

ESTUDIO MATEMÁTICO DE LA EVOLUCIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED ESPAÑOLA DE ANCHO IBÉRICO 1956-2006

MATHEMATICAL STUDY OF THE EVOLUTION OF THE SPANISH BROAD GAUGE NETWORK 1956-2006

Eugenio Roanes Lozano (a), Luis M. Laita de la Rica (b), Eugenio Roanes Macías (c),
Michael J. Wester (d), José Luis Ruiz Lozano (e), Carlos Roncero Clemente (f)

(a) Departamento de Álgebra, Universidad Complutense de Madrid
eroanes@mat.ucm.es

(b) Departamento de Inteligencia Artificial, Universidad Politécnica
de Madrid laita@fi.upm.es

(c) Departamento de Álgebra, Universidad Complutense de Madrid
roanes@mat.ucm.es

(d) Department of Mathematics and Statistics, University of New Mexico
wester@math.unm.edu

(e) jlrlmv@hotmail.com

(f) Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de Extremadura
croncero@alumnos.unex.es

Resumen: Tras hacer una introducción histórica de la cuestión, los autores resumen aquí un estudio (hecho desde el punto de vista matemático), de la evolución de la topología de la red ferroviaria Española de ancho ibérico en el periodo 1956-2006, que ha sido recientemente publicado en la revista Mathematics and Computers in Simulation. Se muestra como la red ha perdido flexibilidad en este periodo.

Palabras clave: Análisis de Redes Ferroviarias, Teoría de Grafos, Sistemas de Cómputo Algebraico.

Abstract: After introducing the topic from an historical point of view, the authors summarize a mathematical study of the topological evolution of the Spanish gauge railway network in the 1956-2006 period that has recently been published in the journal Mathematics and Computers in Simulation. They show that the network has progressively lost flexibility over this time.

Keywords: Railway Network Analysis, Graph Theory, Computer Algebra Systems.

Perspectiva histórica

Es indudable que se está realizando una impresionante inversión en ferrocarriles en España en los últimos años, tanto en material móvil como en infraestructura (especialmente de ancho internacional para alta velocidad). Ello está repercutiendo claramente en la mejora de los tiempos de viaje y la calidad del servicio de pasajeros.

Sin embargo, la trama de la red española de ancho ibérico (la única por la que, por el momento, se realiza transporte de mercancías) se ha ido haciendo cada vez menos “densa” en el periodo estudiado (1956-2006). Ello es especialmente notorio si la comparamos con la que se hubiera podido contar si se hubieran concluido las líneas que estaban en construcción a finales de los años cincuenta del siglo XX (muchas de ellas iniciadas durante la dictadura del general Primo de Rivera, interrumpidas por la Guerra Civil y retomadas tras la contienda). Algo obvio es la desaparición de líneas de acceso a varias ciudades (por ejemplo, de Soria partían cuatro líneas, de las que queda una con servicio).

Esta evolución se puede apreciar con una simple inspección visual, por ejemplo, de la serie de mapas correspondientes a 1941, 1964, 1976 y 2006 que se incluyen a continuación (reproducidos por gentileza de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles).

En el primero de los mapas (1941) aparecen en verde intenso las líneas en construcción, de las que sólo se concluirían, esencialmente, el directo Madrid-Burgos y el acceso a Galicia por Zamora, abandonándose las obras de grandes líneas muy avanzadas como el Santander-Mediterráneo, la conexión directa de Andalucía Oriental con el Pirineo, o el tercer acceso a Extremadura (por Guadalupe). La situación se agravó considerablemente con los cierres de líneas deficitarias de 1985.







Ello ha provocado la aparición de grandes regiones sin servicio ferroviario, como el rectángulo Cáceres-Mérida-Ciudad Real, el triángulo Almería-Alcázar de San Juan-Murcia (que coinciden con zonas de baja densidad de población y que contienen zonas de alto valor ecológico).

También ha provocado la desaparición de líneas alternativas (muy útiles en caso de interrupción del servicio en una de ellas): acceso a Sevilla de MZA y acceso de Andaluces; Madrid-Medina del Campo por Avila y por Segovia; enlace central con Portugal por Fuentes de Oñoro y por La Fregeneda, etc.

Es curioso como el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT) redescubre, para algunas de las nuevas autovías planeadas, corredores que corresponden con más o menos exactitud a líneas ferroviarias en distintos grados de desuso: Vía de la Plata, Valladolid-Soria, Santander-Mediterráneo, Úbeda-Albacete, Huelva-Ayamonte, Córdoba-Zafra, conexión transpirenaica central, Almería-Cartagena.

Resultados obtenidos

Los autores del presente resumen han publicado recientemente en la revista *Mathematics and Computers in Simulation* (núm. 79, 2009, pp. 2317–2332) un detallado artículo titulado *Evolution of railway network flexibility: The Spanish broad gauge case*, sobre la evaluación objetiva, esto es, desde el punto de vista matemático, de la evolución de la topología de la red de ancho ibérico en España entre 1956 y 2006.

Para ello se recurrió al estudio de la red como un grafo (esto es, abstrayéndola como un conjunto de nodos o vértices –las estaciones, apeaderos, cargaderos, etc.– y de aristas o arcos –que unen dos vértices cuando éstos son adyacentes en la red ferroviaria–).

No se consideraron las duplicaciones, renovaciones, mejoras del trazado o electrificaciones de vías. La evolución, al excluir las aperturas de las líneas de alta velocidad, por ser éstas de ancho internacional, consiste, fundamentalmente, en la desaparición de ramales y la supresión de itinerarios alternativos, con la consecuente eliminación de ciclos (un ciclo es un camino que parte de una estación por una línea y vuelve a la misma por otra línea).

Se ha utilizado una ampliación desarrollada por los autores del paquete especializado en teoría de grafos Networks del lenguaje de cálculo simbólico Maple. Una vez se le han proporcionado los arcos del grafo, este paquete puede calcular, por ejemplo: el número de líneas que parten de una estación; el camino mínimo entre dos estaciones; dada una lista de arcos, el camino mínimo entre dos estaciones que verifique que no incluya ningún arco de la lista dada; dada una estación, un ciclo que pase por cada vértice vecino, para todos aquellos vértices vecinos para los que sea posible; etc.

Como fuentes documentales se utilizaron, esencialmente, mapas y atlas publicados por RENFE y varias editoriales. Así, se han introducido manualmente todos los nodos y las aristas de la red en 1956, 1974, 1989 y 2006, además de los correspondientes a las obras inconclusas.

Como indicadores de la flexibilidad de la red se consideraron el número de ciclos y el número de nodos de orden intermedio (3,4,5), pues un nodo de orden 1 representa una ciudad que es término de una línea, de orden 2 una estación de paso, de orden 3 un empalme, de orden 4 un cruce de dos líneas, etc.

Distinguimos los que denominamos “ciclos independientes” (los considerados habitualmente en teoría de grafos) de los que denominamos “ciclos ferroviarios” (que permiten llegar a una estación por un camino alternativo).

Como resumen de los resultados, hay un estancamiento de la flexibilidad de la red (número de ciclos de ambos tipos) de 1956 a 1974 (la conclusión de las líneas Madrid-Burgos y Zamora-Santiago casi compensa el cierre de otras líneas como La Puebla de Híjar-Tortosa, Valchillón-Marchena, etc.). De 1974 a 1989 disminuye de una manera importante el número de ciclos de ambos tipos. Los resultados son mucho peores si se compara, con la red que se habría obtenido si se hubieran concluido las líneas en obras en 1956 e inacabadas (de 1989 en adelante ha habido sólo pequeños cambios como el corte de la línea Almorchón-Córdoba cerca de esta última ciudad). Ello se resume en la siguiente tabla.

Año/Datos	Nodos	Aristas	Ciclos independientes	Ciclos "ferroviarios"
1956 y no inauguradas	213	267	55	58
1956	200	239	40	43
1974	173	210	38	43
1989	173	204	32	34
2006	169	190	22	23

De modo similar, los números de vértices (estaciones) de órdenes 3,4 y 5, sufren un descenso acusado y progresivo de 1956 a 1989, que se hace aún más significativo si se compara con la red que se habría obtenido si se hubieran concluido las líneas en obras en 1956 e inacabadas. Aumenta el número de vértices de orden 8 de 0 a 1 por la construcción de nuevas líneas de cercanías en Madrid (Universidad Autónoma, Villaviciosa de Odón). Un resumen se puede encontrar en la tabla siguiente.

Año	Orden 1	Orden 2	Orden 3	Orden 4	Orden 5	Orden 6	Orden 7	Orden 8
1956 y no inaugur.	57	31	93	25	6	1	0	0
1956	60	32	82	22	4	0	0	0
1974	49	29	73	17	4	1	0	0
1989	52	34	68	15	2	1	0	1
2006	51	45	60	10	1	1	0	1

Nota y agradecimientos

Queremos subrayar que la obtención de los grafos correspondientes a la red en los distintos años elegidos se ha hecho con la mejor voluntad y a partir de la bibliografía y los conocimientos de los autores. No obstante, no podemos asegurar la inexistencia de errores involuntarios.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a Juan Manuel Jiménez Aguilar, Alberto García Álvarez y Miguel Jiménez Vega, de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, por la información proporcionada y el permiso para reproducir los mapas aquí incluidos.

Este trabajo fue parcialmente subvencionado por los proyectos MTM2004-03175 (Ministerio de Educación y Ciencia, España) y UCM2006-910563 (Comunidad de Madrid - Universidad Complutense de Madrid, Grupo de Investigación ACEIA).