



La elección de Madrid como capital de España -capricho regio o decisión racional

Federico Pablo-Martí, Ángel Alañón-Pardo y Rafael Myro Sánchez

La elección de Madrid como capital por Felipe II ha sido objeto de controversia tanto por el hecho en sí como por las implicaciones que ha tenido en el desarrollo posterior del sistema español de comunicaciones. Una gran parte de los estudios realizados sobre el tema hasta la fecha adolecen desde nuestro punto de vista de varias importantes limitaciones: en primer lugar, sufren de la falacia del historiador al valorar las decisiones tomadas con una perspectiva actual y no con la información de que se disponía en ese momento; en segundo lugar, se basan en una documentación histórica de la red de comunicaciones incompleta, sesgada e inadecuadamente interpretada; finalmente, la valoración se realiza considerando los posibles alternativas de capital de forma independiente en lugar de hacerlo con una perspectiva integrada que considere las relaciones topológicas entre poblaciones.

En este trabajo se intenta dar respuesta a estas deficiencias mediante una revisión exhaustiva de los mapas e itinerarios de la época y la aplicación de análisis de redes. Una de las principales novedades del trabajo es que las conclusiones no solo se basan en los datos reales sobre caminos y poblaciones sino también en la percepción que de ellos tenían las personas de la época.

La reconstrucción de esta red para su análisis requiere de la recopilación de la máxima información disponible sobre ella. En nuestro caso, hemos utilizado además de los itinerarios de V&M los de (D' Ocampo, 1544), (Estienne, 1552), (Gail, 1563), (Stella & L' Herba, 1564) y (Rowlands, 1576) junto con el mapa itinerario de (Matal & Hogenberg, 1579)¹.

Se optó por no incluir guías de viajero como las de (Münzer & Espinar Moreno, 1496) o (Alvarez, 1551) por considerar que la información que aportaban sobre la estructura de la red no era sistemática, por lo que incorporaría sesgos en la distribución de los caminos. Además, de esta forma podrían ser utilizadas más tarde para comprobar la validez de la red generada.

Aunque la información histórica manejada es amplia, resulta claramente incompleta. Como hemos intentado demostrar con anterioridad, todo el territorio estaba cubierto por una densa red de caminos que permitía alcanzar todas las poblaciones. Obviar este dato

¹ Nos hubiera gustado utilizar también el mapa de (Anonymous, 1530) pero la calidad de las reprográficas disponibles no lo permite y el único ejemplar disponible está en el Museo Correr de Venecia.

implicaría un sesgo que invalidaría en buena medida los resultados que pudieran obtenerse.

Cuando no existe información primaria suficiente para reconstruir una red la única alternativa posible es recurrir a su generación artificial.

Las aproximaciones más habituales al problema han consistido en la aplicación de procedimientos matemáticos para generar enlaces que cumplan determinadas condiciones de proximidad, de forma que la red resultante coincida lo más posible con la evidencia disponible.

Las aproximaciones matemáticas suelen tener un carácter local, basándose en triangulaciones de Delaunay sobre las que se aplican criterios que reduzcan el número de enlaces. La utilización de β -esqueletos resulta útil porque permite generar redes de transporte eficientes, como Delaunay, Gabriel o RNG, con distintas densidades viarias con solo cambiar el valor de β . La densidad de la red está directamente relacionada con la centralidad de grado media que tengan los nodos. (Maniadakis & Varoutas, 2014) (Babu & Manoj, 2016)

Las aproximaciones generales tienen la ventaja de permitir incorporar criterios de coordinación entre nodos en el desarrollo de las infraestructuras (Prignano, Morer, Fulminante, & Lozano, 2016) ABM (Pablo-Martí & Sánchez, 2017)

En los últimos años ha habido un notable desarrollo de las aproximaciones bio inspiradas surgidas tras la recreación de la red de ferrocarril de Tokyo por (Tero et al., 2010) mediante el mohó del fango *-physarum polycephalum-*. Nakagaki 2001 observó las capacidades de computación de este plasmodio para resolver problemas de determinación de caminos óptimos. Los resultados que obtuvo mostraban una estructura equiparable a la real en términos de eficiencia, tolerancia a fallos y coste de transporte. Esta metodología se ha aplicado ampliamente para el análisis de redes de transporte y últimamente también en el análisis histórico (Strano, Adamatzky, & Jones, 2012)(Adamatzky, 2012)(Evangelidis, Tsompanas, Sirakoulis, & Adamatzky, 2015). La evolución de la red viaria española también ha sido analizada mediante mohó del fango por (Adamatzky & Alonso-Sanz, 2011).

El *physarum polycephalum* no es más que una célula con muchos núcleos que es capaz de expandirse para buscar alimento en su entorno. Una vez la alcanza la rodea, y secreta enzimas para digerir la comida, recubriéndola con una acumulación de protoplasma.

Cuando las fuentes de nutrientes están dispersas, el plasmodio forma una red de tubos que las conectan con las masas de protoplasma. La estructura de red protoplasmática generada es óptima, en la medida en que es capaz de alcanzar todas las fuentes de nutrientes y proporcionar un transporte robusto y rápido de nutrientes y metabolitos por el cuerpo del plasmodio (Nakagaki, 2001)(Evangelidis et al 2015).

La habilidad innata para generar redes de transporte similares a las realizadas por los seres humanos se debe al hecho de que el citoplasma oscilatorio del plasmodio es un medio excitable no lineal extendido espacialmente que coincide estrechamente con la dinámica de otros sistemas de acción-difusión, como es el caso de la propia propagación humana (Evangelidis et al., 2015).

A pesar de su probada capacidad para generar redes la aplicación práctica tiene serias dificultades. Para cada simulación se requiere unos dos días para que el plasmodio genere la red, además de ser necesarios controles de humedad y temperatura para su desarrollo.

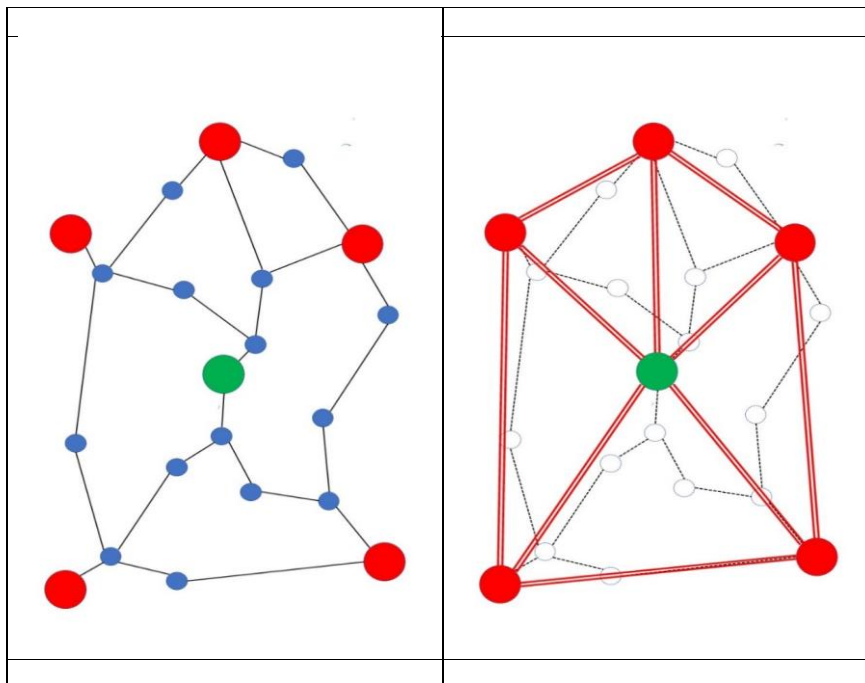
Las simulaciones se realizan en platos de Petri cuyo diámetro no suele ser mayor de 20 cm. de diámetro lo que dificulta la realización de análisis de redes con muchos nodos. Lo habitual es no superar la treintena.

La inclusión en el análisis de condicionantes orográficos, como ríos o montañas resulta también complicada. (Tero et al., 2010) utilizan luz intensa para frenar o impedir el desarrollo del plasmodio. Adamatzky (2016) genera la red sobre superficies 3D. Los resultados muestran una alta sensibilidad de los resultados a las variaciones que la orografía pueden generar en la difusión de los quimio-atrayentes.

Para evitar estos problemas las biosimulaciones están siendo sustituidas por simulaciones por ordenador que utilizan autómatas celulares Adamatzky (2016).

No existe una aproximación que, de forma general, resulte óptima para la recreación de una red histórica, dado que el grado de ajuste observado dependerá no solamente de la conformación de la red, sino también del nivel de detalle utilizado en su representación.

En la figura adjunta, puede apreciarse el efecto de una disminución del número de nodos en un mapa sobre la centralidad de grado. La red de la izquierda representa un mapa con un elevado grado de detalle en el que los nodos tienen una centralidad de grado de dos o tres. Tras la reducción del grado de detalle en el mapa la centralidad de grado de los nodos remanentes aumenta sensiblemente.



Si las variaciones en el detalle del mapa también afectan al número de enlaces considerado, las complicaciones en el análisis aumentan. La incorporación de sendas y caminos de menor calidad supone una densificación de la red y, por lo tanto, un aumento generalizado de la centralidad de grado de los nodos.

En un análisis a escala peninsular con un número de nodos de alrededor de 1.000, como era habitual en los mapas del siglo XVI, el grado de detalle es bastante bajo por lo que parece razonable utilizar también un β bajo. En nuestro caso hemos optado por el valor 0 que genera la red de Delaunay, que es la estructura más general al incluir a todas las otras β -esqueletos. Aproximaciones alternativas como las basadas en el grafo de Gabriel (Gabriel & Sokal, 1969) o en el de vecindad relativa (Toussaint, 1980) fueron desechadas debido a la alta densidad de enlaces que las fuentes históricas señalan para algunas partes de la red.

Las redes obtenidas mediante moho del fango generan redes mucho menos densas, equiparables a los MST (Tero et al., 2010), por lo que no resultan adecuadas para la recreación de caminos de baja calidad entre poblaciones pequeñas sino para redes ferroviarias o de autopistas entre grandes ciudades.

Las redes de (Delaunay, 1934) son una forma adecuada de representar las comunicaciones terrestres pues generan estructuras similares a las que se observan en la realidad debido a sus propiedades de eficiencia (Levcopoulos & Lingas, 1992) (Pablo-Martí & Sánchez, 2017). Con ellas se consigue una accesibilidad parecida a la de las redes completas con una reducida cantidad de caminos. La utilización de un bajo número de caminos para conseguir la comunicación entre las poblaciones no solo reduce los costes de creación y mantenimiento de las infraestructuras sino también eleva el tráfico de los caminos con el consiguiente aumento de la actividad económica y la seguridad.

Otras de las propiedades de la red de Delaunay es la de asegurar que la longitud máxima del itinerario entre dos puntos nunca superará en más de 2,42 veces la distancia euclídea que los separa. Como hemos visto con anterioridad, en un entorno con una elevada diferenciación en las calidades de las vías como el actual, los viajeros pueden preferir realizar itinerarios mucho más largos si con ello obtienen un ahorro de costes. Sin embargo, en el siglo XVI la baja calidad de las vías hacía poco probable que dar un rodeo fuera ventajoso frente al camino directo. Por otra parte, la baja calidad de las vías también hacía que fueran bajos los costes de su construcción de forma que si el camino existente era demasiado largo con facilidad surgían atajos que reducían la distancia elevando la densidad de la red.

Para comprobar si la red de Delaunay constituía un buen predictor de la red viaria se la comparó con la información itineraria disponible en las fuentes históricas.

Para asegurar la comparabilidad de los caminos fue necesario determinar previamente los nodos que se considerarían en el análisis y homogenizar los enlaces.

Respecto a los nodos, se seleccionaron 1096 nodos (NodesS-XVI-2) que representan aproximadamente el 75% de la población peninsular de las coronas de Castilla, Aragón, Navarra y Portugal. Estos nodos están formados por la suma de todas las poblaciones que

aparecen en el mapa de Forlani más las principales poblaciones que se señalan en las fuentes itinerarias utilizadas². No se han incluido algunas poblaciones o asentamientos (ventas, ermitas) cuyas localizaciones exactas no eran conocidas.

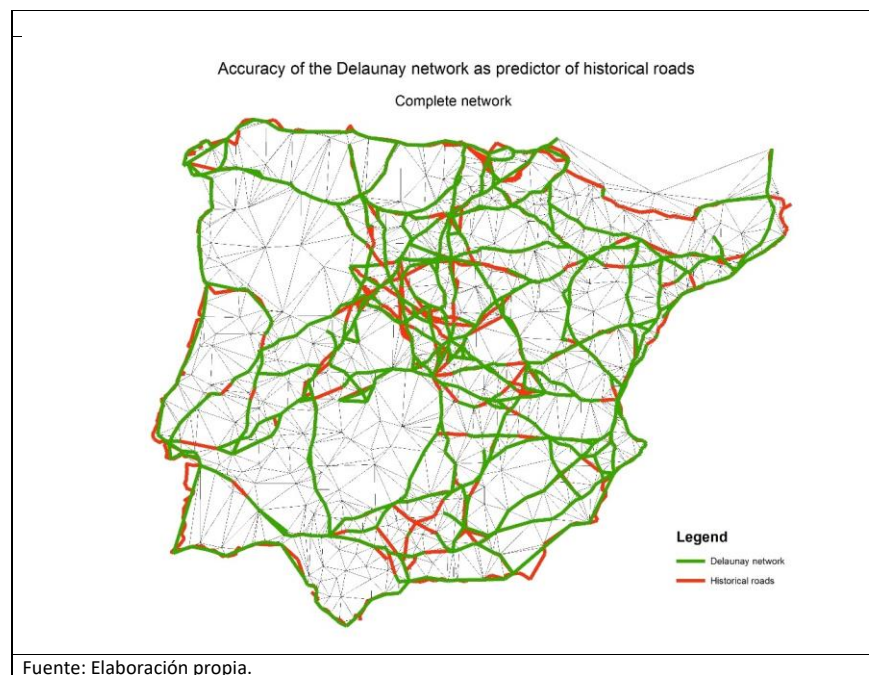
Los caminos que aparecen en las fuentes históricas se adaptaron a los nodos seleccionados, evitando duplicidades. Sin esta simplificación, un camino que aparece descrito en varias fuentes con ligeras diferencias se consideraría como caminos diferentes.

Bajo estas premisas, el número de enlaces posibles entre poblaciones es de 600.060 y el número de enlaces simplificados obtenido a partir de las fuentes históricas fue de X.

La red de Delaunay generada constaba de 3137 enlaces o, lo que es lo mismo, seleccionaba el 0.52% de los posibles.

Esta selección se mostró muy eficaz pues coincidió con 987 enlaces de las fuentes históricas (el X%). En el gráfico adjunto se muestran en verde los tramos de los caminos históricos que fueron eficazmente predichos por la red de Delaunay y en rojo los errores. Nótese que un elevado porcentaje de los tramos que no fueron exactamente predichos no implican que la red generada sea estructuralmente diferente pues los enlaces generados son muy cercanos y prácticamente paralelos a los observados.

Ilustración 1



Fuente: Elaboración propia.

² Por motivos técnicos también se incluyeron algunos cruces de caminos que funcionan como puntos de Steiner y que mejoran la eficiencia y conectividad de la red.

Se realizó un contraste de hipótesis mediante el método de Monte Carlo para determinar la capacidad predictiva de la red de Delaunay en el caso considerado. Teniendo en cuenta que solo una parte de los caminos realmente existentes aparece en las fuentes históricas surgen tres escenarios: El más favorable considera que todos los enlaces generados se corresponden con caminos efectivamente existentes excepto en el caso de los errores comprobados. El menos favorable, que no ha habido más aciertos que los observados. El caso intermedio extrapola el nivel de aciertos obtenido con los caminos históricos con el resto de la red.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la elección de Madrid como capital pudo estar basada en cuestiones de racionalidad no solo política sino también económica. La capitalidad, no solo supuso una evidente mejora para el desarrollo de la villa de Madrid, también resultaba idónea para la mayoría de la sociedad española del siglo XVI desde dos importantes puntos de vista: el de la mejora de la transmisión de la información y el del aumento del tráfico de mercancías.

Comentado [FP1]: El procedimiento no está mal pero no es el ideal. Dice cuantas veces es mejor que un sistema aleatorio pero no la probabilidad del error tipo I y tipo II como sería deseable.