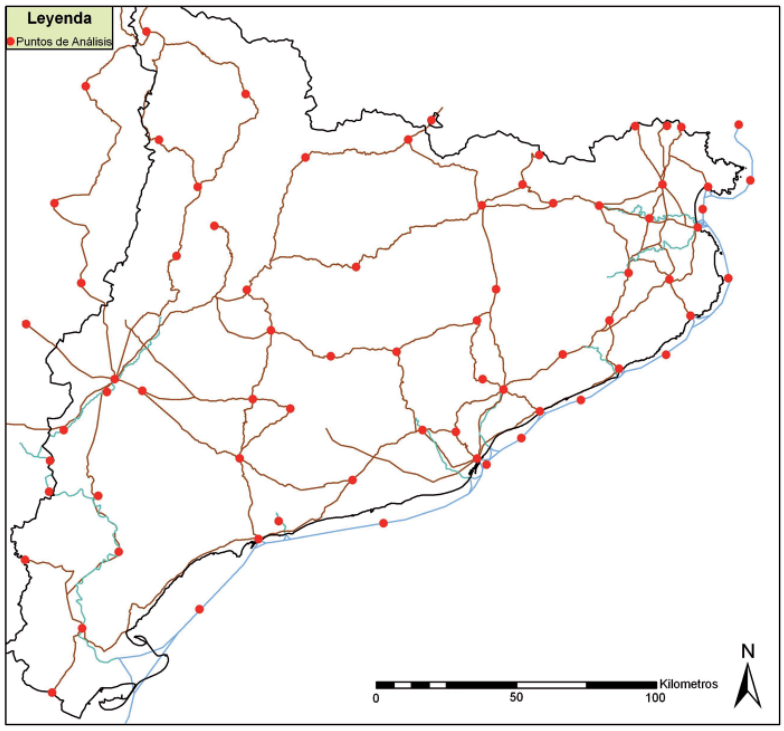

Fig. 8. Mapa donde se representan los puntos de análisis de costes de la red.

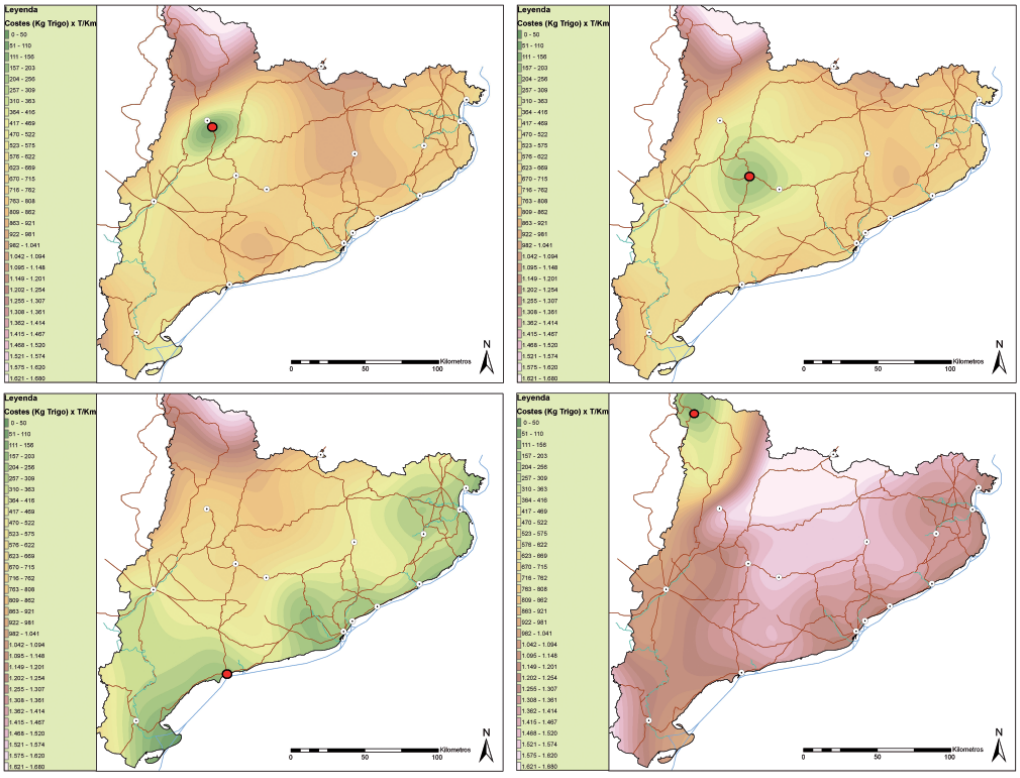

Fig. 9. Distintos mapas resultantes sobre los costes de transporte calculados en kilogramos de trigo por kilómetro recorrido / tonelada transportada.

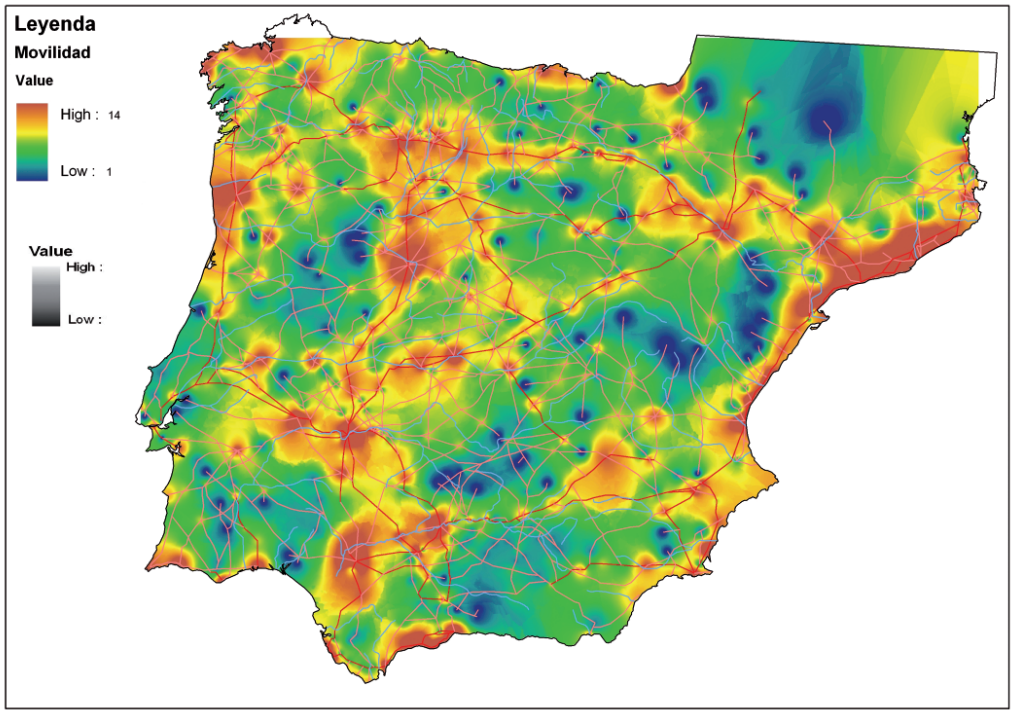

Fig. 10. Mapa sobre la movilidad en la península.