

APROXIMACIONES CUANTITATIVAS EN EL ESTUDIO DE LAS VÍAS ROMANAS. LA MOVILIDAD Y LOS COSTES DE TRANSPORTE A PARTIR DE NETWORK SCIENCE

Quantitative approaches to the study of roman roads. Mobility and transport costs through network science

PAU DE SOTO CAÑAMARES *

RESUMEN Las redes de transporte ofrecen un conjunto de información que ayuda a comprender la realidad de nuestro pasado a partir de aspectos vinculados a la economía, la política o la sociedad. En este artículo se aborda cómo, a través del uso del Análisis de redes, es posible obtener información nueva acerca de aspectos tan fundamentales como el transporte de mercancías, la relación distancia-tiempo de viaje o la complejidad del diseño y organización de la movilidad de territorio en la antigüedad. Todos estos aspectos pueden relacionarse con la economía, la política y la sociedad romanas.

Palabras clave: Análisis de redes, Vías romanas, Movilidad, Transporte romano.

ABSTRACT Transport networks offer a set of information that helps to understand various aspects of the reality of our past. This paper discusses how through the use of Network Analysis it is possible to obtain new information about such fundamental aspects as cost transport, the distance-time travel relationship or the design and organization complexity of mobility in ancient territories. All these aspects can be related to the Roman economy, politics and society.

Keywords: Network analysis, Roman Roads, Mobility, Roman Transport.

* Pau de Soto Cañamares (Orcid: 0000-0002-7068-786X). Departamento de Ciencias de la Antigüedad y la Edad Media, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Barcelona. pau.de.soto@uab.cat
Fecha de recepción: 15-06-2023. Fecha de aceptación: 19-11-2023.
<http://dx.doi.org/10.30827/CPAG.v33i0.28439>

INTRODUCCIÓN

Hacia el año 1736, la ciudad de Königsberg (actual Kaliningrado), perteneciente al Reino de Prusia, se convirtió quizás sin esperarlo en el ejemplo perfecto para una nueva aplicación de un concepto matemático. En esos años, el matemático suizo Leonhard Euler hacía ya unos años que residía en Rusia y trabajaba en la Universidad de San Petersburgo y, aunque se desconoce con seguridad el origen de su conocimiento sobre la problemática de Königsberg, sí se han conservado algunas cartas en las que Euler mencionaba este tema¹. En el contexto académico-cultural de un siglo XVIII que, igual que lo sería el siglo XIX, se caracterizó en matemáticas por ser una época de gran efusión en el planteamiento y resolución de problemas y teoremas, Euler destacó sobremanera por su prolífica producción científica que abarcó numerosos campos de las matemáticas, la física y la astrología entre muchos otros temas. Para Euler, el caso de Königsberg no resultaba excepcionalmente interesante pero sí su aplicación conceptual. Así, no dudó en explicar en su misiva al matemático italiano Marinoni que esta ciudad prusiana estaba cruzada por el río Pregolia que, a su paso por la ciudad, había formado una isla también urbanizada. Esta situación geográfica, propició la construcción de 7 puentes para conectar todas las zonas terrestres de la ciudad. Desde su construcción, nadie había podido encontrar una ruta para, saliendo desde un punto inicial, recorrer todos los puentes y volver al punto de origen sin repetir el cruce de ningún puente. Tal disyuntiva le pareció a Euler una pregunta banal:

[...] esta pregunta es tan banal, pero me pareció digna de atención en que [ni] la geometría, ni el álgebra, ni siquiera el arte de contar fueron suficientes para resolverla [*carta de Euler a Giovanni Marinoni* (Hopkins y Wilson, 2004)].

A pesar de ello, este problema le permitió realizar un avance realmente significativo en las ciencias matemáticas. En su planteamiento (fig. 1), identificó cada una de las áreas terrestres de la ciudad como nodos (puntos) y cada uno de los puentes de la ciudad como conexiones entre puntos. Aunque él no dibujó ni representó ningún esquema, la translación de sus explicaciones al teorema permitieron la obtención de un ‘grafo’, un esquema matemático que si bien representaba un elemento de la realidad que nos envuelve, no dependía de su forma real. Este fue, en efecto, la génesis del principio matemático conocido como la Teoría de Grafos. Euler, a partir de la abstracción matemática en un grafo de la realidad geográfica en la que se encontraba Königsberg, fue capaz de, matemáticamente, analizar esa estructura y concluir que no era posible recorrer todos los puntos del grafo sin repetir, al menos una vez, una de sus aristas.

1. Existe una primera carta conservada en la que el alcalde de Dainz, Carl Leonhard Gottlieb Ehler, le pedía a Euler una solución a la casuística de Königsberg, así como también existe correspondencia entre Euler y el matemático Marinoni sobre este asunto (Hopkins y Wilson, 2004).

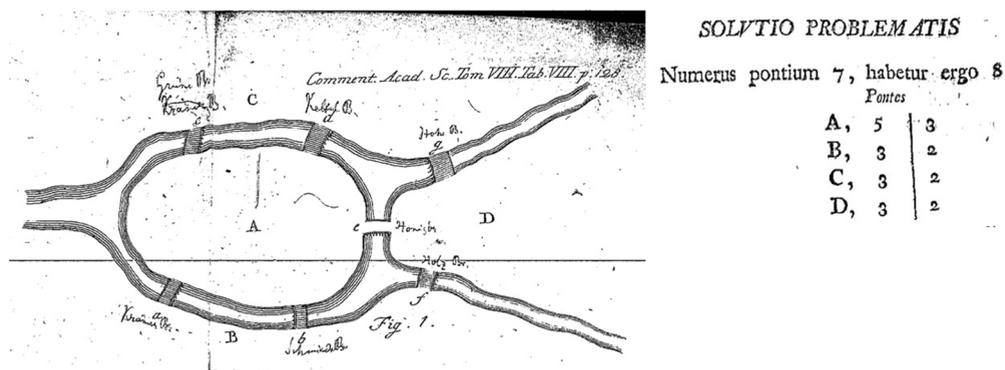


Fig. 1.—Esquema de Königsberg dibujado por Euler y la identificación de las masas de tierra como letras (Euler, 1741).

A partir de esta solución elaborada por Leonhard Euler en 1736, y publicada en 1741, se sentaron las bases para las contribuciones posteriores de matemáticos que desarrollaron la Teoría de Grafos (Paoletti, 2003).

Quizás una de las particularidades y beneficios de la aplicación de la Teoría de Grafos en el estudio de las vías históricas es que, a pesar de que los grafos resultantes representan la realidad, éstos no tienen por qué mantener la misma forma geométrica que los elementos que representan, aunque sí su estructura. Dicho de otro modo, aunque en nuestro caso un grafo represente una red de transportes, la forma del grafo puede diferir de la realidad geográfica, aunque sí debe mantener su estructura y conexiones entre nodos o ciudades.

La creación de un grafo, en el caso de las redes de transporte, parte de una premisa inicialmente sencilla: cada ciudad y asentamiento urbano será representado por un nodo (punto), mientras que cada vía de transporte será representada mediante una arista (línea). Estos son los dos elementos principales que configuran un grafo y, en definitiva, una red. A partir de la creación de una red, será posible analizar la morfología de las comunicaciones de una determinada área geográfica y de un periodo concreto.

A partir de la creación de estos grafos y asociándoles determinadas informaciones, es posible analizar distintos parámetros que pueden ayudar a comprender mejor la organización territorial y el transporte en un determinado momento histórico. Por un lado, es posible analizar las particularidades y la morfología de una red de transportes, identificando las ciudades y territorios mejor comunicados o los puntos estratégicos de movilidad dentro de la red, pero también es posible cuantificar la movilidad dentro de la red, especialmente a partir de datos económicos y temporales. Esto permite entender qué zonas tenían más facilidades para el transporte de mercancías y qué zonas estaban mejor comunicadas dentro de un amplio territorio.

En este artículo se explicará metodológicamente estos acercamientos desde la perspectiva de la Ciencia de Redes (Network Science) y su aplicación en territorios ibéricos durante la época romana.

LA CONECTIVIDAD DE LAS REDES HISTÓRICAS

El mundo romano fue una sociedad interconectada. Roma configuró, con el paso de los siglos, un amplísimo territorio que abarcaba desde la Península Ibérica hasta Oriente Próximo y desde las islas británicas hasta la costa mediterránea de África. Este territorio mantuvo su cohesión, en parte, gracias a la existencia de fuertes vínculos a nivel político, económico o social. La creación y mantenimiento de una densa red de comunicaciones basadas en calzadas terrestres, vías fluviales y rutas marítimas articularon estos vínculos. Entender y cuantificar estas conexiones es lo que permite comprender e interpretar la configuración y el grado de integración de los distintos territorios. El papel de la integración de las sociedades mediterráneas ya fue ampliamente estudiado y analizado con gran aceptación por Horden y Purcell (2000) aunque con algunas críticas sobre los modelos de cuantificación (Tacoma y Lo Cascio, 2016, 14). En esos estudios, el análisis de la conectividad se basaba en diversos factores históricos y arqueológicos sin tener en cuenta la aplicabilidad de los análisis de redes.

Como ya se ha comentado en la introducción, desde la innovación de Leonhard Euler, cualquier elemento de la realidad puede transformarse en un grafo, un conjunto de nodos y aristas. Las redes resultantes de este proceso de convertir elementos en nodos y conexiones en aristas se conocen como ‘Redes Binarias’. Este nombre identifica que si existe un vínculo entre dos poblaciones existirá una arista de valor 1, mientras que si no existe conexión, el valor de la arista (inexistente) será 0. Determinar las conexiones de la red en 0 y 1 permite categorizar estas redes como ‘binarias’. Este sistema se desarrolló especialmente durante la década de los años 60 del siglo XX, entre geógrafos y urbanistas como Bunge (1966), Hägerstrand (1967) o Hagget (1965) y Hagget y Chorley (1969)² para analizar distribuciones, conexiones e indicadores geográficos. Pero, además, también algunos historiadores como Pitts (1965) utilizaron este tipo de aproximaciones para evaluar conceptos y teorías históricas, como por ejemplo cuantificar la evolución política y la centralidad geográfica de la ciudad de Moscú (fig. 2).

Posteriormente, distintos investigadores han continuado desarrollando aplicaciones de estas metodologías destinadas al análisis de las redes de transporte y a territorios antiguos (Brughmans, 2010; Ostborn y Gerdin, 2013). Graham (2007) aplicó estos principios al estudio del Itinerario de Antonino en Hispania, Galia, Italia y Britannia, o Isaksen (2006; 2008) lo utilizó para analizar la importancia de las ciudades béticas a partir de los datos de comunicatividad extraídos de los antiguos *itineraria* (Itinerario de Antonino, Tabula de Peutinger...) así como también fueron utilizados por Keay y Graeme (2006; Graeme y Keay, 2007) para analizar las conexiones y la movilidad social entre ciudades de la Bética.

2. Para un estudio más profundo sobre los inicios y la evolución del uso de los análisis de redes en geografía, ver Uitermark y van Meeteren (2021).

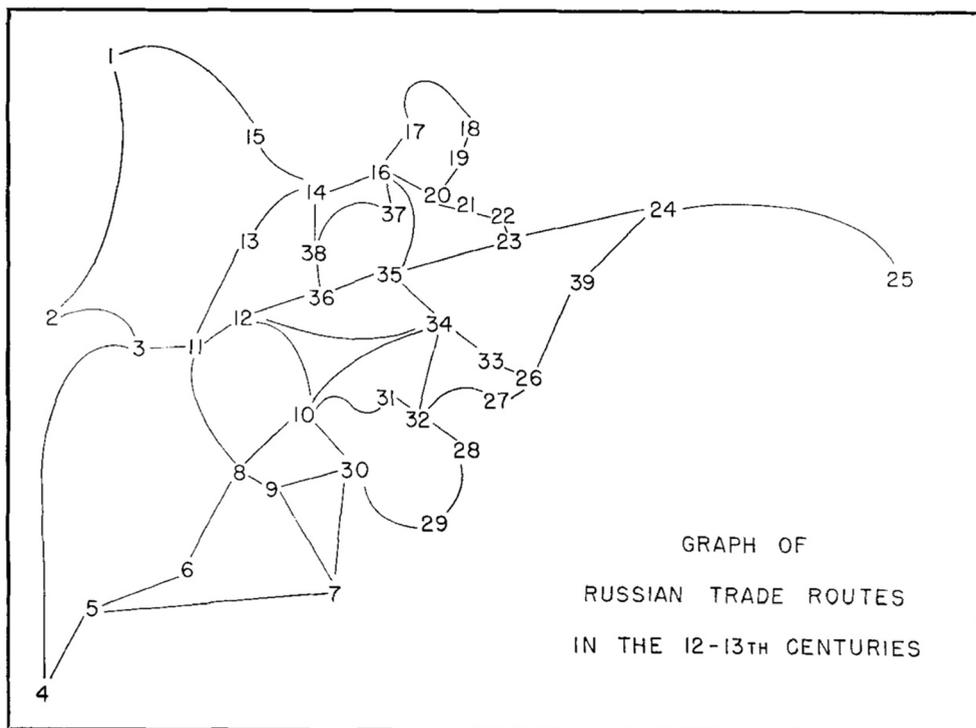


Fig. 2.—Grafo representando las conexiones comerciales en Rusia durante los siglos XII y XIII (Pitts, 1965).

Desde hace unos años también se han aplicado estos estudios al análisis de la accesibilidad de las ciudades y territorios en la antigüedad a partir del estudio arqueológico de la red de transportes y comunicaciones (de Soto, 2010; de Soto y Carreras, 2009, 2015; Preisser-Kapeller y Werther, 2018; Houten, 2021). Durante la elaboración de los estudios realizados en los últimos años, se ha detectado que la utilización de redes binarias, aunque son muy útiles en algunas disciplinas como sociología, parecen insuficientes para analizar redes de transporte así como para conceptualizar su complejidad. Las distintas características de los medios de transporte y su impacto desigual en el desarrollo económico y político de cada territorio obligan a modelar las redes de una forma más compleja (Barrat *et al.*, 2004). Como resultado de esta necesidad de complejidad, hemos determinado que cada arista en estos análisis puede tener un valor distinto dependiendo del tipo de medio de transporte que representa. Con la distinta valoración de las aristas se obtiene una ‘red ponderada’ (weighted network), un modelo de red analíticamente más compleja que las redes binarias (Newman, 2004; Opshal *et al.*, 2010). Este tipo de cálculos con redes ponderadas se ha aplicado a determinados proyectos centrados, por ejemplo, en la comunicatividad de aeropuertos (Colizza *et al.*, 2007; Opshal *et al.*, 2008).

En el caso que nos ocupa, para evaluar la morfología de una red de transportes romana, se ha determinado que cada arista debía tener un valor dependiendo de

las características del transporte que representan. A partir de diversos estudios sobre el transporte en época romana, se ha considerado que el transporte marítimo representaba el medio de comunicación comercial más económico, rápido y utilizado para transportar, especialmente, cargas de gran volumen (Burford, 1960; Rougé, 1966; Casson, 1971, 1974; Pomey, 1997; Arnaud, 2005). Obviamente, el transporte de pequeñas mercancías con un alto valor seguía rutas alternativas, pero las grandes mercancías que se transportaban en época romana, como por ejemplo el trigo, el aceite y el vino, requerían de grandes navíos para ser transportadas de forma económica y eficiente. Los barcos y las infraestructuras portuarias marítimas representaban, de este modo, el medio de transporte que más impacto tenía en las ciudades durante la Antigüedad. En segundo lugar, las vías fluviales representaron también un medio de transporte que favoreció el avituallamiento de ciudades y la exportación o importación de mercancías hacia territorios lejanos (Rickman, 1980, Ecktold, 1984, Di Salvo, 1992). Finalmente, el medio terrestre fue, en muchos de los territorios del imperio romano, la única forma de recibir y exportar productos. Debido a sus distintas condiciones geográficas, encarecía el precio final de las mercancías y limitaba significativamente el transporte de determinados productos (Landels, 1978; Greene, 1986). La comparación entre los distintos medios de transporte en la Antigüedad ha sido continuamente evaluada por historiadores, arqueólogos y economistas (Yeo, 1946; Duncan Jones, 1974; Künow, 1980; Deman, 1987; Carreras y de Soto, 2010; Scheidel, 2014). Esta circunstancia, ya era identificada en época romana, cuando los habitantes de los territorios interiores, sin acceso a comunicaciones fluviales o marítimas, ya eran conscientes de los problemas derivados de su situación geográfica. Es especialmente relevante, por ejemplo, el pasaje de Gregorio de Nazancio, quien en el siglo IV d. C. describe especialmente los problemas logísticos en los que se encontraban las ciudades interiores:

Porque las ciudades marítimas son capaces de soportar esos tiempos de necesidad sin dificultad, mediante el intercambio de sus propios productos por lo que se importa; pero una ciudad del interior como la nuestra no puede aprovechar los excedentes, ni satisfacer sus necesidades, ni disponiendo de lo que tenemos, ni importando lo que nos falta... (Greg. Naz. *Orat.* 43., Trad. propia).

De este modo, a partir del conocimiento histórico sobre cada medio de transporte y su impacto en la economía se ha determinado que las aristas que representan una vía secundaria debían tener un valor 1, las aristas representando una vía principal tenían un valor 2, las aristas que representan una conexión fluvial tenían valor 3 y, finalmente, las que representaba las conexiones marítimas tenían valor 4. A pesar de la arbitrariedad de estos valores, después de numerosas pruebas y análisis, éstos valores que mejor representaban más verosímelmente las diferencias entre medios de transporte destacando las diferencias entre los medios de transporte pero sin desequilibrar los resultados con valores extremadamente dispares (de Soto, 2010; Houten, 2021).

Una vez configurada la red, es posible empezar a analizar su estructura. Distintos son los análisis que se han aplicado a la morfología de este tipo de estructuras y

el papel de cada nodo en relación con el resto (Freeman, 1979). Aunque Freeman (1979) se centró especialmente en la vertiente sociológica de estos análisis, su funcionalidad se mantiene intacta cuando se aplica a redes ponderadas y a otras disciplinas. Uno de los elementos más importantes de este tipo de análisis es que se concentran en evaluar las propiedades estructurales de cada nodo, dependiente o independientemente de la totalidad de la red, según el caso. De este modo, uno de los análisis más intuitivos y simples para evaluar el valor de cada nodo se basa en su grado de centralidad (*centrality degree*), cuantificado a partir del número de aristas que se le vinculan. En esta medición, el tamaño o la estructura general de la red no afecta al valor final del nodo. El principal concepto que sustenta este análisis radica en establecer la importancia de un nodo dentro de una red a partir del indicador que ofrece su alta conectividad. Este valor ha sido continuamente utilizado para visualizar los asentamientos y zonas mejor conectadas, así como los territorios más aislados (De Soto, 2010, 2019; Carreras y De Soto, 2021; Houten, 2021). Siguiendo los principios conceptuales tradicionales como: “*Millae viae ducunt homines per saecula Romam*”³, desde la antigüedad podemos identificar las ciudades más importantes tanto política, económica como socialmente, a partir de las inversiones que recibieron en la construcción de infraestructuras de transporte. Así, si entendemos que generalmente las ciudades con más conexiones debieron ser también las más importantes, evaluar el grado de centralidad nos puede permitir identificar esas zonas. Muy relacionado con este valor de centralidad, se aplica también el estudio del *eigenvector centrality*, donde se cuantifica la centralidad de un punto a partir del número de conexiones ponderado por la importancia (en la misma centralidad) de los nodos a los que se vincula. De este modo, un nodo tendrá un valor más elevado si, además de estar conectado a una gran cantidad de nodos (comparado con los otros nodos de la red), los nodos a los que se conecta también tienen un valor elevado.

Un cálculo ligeramente distinto analiza el papel de un nodo con relación a la circulación dentro de una red. Es a partir de este punto que la estructura de la red afecta significativamente a los resultados de cada nodo. El valor de la intermediación (*betweenness centrality*) no intenta determinar los puntos que tienen más conexiones sino aquellos nodos que necesariamente son cruzados en más itinerarios cuando se calculan todas las conexiones entre dos puntos de una red. Los resultados de estos análisis muestran las localizaciones más estratégicas de una red, los puntos que, debido a su ubicación, controlan la circulación de la red.

Finalmente, el tercer valor significativo a tener en cuenta se refiere también a un cálculo del valor de los nodos en relación con el resto de la red donde se encuentran. En este caso, el valor de la cercanía (*closeness centrality*) evalúa la ubicación de un nodo dentro de la red de modo que intenta determinar qué puntos se encuentran en una situación de más proximidad al resto de la red, que puntos se

3. “Mil caminos conducen para siempre al hombre a Roma” *Liber Parabolarum*, 591 (Alain de Lille, 1175).

encuentran en una posición más centrada y cuales se encuentran en la periferia de la red. Para analizar la organización urbana de un territorio, este valor es también muy significativo pues muestra también qué zonas podían considerarse los núcleos centrales de un territorio y cuales los territorios más periféricos. Si se observa un mapa claramente más conceptual que no geográfico como la Tabula de Peutinger (Bosio, 1983), es posible visualizar claramente el rol o la importancia de situar la ciudad más importante en el centro de una red (fig. 3). A pesar de la larga tradición de estos cálculos en distintas disciplinas, su aplicación en arqueología ha sido limitada (Mills, 2017). Aunque también es cierto que su aplicación ha aumentado en las últimas décadas (Carreras y de Soto, 2010; Brughmans, 2010; Collar *et al.*, 2015).



Fig. 3.—Reproducción de la Tabula de Peutinger con Roma en una posición central de las comunicaciones terrestres del Imperio romano. <https://www.mifami.org/eLibrary/PeutingerMapLabels-7.6MB.jpg>

ANÁLISIS DE REDES, ACCESIBILIDAD Y ORGANIZACIÓN POLÍTICA

La configuración de una red de transportes depende en muchos casos de distintos factores que influyen su construcción y mantenimiento (Laurence, 1999). En el mundo romano, las necesidades militares, las motivaciones económicas y la organización política iban modelando los diseños de las redes de transporte. De este modo, el dinamismo que se vislumbra en la evolución de las calzadas romanas depende en muchos casos del momento político e histórico en el que se van desarrollando.

En el caso de la península ibérica nos interesa especialmente visualizar el resultado de la larga evolución política de este territorio en la red de transportes que se establece ya en un momento avanzado del alto imperio. Utilizando como base de los análisis el valor de centralidad, puede observarse que el territorio peninsular se configuró de forma irregular, con territorios muy bien conectados y algunas áreas significativamente aisladas en la red (fig. 4). Las ciudades y territorios que se encontraban conectados por diversas vías principales o que disponían de puertos fluviales o marítimos veían altamente incrementados sus niveles de conectividad (De Soto, 2019).

Como toda red de transportes, y como ya se ha comentado anteriormente, estas diferencias se debieron a diversas motivaciones entre las que se encontraban las necesidades iniciales de carácter militar, los intereses económicos y, también el diseño político del territorio. La relación entre accesibilidad e interés económico puede observarse a partir de la localización de los principales yacimientos dedicados al prensado de aceite y vino en la península ibérica (Peña, 2010). Obviamente, estos centros productivos se encontraban en los territorios más fértiles de la península

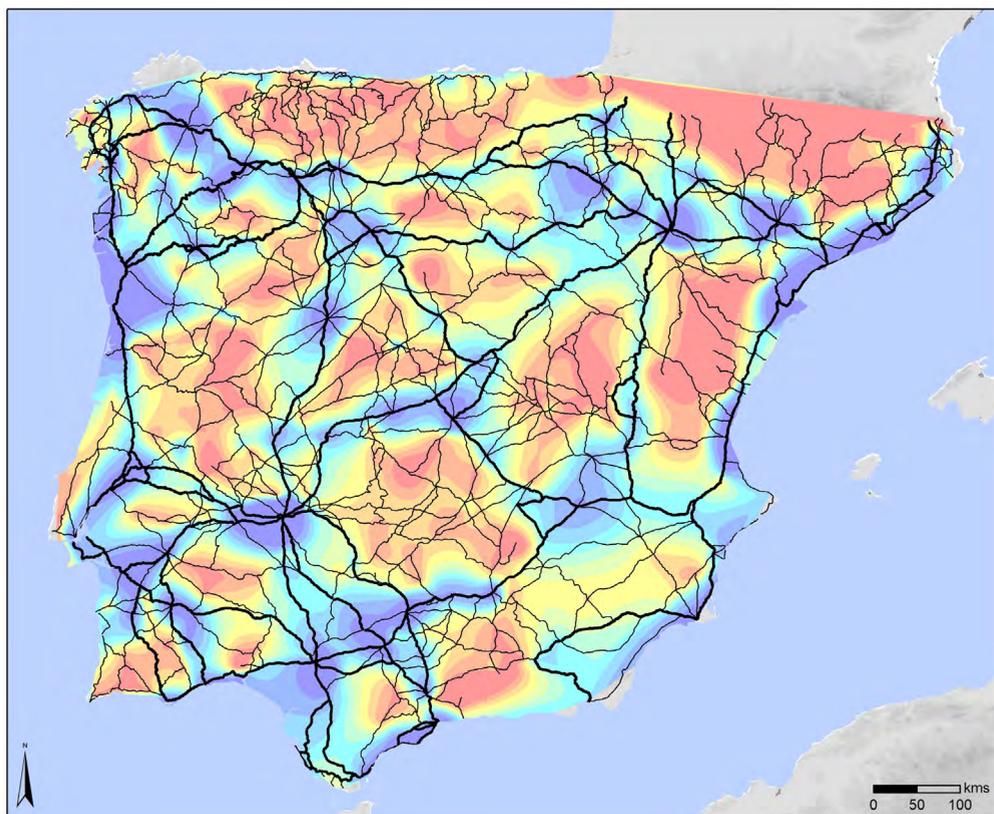


Fig. 4.—Mapa de la accesibilidad de la red de transportes romana en la península ibérica (De Soto, 2019:284).

ibérica, especialmente los valles de los ríos Guadalquivir y Ebro. Destaca que, además de las propicias características para la producción de estos productos, ambos territorios fueron organizados a partir de importantes ejes viarios que los comunicaban con otros territorios peninsulares. *Gracchurris*, *Calagurris*, *Caesaraugusta*, *Ilerda* o *Dertosa* en el valle del Ebro o *Hispalis*, *Astigi* o *Corduba* en el valle del Guadalquivir se configuraron como verdaderos centros comunicativos de esos territorios. Del mismo modo, puede observarse también el interés en organizar una red de transporte bien comunicada en aquellos territorios vinculados a la extracción minera de metales, como en el territorio del noroeste o del sur peninsular (Orejas *et al.*, 2012) (fig. 5).

Al mismo tiempo, que puede observarse la clara influencia del interés económico en el desarrollo de parte de la red viaria ibérica, existen otros territorios bien comunicados que no parecen vincularse únicamente a cuestiones de productividad. Para evaluar la posible relación entre capitalidad política y accesibilidad como otro de los factores determinantes en la estructuración viaria, se ha analizado el papel de ciudades, capitales conventuales y capitales provinciales en la red de

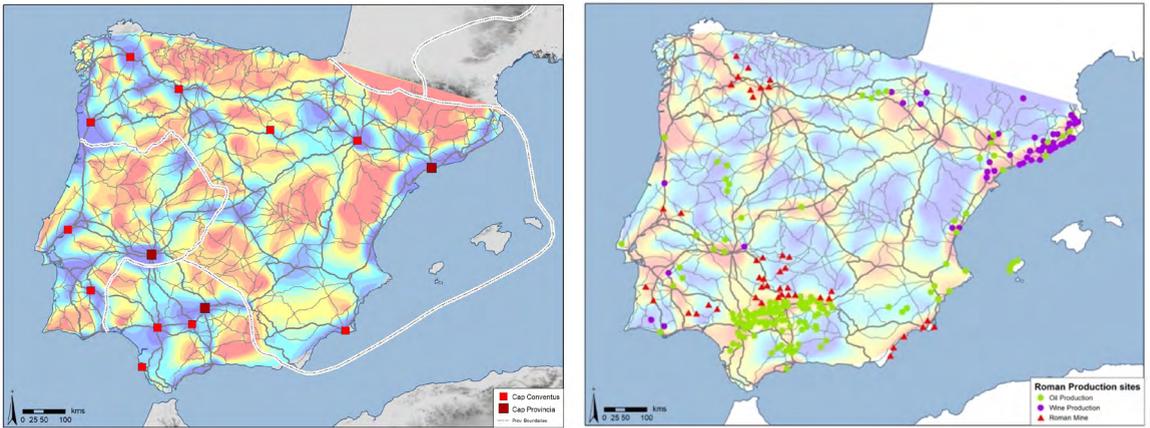


Fig. 5.—Mapas de la accesibilidad de la red romana en la península ibérica y la situación de las capitales de conventus y provincia (izq.) (de Soto, 2019) y la ubicación de las principales zonas productivas (dcha.).

transportes (fig. 6). Como el objetivo de este análisis se centra en el impacto de la función política, no se han tenido en cuenta los enclaves militares. A tenor de los datos que nos ofrecen sus conectividades, puede establecerse que existió en época romana un claro impacto de las decisiones políticas en el diseño de la red. La distribución estadística muestra una clara relación entre el aumento de rol político de las ciudades y su accesibilidad media.

Finalmente, se documentan otros territorios de un alto valor comunicativo que no parecen responder directamente a factores económicos ni a roles políticos, como los territorios de la Meseta central (*Toletum*, *Complutum* y *Caesarobriga*), del actual Albacete (*Saltigi*, *Libisosa*) o de la Meseta Norte (*Salmantica*, *Brigaecium*). Estos territorios, que destacan por su importante ocupación prerromana, parecen responder a necesidades de ordenación del territorio y de fortalecimiento de las comunicaciones terrestres entre territorios peninsulares puesto que se configuraron como cruces estratégicos de rutas principales de transporte.

Parece demostrarse que, los factores políticos y económicos configuraron gran parte del diseño viario peninsular. Las principales zonas productivas así como las ciudades que ostentaron un papel político se beneficiaron de importantes construcciones en infraestructuras y, del mismo modo, los territorios del centro peninsular que ya se habían destacado en época prerromana se acabaron configurando como nodos comunicativos estratégicos.

MULTI-TEMPORAL NETWORK SCIENCE: ENTENDER LA EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE HISTÓRICAS A PARTIR DE LA CIENCIA DE REDES

Dentro de la península ibérica, un territorio interesante por su larga tradición de ocupación romana y por su importante rol en las comunicaciones con el resto

Centralidad y estatus político

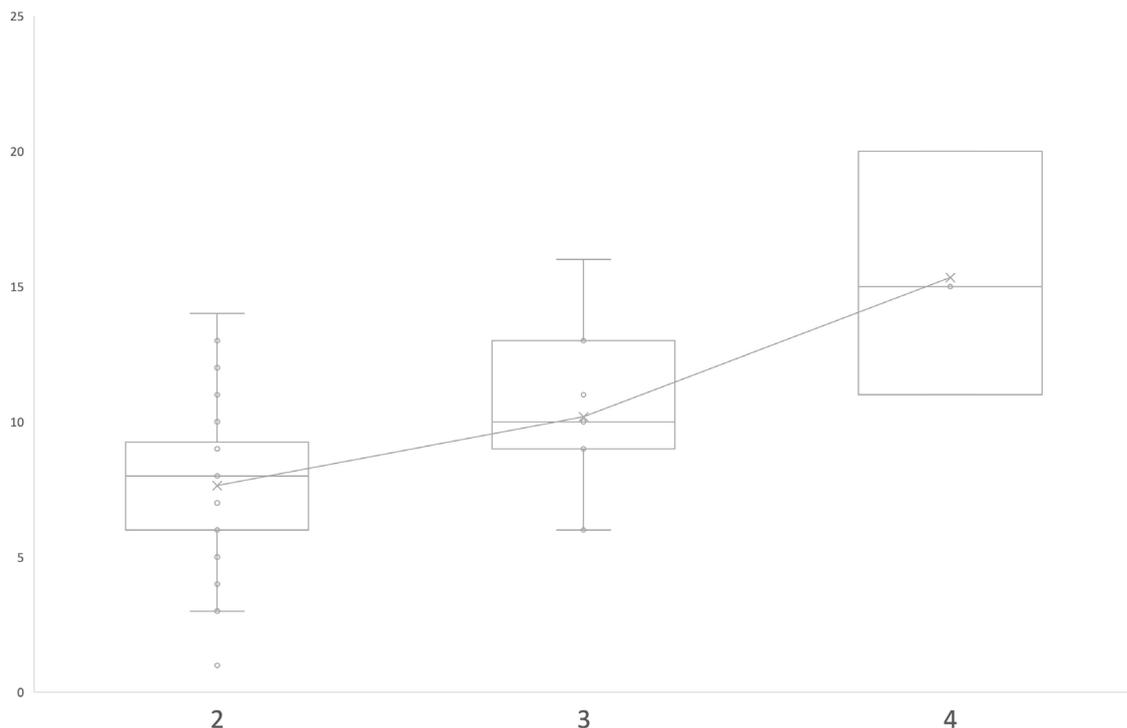


Fig. 6.—Boxplots indicando la centralidad de las ciudades romanas (1), las capitales conventuales (2) y las capitales provinciales (3) de la Hispania romana.

del imperio es el territorio del noreste. Esta zona representó el primer punto geográfico en el que se establecieron contingentes romanos, permitiendo la conexión terrestre hacia el continente y la principal salida marítima hacia el Mediterráneo.

Antes de la llegada de Roma a la península ibérica tenemos muy poca información sobre las vías de comunicación en este territorio. De hecho, el único documento que aporta información fue escrito por Timeo de Tauromenio en el siglo IV a. C. quien describe la existencia de un camino, atribuido a Hércules, que comunicaría los territorios de Italia con los dominios de celtas e íberos (fig. 7).

Dicen que hay un camino llamado de ‘Hércules’ que desde Italia se dirige hacia los celtas, celtoligures e íberos, a través del cual, si viaja un griego o un indígena, es custodiado por los habitantes para que se produzca ningún daño; y que ellos precisamente castigan a aquellos que produzcan daño. Timeo Tauromenion (*Mirabilis Auscultaciones* 85).

Al mismo tiempo, la ocupación de este territorio por distintos pueblos íberos debería justificar la existencia de vías de comunicación entre los principales asentamientos y poblados (Sanmartí y Belarte, 2005; Sanmartí y Santacana, 2001). Lamentablemente, con los datos actuales es muy difícil reconstruir una probable

red de caminos pre-romanos, realizar cálculos y obtener resultados relevantes a partir de la Ciencia de Redes.

En los primeros años de la llegada de Roma a la península ibérica, especialmente durante todo el siglo II a.C., la red de calzadas se construyó para comunicar los dos principales asentamientos urbanizados: la fundación masaliota de *Emporion* en el norte y la fundación romana del siglo III a.C., *Tarraco*, en el sur (fig. 7). Además, como demuestra la existencia de diversos miliarios, también se construyeron vías terrestres que comunicaban distintos enclaves militares. Uno de los casos más evidentes fue la ruta que circulaba por el valle del río Congost, entre las cercanías de la actual ciudad de Vic y algún punto indeterminado de la costa central catalana. En esta vía se han documentado diferentes miliarios que datan alrededor del año 120 a.C. (Lostal Pros, 1992:12-15; Solana Sáinz y Sagredo, 2008). Además, la existencia de otros miliarios en Massalcoreig y Torrente de Cinca (Lostal Pros, 1992:15) con unas cronologías similares permiten también justificar la existencia de un eje viario que comunicaría Tarraco con el valle del Ebro y el Noroeste peninsular. La continuación y romanización durante estos momentos de importantes centros ibéricos como Burriac o Olérdola (Rodà, 2009) seguramente debieron influenciar la localización de algunos ejes viarios, especialmente manteniendo la vía ya descrita por Timeo en el siglo anterior.

La red de transportes en el noreste peninsular experimentó una importante transformación a partir de la política de fundación de ciudades llevada a cabo entre finales del siglo II a.C. e inicios del siglo I a.C. (Guitart, 1994) (fig. 8). Es en este periodo que se reorganiza de forma significativa el territorio hispano (Pina, 1997; Rodà, 2009), como puede observarse en el noreste peninsular con la fundación diversas ciudades romanas nuevas. De este modo, la fundación de ciudades como

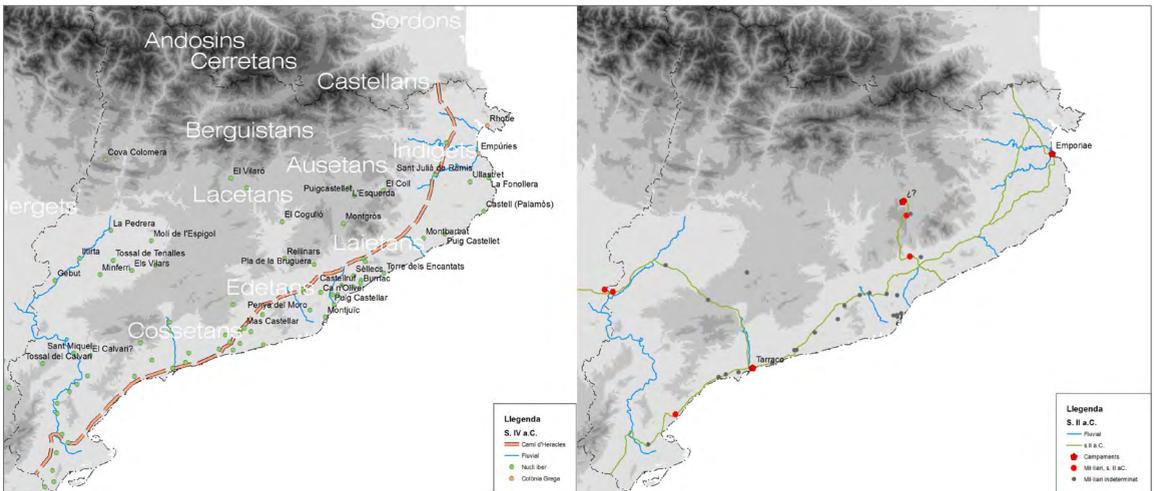


Fig. 7.—Mapa con la ubicación probable del Camino de Hércules (izq.) y con las primeras vías de transporte en el noreste peninsular (dcha.).

Baetulo, Iluro, Emporiae o *Dertosa* en la costa, o *Iesso, Aesso, Auso* y *Iulia Libica* en los Pirineos configuraron el nuevo paisaje urbano de este territorio, pero también la red de comunicaciones. Se puede asegurar, a partir de este momento, que se establece un sistema de transportes más complejo alrededor de este territorio. En este momento se consolida el eje paralelo a la costa mediterránea que circula por el interior con la fundación de *Gerunda*. También se establecen un conjunto de vías secundarias que comunican la costa con el interior y los Pirineos, así como unos ejes transversales que permiten la circulación entre los Pirineos y el Valle del Ebro (De Soto, 2010).

Finalmente, Augusto y por su yerno Agripa llevaron a cabo la última gran transformación viaria de este territorio a partir de la construcción de importantes nuevas ciudades (Rodà, 1999). En un momento especialmente marcado por la consolidación del poder romano en la península, justo después de finalizar las guerras cántabras (29.19 a.C.), las legiones romanas intervendrían en esta región para consolidar también los territorios de retaguardia. De este modo, puede fecharse en esta época la fundación de las últimas ciudades de este territorio como *Caesaraugusta* y *Barcino* (Rodà, 2009:204). También se fecha en este momento la construcción de importantes infraestructuras viarias como el Pont del Diable en Martorell (Izquierdo, 2000). A partir de este momento parece fecharse la consolidación urbana de este territorio y también la red de transportes. Con la fundación de *Barcino*, parece asentarse el tramo costero de la Vía Augusta y la viabilidad del valle del río *Rubricatum* (Llobregat) así como algunos otros tramos viarios de carácter secundario (De Soto, 2010).

La red de transportes en este territorio se transformó significativamente en cada uno de los distintos impulsos urbanísticos que se dieron en este territorio

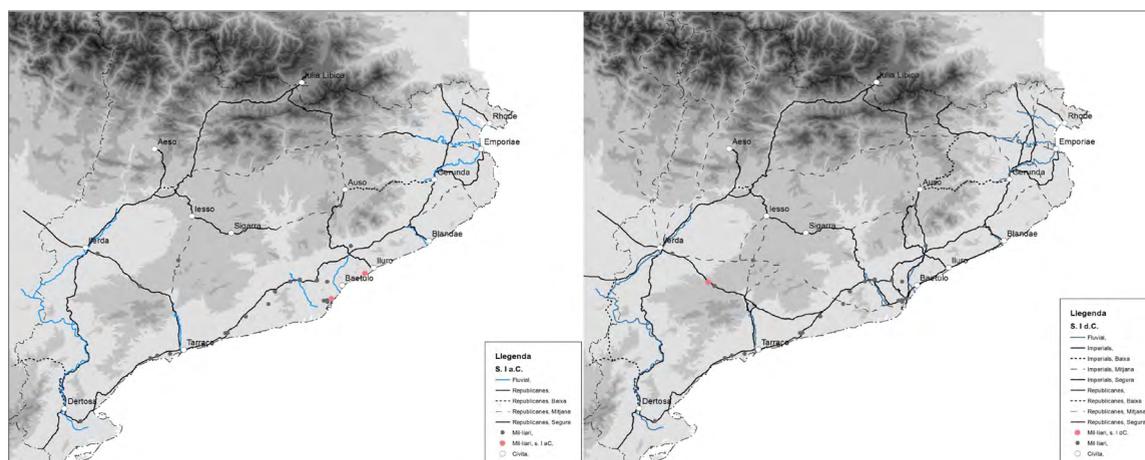


Fig. 8.—Mapa con las vías romanas en época pre-augustea (izq.) y mapa con las vías romanas en época imperial (dcha.).

(figs. 9-11). Analizados a partir de los cálculos de centralidad llevados a cabo con las redes ponderadas de cada período, se puede establecer una evolución significativa en las estructuras comunicativas. Así, en un momento inicial, a partir de la llegada de Roma, se puede observar el papel principal de las dos primeras ciudades fundadas dentro de la red de transporte en este territorio (fig. 9). Además, entre esas dos ciudades principales, puede observarse desde el momento inicial el papel primordial de *Tarraco* dentro de la red. Dentro de esta estructura, *Tarraco* ostentaba el mayor grado de conectividad (*centrality*) debido al mayor número de conexiones y a la importancia de las mismas (con grandes rutas marítimas y vías principales). Del mismo modo, *Tarraco* también se configuró como el nodo viario con mayor valor de intermediación y de cercanía. Así, para circular por la red del noreste peninsular, *Tarraco* representaba un punto obligado de paso (*betweenness*) y un nodo cercano al resto de la red de este territorio (*closeness*).

Con la fundación de diversas nuevas ciudades y el cambio significativo en la construcción y mantenimiento de vías romanas, se puede observar cómo, a pesar del gran aumento en el número de vías y en la complejidad de las comunicaciones, *Tarraco* siguió manteniendo el rol principal dentro de la red de transportes (fig. 10). Además de *Tarraco*, las ciudades de *Gerunda* e *Ilerda* también se configuraron como nodos importantes dentro de la red de transportes. De este modo, los cálculos realizados a partir de la estructura de la red muestran el papel estratégico y preponderante de *Tarraco*, *Gerunda* e *Ilerda*. Estas tres ciudades se configuraron como los núcleos urbanos más y mejor conectados de toda la red. En este nuevo diseño organizativo del territorio, destaca notoriamente el cambio en la situación comunicativa de la ciudad de *Emporion* que quedó relegada a una situación totalmente secundaria respecto a su situación anterior.

Finalmente, es muy interesante observar el cambio en la morfología de la red de transportes a partir de la intervención y reestructuración de Augusto con la fundación de *Barcino* (fig. 11). La colonia *Iulia Augusta Faventia Paterna Barcino*,

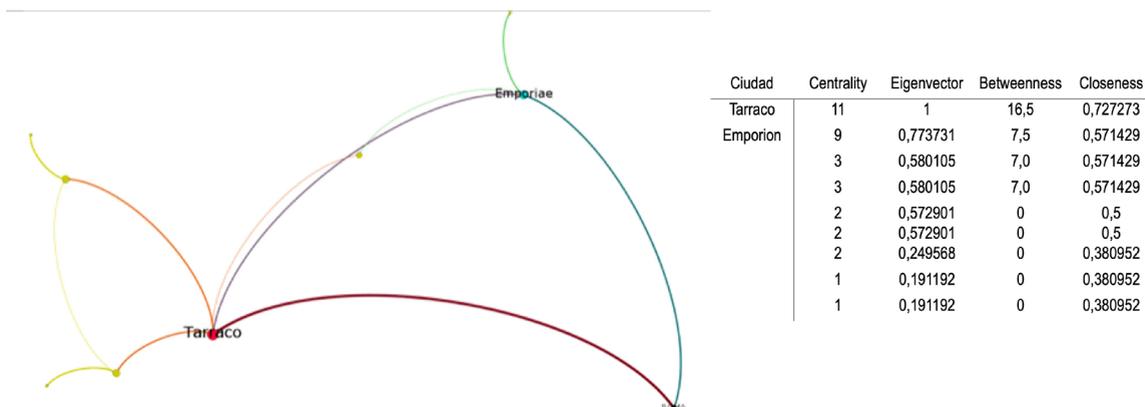


Fig. 9.—Esquema de la red de comunicaciones en el noreste peninsular durante el siglo II a. C. y los resultados del análisis de redes.

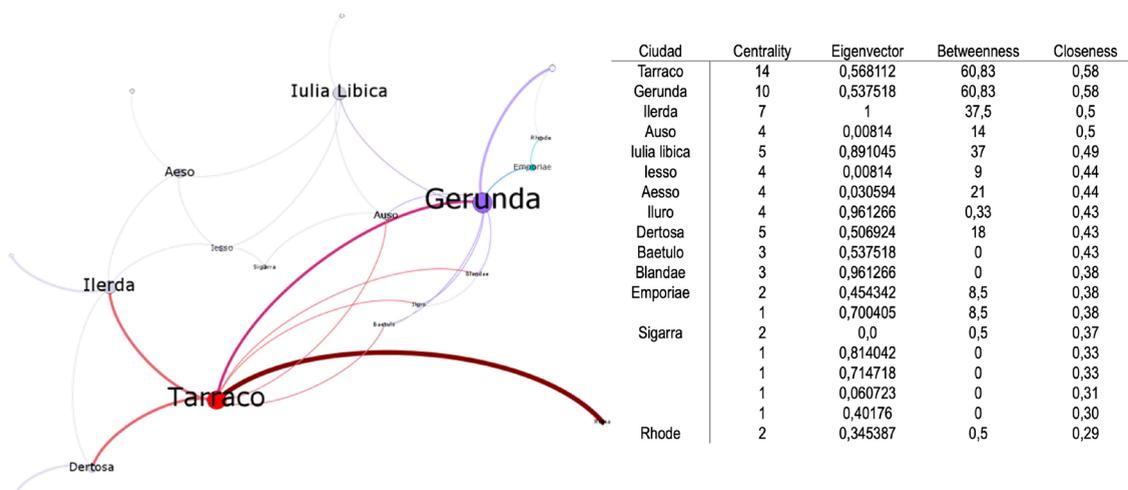


Fig. 10.—Esquema de la red de comunicaciones en el noreste peninsular a finales del siglo I a. C. y los resultados del análisis de redes.

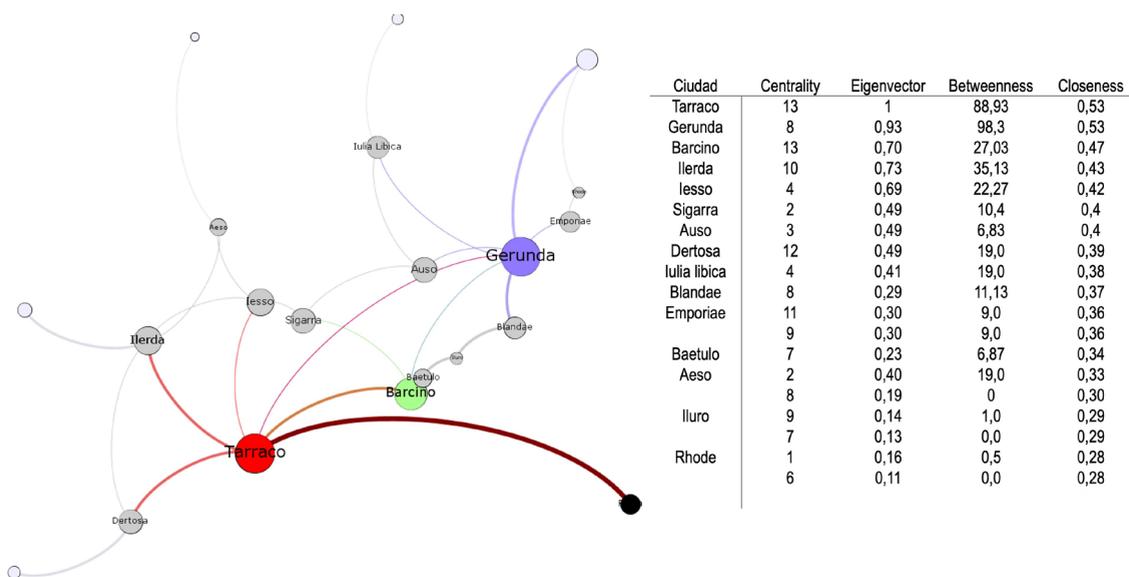


Fig. 11.—Esquema de la red de comunicaciones en el noreste peninsular después de las reformas de Augusto y los resultados del análisis de redes.

se funda en este momento a escasa distancia de otras ciudades ya establecidas casi 100 años antes, pero ubicadas en la periferia estructural de la red. De este modo, Barcino se situó a escasos 10 km de *Baetulo* y a menos de 30 km de *Iluro*. Esta nueva estructuración de la red, que afectó significativamente a la gestión económica del territorio, también afectó a la estructura de la red. A pesar de la cercanía de Barcino a ciudades con un rol secundario en las redes de transporte, no puede negarse el impacto de la construcción de esta ciudad y sus infraestructuras en el diseño de las comunicaciones. De este modo, la ciudad creada *ex novo* pasó a ocupar directamente la cuarta posición como ciudad mejor conectada del territorio.

Los análisis temporales realizados sobre la red de transportes han mostrado la evolución diacrónica en las conectividades de las distintas ciudades del noroeste peninsular durante las distintas fases de época romana. Quizás uno de los aspectos más interesantes que se desprenden de estos análisis es la continuidad de algunas ciudades, desde su fundación, como nodos principales de la red de transportes. Así, núcleos como *Gerunda* o *Ilerda*, y especialmente *Tarraco*, parecen haber mantenido desde los inicios del diseño viario, una posición preponderante en las comunicaciones de este territorio. Del mismo modo, sucedió algo parecido con la ciudad de *Barcino*, último asentamiento en ser fundado en el noreste peninsular pero que participó activamente en la estructura de la red de transportes. Quizás no por casualidad, este papel principal que tuvieron estas ciudades en la red de comunicaciones de época romana les permitió continuar configurándose como ciudades estratégicas en muchos otros momentos históricos y mantener su posición de privilegio en épocas posteriores. Podría ser, por lo tanto, que la posición clave en política, economía, pero también en las relaciones geográficas favoreciese su importante rol político, mantenido hasta la actualidad.

Otro aspecto interesante de los datos obtenidos es la posibilidad de analizar geográficamente la distribución de los datos cuantificados obtenidos (fig. 12). Si se analiza la distribución y estructura de los resultados puede observarse un patrón en la distribución de la conectividad de las ciudades particular. En el noreste peninsular se desarrollaron hasta 3 modelos distintos de conectividad repartidos geográficamente de forma basta clara. A partir de un mapa interpolado puede observarse que, cuando la red de comunicaciones ya está totalmente construida, ciudades como *Tarraco*, *Ilerda* y *Dertosa* se configuraron como verdaderos nodos de aglutinación. Su ubicación directamente sobre el trazado de la calzada más importante de su área y su importante rol de ordenación territorial limitaron un desarrollo periférico de nuevos asentamientos y una red de comunicaciones que comunicase todo su entorno. Estas tres ciudades concentraron todas las conexiones de larga y media distancia sin permitir que se crearan pequeñas conexiones de corta longitud ni que se crearan redes de transporte a su alrededor. Todas las vías que se construyeron se dirigían o partían de estas tres ciudades. Un caso totalmente distinto pudo observarse en los territorios de *Barcino* y *Gerunda*. Estas ciudades se fundaron cuando ya existían otras ciudades a sus alrededores y una red de comunicaciones en los territorios colindantes. En el caso de *Gerunda*, hacía ya más de una centuria del asentamiento romano en la colonia griega de *Emporion*, y en el momento de la fundación de

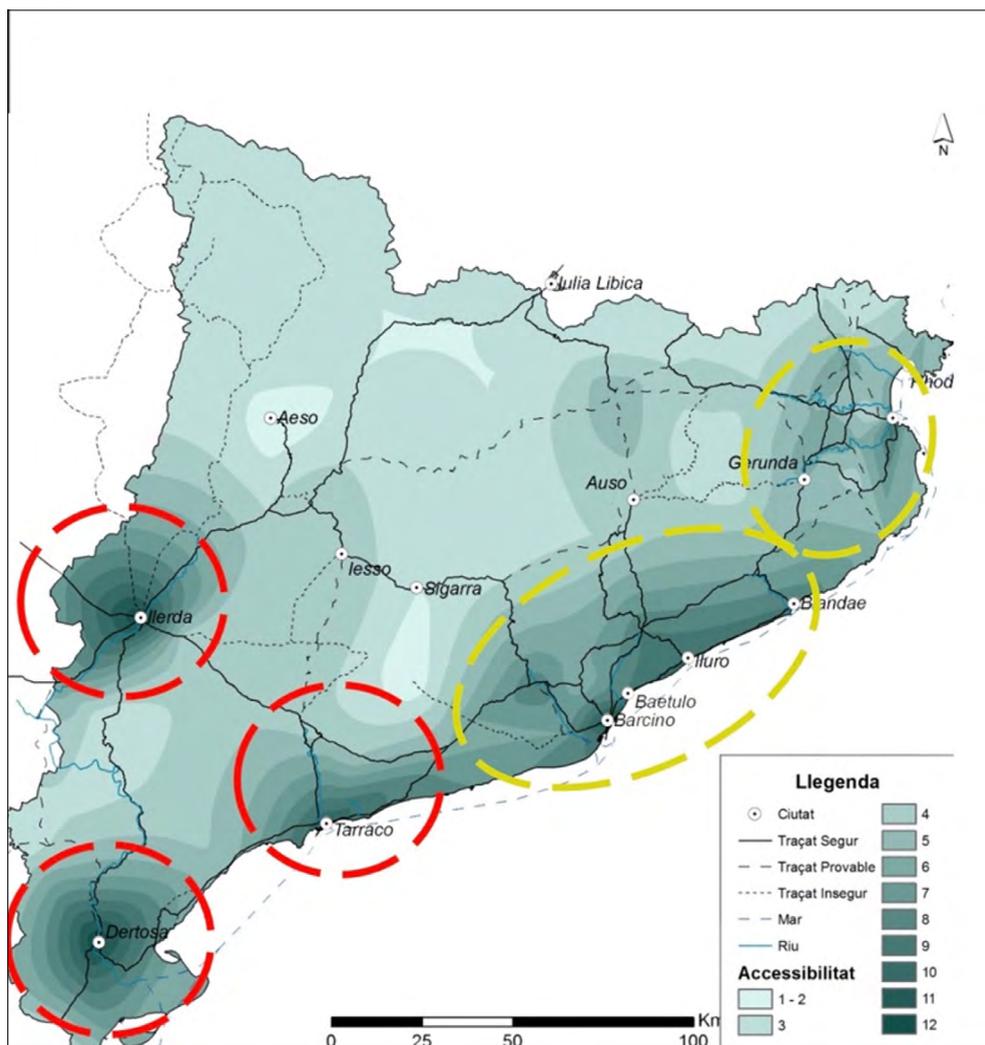


Fig. 12.—Resultados de los análisis de centralidad de la red romana definitiva después de las reformas de Augusto (de Soto, 2010).

Barcino, ya existían otras ciudades como *Baetulo*, *Iluro* u otros asentamientos como Granollers. Este sustrato urbano y la preexistencia de una red de calzadas originó un modelo distinto donde, además de unas ciudades altamente conectadas a la red y ubicadas en posiciones estratégicas, se desarrolló una red de vías de comunicación a su alrededor. Finalmente, un modelo diametralmente opuesto a los dos casos anteriores lo encontramos en los territorios montañosos del Pirineo y Prepirineo. En estos territorios, las ciudades romanas no tuvieron una gran conectividad. Esta circunstancia estuvo fuertemente influenciada por la posición geográfica de las ciudades y por las dificultades para construir rutas de montaña (Carreras *et al.*, 2019). En el caso de la península ibérica, se vislumbra como los condicionantes geográficos limitaron la conectividad de los asentamientos, así como su posible

elección como núcleos con funcionalidades políticas puesto que ninguna de las capitales provinciales o conventuales se ubicaron en zonas de montaña.

En definitiva, los análisis realizados a partir de los distintos valores de centralidad sobre la red de comunicaciones permiten vislumbrar la organización estructural de un territorio. La posibilidad de aplicar estos cálculos en distintos períodos históricos genera, además, un enriquecimiento diacrónico a estos análisis que permite identificar las continuidades y las diferencias en los posicionamientos estratégicos de cada territorio. Si seguimos el concepto medieval de que ‘todos los caminos llevan a Roma’ y analizamos a qué territorios llevaban las vías de transporte en cada momento, podremos interpretar cuáles eran las ciudades y territorios más importantes a nivel político, económico y social, en cada momento histórico.

ANÁLISIS DE REDES PARA ENTENDER EL FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES DE TRANSPORTE HISTÓRICAS

Quizás uno de los principales problemas de la arqueología moderna cuando analiza el pasado es la diferencia conceptual del espacio-tiempo entre períodos históricos. Desde la perspectiva moderna satelital, tenemos una visión completa, rápida y precisa de la realidad geográfica que nos envuelve. Muy rápidamente somos capaces de detectar, en un simple abrir y cerrar de ojos, las probables rutas óptimas, los atajos y los caminos más cortos. Este conocimiento que nos ofrecen especialmente los datos espaciales no podía ser similar en tiempos pasados. Sabemos que las fuentes principales de conocimientos en la antigüedad se heredaban, perfeccionaban o actualizaban de generación en generación. Además, nuestra realidad cotidiana de movilidad, con vehículos que nos permiten recorrer largas distancias en muy poco tiempo y transportar mercancías desde cualquier parte del mundo a un coste reducido nos aleja aún más de las realidades antiguas.

Es por este motivo que parece necesario intentar reconstruir y visualizar cómo pudo ser la realidad del transporte, en nuestro caso, durante la época romana. Para conseguir este objetivo, ya ha habido algunos intentos de modelar los costes de transporte a partir de cálculos de coste-distancia en distintos períodos históricos (Braudel, 1966; Madrazo, 1984) y, desde hace ya algunas décadas, también en época romana (Carreras, 1994; De Soto, 2010; Scheidel, 2014). Estos cálculos complementan distintos acercamientos metodológicos recientes que se han realizado para cuantificar y entender el transporte y comercio romanos (Meijer y Van Nijf, 1992; Adams, 2007; Bowman y Wilson, 2009; De Callataÿ, 2014).

Para tal objetivo, los recursos informáticos actuales nos ofrecen unas herramientas extraordinarias para modelar (crear modelos) que simulen aproximadamente el funcionamiento de los sistemas de transporte con mayor o menor complejidad para obtener patrones generales de movilidad y distribución⁴. Esto significa que

4. El proyecto ORBIS (<https://orbis.stanford.edu/>) de la universidad de Stanford es quizás uno de los únicos y más interesantes referentes a nivel internacional sobre la aplicación de estas metodologías abiertas a toda la sociedad en un entorno on-line.

aunque sea posible calcular el coste (en tiempo o económico) de un solo trayecto de la Antigüedad, este valor nunca será representativo de la realidad romana, mientras que los resultados más verosímiles y significativos se obtienen del cálculo probabilístico obtenido de computar numerosos análisis obteniendo una visión estructural del pasado. Del mismo modo, desde nuestra experiencia, los resultados que más información aportan son aquellos que analizan los datos de viajes desde un punto de origen hacia el resto de la red analizada, obteniendo de este modo patrones de distribución comparables. Estos patrones permiten cuantificar las similitudes y diferencias en las rutas y áreas de transporte desde diferentes orígenes.

La creación de un modelo funcional de estas características se basa en dos elementos principales. En primer lugar, disponer de una red de comunicaciones digitalizada que incluya todos los medios de transporte disponibles. En el caso de la época romana, este sistema debe incluir la extensa red de calzadas romanas, el trayecto navegable de las cuencas fluviales y, finalmente, las conexiones marítimas entre puertos. Obviamente, cuanto más detallada sea la red digitalizada mejores y más precisos resultados ofrecerá el modelo. En segundo lugar, es necesario calcular unos valores de costes (económicos y temporales) para cada medio de transporte por cada kilómetro recorrido. La obtención de estos valores requiere de un cálculo complejo basado en informaciones textuales y epigráficas antiguas, así como la comparación con datos históricos de otros periodos e informaciones etnográficas (Carreras y de Soto, 2010). Los costes y velocidades de los distintos medios de transporte antiguos han sido continuamente analizados en la historiografía arqueológica ya desde que Yeo (1946) destacó el papel del transporte marítimo en comparación con los costes del transporte terrestre. Desde entonces, diversos investigadores han analizado y cuantificado las diferencias en los costes y velocidades de los distintos medios de transporte romano (Duncan-Jones, 1974; Künow, 1980; Deman, 1987; Scheidel, 2014) (tabla 1).

TABLA 1
CUADRO CON LAS RATIOS DE COSTES DE TRANSPORTE

	<i>Duncan-Jones (1974)</i>	<i>Künow (1980)</i>	<i>Deman (1987)</i>	<i>Carreras y de Soto (2010)</i>	<i>Scheidel (2014)</i>
Mar	1	1	1	1	1
Río	4,9	5,9	5,8	3,4/6,8	5/10
Terrestre	56	62,5	39	50,72	52

La combinación de los datos geográficos de la red de transportes con los valores de costes y velocidades por distancia recorrida gracias a Sistemas de Información Geográfica u otras tecnologías de la información, permite crear nuevos modelos de circulación y de distribución de mercancías (fig. 13).

Aunque las diferencias substanciales entre los distintos medios de transporte es una realidad que ya percibían los mismos romanos (Plin. *HN* XIX, 3-4; Greg.

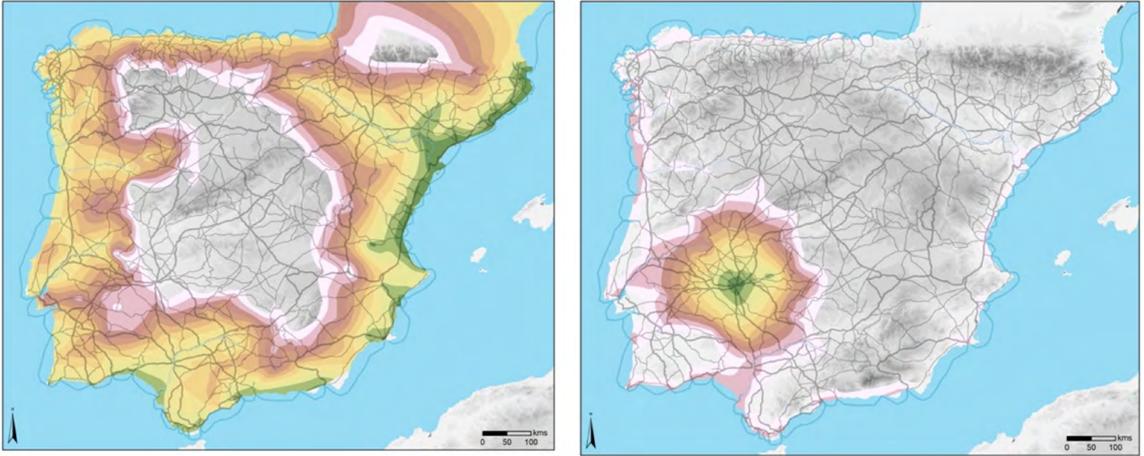


Fig. 13.—Mapa de los costes de transporte desde Tarraco (Izq.) y Augusta Emerita (dcha).

Naz. *Or.* 43), los resultados obtenidos nos permiten cuantificar y comparar las particularidades económicas derivadas de la situación geográfica de cada territorio.

El caso de la península ibérica resulta especialmente interesante y ha sido tratado ya con anterioridad desde distintos enfoques (Carreras y de Soto, 2013; de Soto, 2019; de Soto y Carreras, 2021; Carreras y de Soto, 2022). Si se analizan las características de dos capitales provinciales ubicaciones geográficas diferentes, puede observarse la situación privilegiada de Tarraco, ciudad ubicada en la costa mediterránea y su largo alcance de transporte con costes moderados. Ante unos mismos valores de costes de transporte, puede observarse como la facilidad para acceder a determinados medios de transporte influenciaba enormemente las capacidades de un territorio para proveerse de mercancías o para exportar los productos excedentes. También es interesante resaltar cómo esta diferencia en los posibles límites de distribución no condicionaba en determinadas ocasiones la llegada de productos lejanos. En el caso de la *Colonia Iulia Augusta Emerita*, su capitalidad política impulsó la necesidad de embellecer la ciudad (Nogales y Álvarez, 2003) y de proveer a sus ciudadanos con productos de todo el Mediterráneo a pesar de sus altos costes (Bustamante, 2005). En cualquier caso, las diferencias entre territorios costeros y territorios interiores eran especialmente destacadas y reflejan perfectamente la posición privilegiada de algunas de las áreas más productivas peninsulares en época romana como los valles de los ríos Ebro y Guadalquivir o la costa del levante (de Soto, 2019).

CONCLUSIONES

A través de este artículo se ha intentado mostrar algunas de las aplicaciones que pueden realizarse con Análisis de redes para mejorar la comprensión sobre

las redes de transporte romanas. Entender y calcular la morfología de estas redes y su evolución pueden permitir visualizar algunas de las motivaciones que llevó a los gobernantes de Roma a diseñar la estructura viaria que se ha conservado. Es interesante observar las coincidencias entre capitalidad política e inversión en infraestructuras del mismo modo que también merece la pena resaltar los esfuerzos por mantener unas buenas conexiones de aquellos territorios que concentraron la productividad en Hispania. Esta buena comunicatividad, también justificada en los costes de transporte, no en relación con el resto de la península sino más bien con el Mediterráneo nos permite proponer que la principal motivación de este diseño de comunicaciones favoreció el transporte hacia la metrópolis, Roma, en mayor medida que hacia otros territorios del interior peninsular.

Al mismo tiempo, y aunque se haya tratado de una forma un poco más breve debido a que ya existen otras publicaciones que han abordado esta temática (de Soto, 2019, Carreras y de Soto, 2013), también nos ha parecido pertinente incluir en este artículo un pequeño esbozo sobre la utilidad de los análisis de redes aplicados a los costes, en tiempo y económicos, del transporte romano. Estos análisis, sin olvidar que se trata de modelos informáticos, permiten proponer de una forma cuantificada y comparada las diferencias significativas en el impacto que la situación geográfica y las redes de comunicaciones podían afectar a las economías de cada territorio. Esta realidad que ya había sido identificada por los propios ciudadanos romanos, puede ser ahora presentada de una forma estandarizada y cuantificada. Las comparaciones de estos resultados con el registro arqueológico permiten interpretar desde un nuevo punto de vista las políticas romanas sobre el abastecimiento de determinados territorios.

En definitiva, mucho se ha avanzado desde que Leonard Euler se aproximó a la problemática de Königsberg en el siglo XVIII. Sin duda los avances informáticos nos han permitido aumentar la complejidad de los cálculos y su representación gráfica. Del mismo modo, estos cálculos ya no se circunscriben únicamente al campo de las matemáticas, sino que se aplican satisfactoriamente en muchas disciplinas entre ellas, la arqueología.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, C. (2007): *Land transport in Roman Egypt: a study of economics and administration in a Roman province*, Oxford University Press, Oxford.
- ARNAUD, P. (2005): *Les routes de la navigation antique. Itinéraires en Méditerranée*, Paris.
- BARRAT, A., BARTHELEMY, M., PASTOR-SATORRAS, R. y VESPIGNANI, A. (2004): "The architecture of complex weighted networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111:11, pp. 3747-3752. <https://doi.org/10.1073/pnas.0400087101>
- BOSIO, L. (1983): *La Tabula Peutingeriana. Una Descrizione Pittorica del Mondo Antico*, Maggioli, Rimini.
- BOWMAN, A.S. y WILSON, A. (2009): *Quantifying the Roman economy. Methods and problems*, Oxford University Press, Oxford.

- BRAUDEL, F. (1966): *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, Armand Colin, Paris.
- BRUGHMANS, T. (2010): "Connecting the Dots: Towards Archaeological Network Analysis", *Oxford Journal of Archaeology* 29:3, pp. 277-303. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.2010.00349.x>
- BURFORD, A. (1960): "Heavy transport in classical antiquity", *Economic History Review* 13, pp. 1-18. <https://doi.org/10.2307/2591403>
- BUNGE, W. (1966): *Theoretical Geography*, Royal University of Lund, Gleerup.
- BUSTAMANTE, M. (2005): "Nuevos datos sobre el comercio de Augusta Emerita con Oriente: el caso de las Late Roman C", *Mérida, excavaciones arqueológicas* 11, pp. 535-550.
- CARRERAS, C. y DE SOTO, P. (2010): *Historia de la Movilidad en la Península Ibérica. Redes de transporte en SIG*, Editorial UOC. <https://www.editorialuoc.com/historia-de-la-movilidad-en-la-peninsula-iberica>
- CARRERAS, C. y DE SOTO, P. (2013): "The Roman transport network: A precedent for the integration of the European mobility", *Historical Methods: A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History* 46:3, pp. 117-133. <https://doi.org/10.1080/01615440.2013.803403>
- CARRERAS, C. y DE SOTO, P. (2022): "Los Conventus Iuridici de la Hispania Citerior: una explicación demográfica y espacial", *Pyrenae* 53:2, pp. 65-91. <https://raco.cat/index.php/Pyrenae/article/view/403744>.
- CARRERAS, C., DE SOTO, P. y MUÑOZ, A. (2019): "Land transport in mountainous regions in the Roman Empire: Network analysis in the case of the Alps and Pyrenees", *Journal of Archaeological Science: Reports*, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.04.011>
- CASSON, L. (1971): *Ships and Seamanship in the Ancient World*, Princeton.
- CASSON, L. (1974): *Travel in the ancient world*, London.
- COLLAR, A., COWARD, F., BRUGHMANS, T. y MILLS, B.J. (2015): "Networks in archaeology: phenomena, abstraction, representation", *Journal of Archaeological Method and Theory* 22:1, pp. 1-32. <https://doi.org/10.1007/s10816-014-9235-6>
- COLIZZA, V., PASTOR-SATORRAS, R. y VESPIGNANI, A. (2007): "Reaction-diffusion processes and metapopulation models in heterogeneous networks", *Nature Physics* 3, pp. 276-282. <https://doi.org/10.1038/nphys560>
- DE CALLATAÏ, F. (2014): *Quantifying the Greco-Roman economy and beyond*, Edipuglia, Bari.
- DE SOTO, P. (2010): *Anàlisi de la xarxa de comunicacions i de transport a la Catalunya romana. Estudis de distribució i mobilitat*, Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, Tesis en Xarxa [Tdx]. (<http://www.tdx.cat/handle/10803/5560>)
- DE SOTO, P. (2019): "Network analysis to model and analyse Roman transport and mobility", *Finding the limits of the Limes*, 'Simulating the Past' Series (J.W.H.P. Verhagen, ed.), Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04576-0_13
- DE SOTO, P. y CARRERAS, C. (2009): "La movilidad en época romana en Hispania: Aplicaciones de análisis de redes (SIG) para el estudio diacrónico de las infraestructuras de transporte", *Habis* 40, pp. 303-324. <http://hdl.handle.net/11441/22137>
- DE SOTO, P. y CARRERAS, C. (2015): "GIS and Network analysis applied to the study of the transport in the Roman Hispania", *Proceedings of the XVIIIth International Congress of Classical Archaeology. Centre and Periphery in the Ancient World*, Mérida, pp. 733-738.
- DE SOTO, P. y CARRERAS, C. (2021): "The role of politics in the historical transport networks and the territorial integration of the Iberian Peninsula", *Social Science History*, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/ssh.2021.12>
- DEMAN, A. (1987): "Réflexions sur la navigation fluviale dans l'antiquité romaine", *Histoire économique de l'antiquité* (T. Hackens y P. Marchetti, eds.), Louvain, pp. 79-106.
- DI SALVO, L. (1992): *Economia privata e pubblici servizi nello Impero romano. I corpora navicularium*, Mesina.
- DUNCAN-JONES, R.P. (1974): *The Economy of the Roman Empire: Quantitative Studies*, Cambridge.
- ECKOLDT, M. (1984): "Navigation on small rivers in Central Europe in Roman and medieval Times", *The International Journal*

- of *Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 13, pp. 3-10. <https://doi.org/10.1111/j.1095-9270.1984.tb01172.x>
- EULER, L. (1741): *Solutio problematis ad geometriam situs pertinente*, Euler Archive - All Works 53. <https://scholarlycommons.pacific.edu/euler-works/53>
- FREEMAN, LC. (1979): "Centrality in social networks. Conceptual Clarification", *Social Network* 1, pp. 215-239. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- GRAEME, E. y KEAY, S. (2007): "Urban connectivity of Iberian and Roman towns in southern Spain: a network analysis approach", *Digital Discovery. Exploring New Frontiers in Human Heritage. CAA2006. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 34th Conference, Fargo, United States, April 2006* (J.T. Clark y E.M. Hagemester, eds.), Archaeolingua, Budapest, pp. 77-86. https://proceedings.caaconference.org/paper/cd09_earl_keay_caa2006/
- GRAHAM, S. (2007): "Networks, Agent-Based Models and the Antonine Itineraries: Implications for Roman Archaeology", *Journal of Mediterranean Archaeology* 19:1, pp. 45-64. <https://doi.org/10.1558/jmea.2006.19.1.45>
- GREENE, K. (1986): *The Archaeology of the Roman economy*, London.
- GUITART, J. (1994): "Un programa de fundacions urbanes a la Hispania Citerior del principi I segle I a.C.", *La ciutat en el món romà. Actes del XIV Congrés internacional d'arqueologia clàssica*, Actes I, pp. 205-212.
- HÄGERSTRAND, T. (1967): *Innovation Diffusion as a Spatial Process*, University of Chicago, Chicago Press.
- HAGGETT, P. (1965): *Locational Analysis in Human Geography*, Edward Arnold, London.
- HAGGETT, P. y CHORLEY, R.J. (1969): *Network Analysis in Geography*, Edward Arnold, London.
- HOPKINS, B. y WILSON, R. (2004): "The Truth about Königsberg", *College Mathematics Journal* 35, pp. 198-207. <https://doi.org/10.1080/07468342.2004.11922073>
- HORDEN, P. y PURCELL, N. (2000): *The Corrupting Sea: A Study of Mediterranean History*, Wiley Blackwell, London.
- HOUTEN, P. (2021): *Urbanisation in Roman Spain and Portugal. Civitates Hispaniae in the Early Empire*, Routledge, London.
- ISAKSEN, L. (2006): "Network analysis of transport vectors in Roman Baetica", *Digital Discovery. Exploring New Frontiers in Human Heritage* (J.T. Clark y E.M. Hagemester, eds.), Archaeolingua, Budapest. https://proceedings.caaconference.org/paper/cd08_isaksen_caa2006/
- ISAKSEN, L. (2008): "The Application of Network Analysis to Ancient Transport Geography: a Case Study of Roman Baetica", *Digital Medievalist* 4. <https://doi.org/10.16995/dm.20>
- IZQUIERDO, P. (2000): "Intervenció arqueològica al pont del Diable (Martorell/Baix Llobregat – Castellbisbal/Vallès Occidental). Resultats de la primera fase", *Tribuna d'Arqueologia 1997-1998*, Depart. de Cultura de la Generalitat de Catalunya, pp. 39-53.
- KEAY, S. y GRAEME, E. (2006): "Structuring of the provincial landscape: the towns in central and western Baetica in their geographical context", *La invención de una Geografía de la Península Ibérica* (G. Cruz Andreotti, P. Le Roux y P. Moret, eds.), Diputación de Málaga, Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga (CED-MA), Casa de Velázquez, Malaga, pp. 305-358. <https://eprints.soton.ac.uk/43198/>
- KÜNOW J. (1980): *Negotiator et ventura: Händler und Transport im freiem Germanien*, Marburg.
- LANDELS, J.G. (1978): *Engineering in the Roman world*, Berkeley.
- LAURENCE, R. (1999): *The roads of Roman Italy: mobility and cultural change*, Routledge, Taylor and Francis Group, London, New York.
- LOSTAL PROS, J. (1990): *Los Miliarios de la Provincia Tarraconense*, Institución Fernando el Católico, Zaragoza.
- MEIJER F. y VAN NIJF, O. (1992): *Trade, transport and society in the ancient world: a sourcebook*. Routledge, London.
- MILLS, B. (2017): "Social Network Analysis in Archaeology", *Annual Review of Anthropology* 46, pp. 379-397.
- NACIANCENO, G. *Orationes*. GORDON, C. y EDWARD, J. (trad.) (1894): *From Nicene and Post-Nicene Fathers*, Second Series, vol. 7. (P. Schaff y H. Wace, eds.), Buffalo, NY, Christian Literature Publishing Co.

- NEWMAN, M. (2004): "Analysis of weighted networks", *Physical Review* 70, pp. 056131. <https://doi.org/10.48550/arXiv.cond-mat/0407503>
- NOGALES, T. y ÁLVAREZ, J.M. (2006): "Fora Augustae Emeritae. La "interpretatio" provincial de los patrones metropolitanos", *El concepto de lo provincial en el mundo antiguo: homenaje a la profesora Pilar León Alonso*, vol. I, pp. 419-450.
- OPSAHL, T., COLIZZA, V., PANZARASA, P. y RAMASCO, J.J. (2008): "Prominence and control: the weighted rich-club effect", *Physical Review Letters* 101, pp. 168702. [arXiv:0804.0417](https://arxiv.org/abs/0804.0417)
- OPSAHL, T., AGNEESSENS, F. y SKVORETZ, J. (2010): "Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths", *Social Networks* 32, pp. 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2010.03.006>
- OREJAS, A., SASTRE PRATS, I. y ZUBIAURRE, E. (2012): "Organización y regulación de la actividad minera hispana altoimperial", *Paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica = Ancient Mining Landscapes in the Iberian Peninsula* (M. Zarzalejos Prieto, P. Hevia Gómez y L. Mansilla Plaza, eds.), UNED, Madrid, pp. 31-46. <http://hdl.handle.net/10261/274595>
- OSTBORN, P. y GERDIN, H. (2013): "Network analysis of archaeological data: a systematic approach", *Journal of Archaeological Science* 46, pp. 75-88. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.015>
- PAOLETTI, T. (2006): "Leonard Euler's Solution to the Königsberg Bridge Problem", *Convergence* 3 (<https://www.maa.org/press/periodicals/convergence/leonard-eulers-solution-to-the-koenigsberg-bridge-problem>).
- PEÑA, Y. (2010): *Torcularia. La producción de vino y aceite en Hispania*, Serie Documenta 14, Institut Català d'Arqueologia Clàssica, Tarragona.
- PINA, F. (1997): "Las comisiones senatoriales para la reorganización de Hispania (App. Iber. 99-100)", *Dialogues d'Histoire Ancienne* 23:2, 83-104. <https://doi.org/10.3406/dha.1997.2352>
- PITTS, F.R. (1965): "A Graph Theoretic Approach to Historical Geography", *The Professional Geographer* 17, pp. 15-20. https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1965.015_m.x
- POMEY, P. (1997): *La Navigation dans l'Antiquité*, Paris.
- PREISSER-KAPPELLER, J. y WERTHER, L. (2018): "Connecting Harbours. A comparison of traffic networks across ancient and medieval Europe", *Harbours as object of interdisciplinary research* (C. von Carnap-Bornheim, F. Daim y P. Ettel, eds.), RGZM Tagungen 34, Mainz, pp. 7-31. <https://arxiv.org/abs/1611.09516>
- RICKMAN, G.E. (1980): "The grain trade under the Roman empire", *The seaborne commerce of the Ancient Rome: Studies in Archaeology and History* (J.H.D'Arms y E.C. Kopff, eds.), *Memoirs of the American Academy in Rome* 36, Roma, pp. 261-275 <https://doi.org/10.2307/4238709>
- RODÀ, I. (1999): "El papel de Agripa en la trama urbana de la Hispania Augustea", *Los orígenes de la ciudad en el Noroeste hispánico* (Lugo 1996), Vol. I, pp. 276-293.
- RODÀ, I. (2009): "Hispania en las provincias occidentales del Imperio durante la República y el Alto Imperio: una perspectiva arqueológica", *Hispaniae. Las provincias hispanas en el mundo romano* (J. A. Pintado, J. Cabrero e I. Rodà, eds.), Serie Documenta 11, Tarragona, pp. 193-222.
- ROUGÉ, J. (1966): *Recherches sur l'organisation du commerce maritime en Méditerranée sous l'empire Romain*, Paris.
- SANMARTÍ, J. y BELARTE, C. (2001): "Urbanización y desarrollo de estructuras estatales en la costa de Cataluña (siglos VII-III a.C.)", *Entre celtas e iberos: las poblaciones protohistóricas de las Galias e Hispania* (L. Berrocal y P. Gardes, coords.), Casa de Velázquez Real Academia de la Historia, pp. 161-174.
- SANMARTÍ, J. y SANTACANA, J. (2005): *Els ibers del nord*, Barcelona.
- SCHEIDEL, W. (2014): "The shape of the Roman world: Modelling imperial connectivity", *Journal of Roman Archaeology* 27, pp. 7-32. <https://doi.org/10.1017/S1047759414001147>
- SOLANA SÁINZ, J.M. y SAGREDO, L. (2008): *La política viaria en Hispania, siglos I-II d.C.*, Universidad de Valladolid.
- TACOMA, L. y LO CASCIO, E. (2016): "Writing Migration", *The Impact of Mobility and Migration in the Roman Empire: Proceedings of the Twelfth Workshop of the International Network Impact of Empire* (Rome, June 17-19, 2015), Brill, London, pp. 1-14. https://doi.org/10.1163/9789004334809_002

- UITERMARK, J. y VAN MEETEREN, M. (2021): “Geographical Network Analysis”, *Tijdschrift voor economische en Sociale Geografie* 112, pp. 337-350. <https://doi.org/10.1111/tesg.12480>
- YEO, C.A. (1946): “Land and sea transport in imperial Italy”, *Transactions and Proceedings of the American Philological Association* 77, pp. 221-44. <https://doi.org/10.2307/283459>

