

Biblioteca Ferroviaria



MM05213

III B

1394

ESTRUCTURA TOPOLÓGICA Y EVOLUCIÓN
DE LOS SISTEMAS FERROTRANVIARIOS
HISTÓRICOS ESPAÑOLES

ANTONIO DOMÉNECH CARBÓ

XV PREMIO DE INVESTIGACIÓN DEMETRIO RIBES



GENERALITAT
VALENCIANA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Estructura topológica y evolución de los sistemas ferrocarrilarios históricos españoles / Antonio Doménech Carbó. – 1ª ed. - València: Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat: Càtedra Demetrio Ribes, 2020. – 258 p.: il. col.; 25 cm.

En la port.: XV Premio Càtedra Demetrio Ribes

ISBN 978-84-482-6455-0

1. Infraestructuras ferroviarias - España – Historia
2. – España - Historia-

I. Comunitat Valenciana. Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat ed.

656.2 (460)(091)
(460)(091)

Edita: Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat,
Càtedra Demetrio Ribes

© De la presente edición: Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat,
Càtedra Demetrio Ribes

© De los textos: Antonio Doménech Carbó

© De las fotografías e ilustraciones: Sus autores

1ª ed., 2020

Impresión: Gráficas Papallona

ISBN: 987-84-482-6455-0

D.L.: V-1146-2020

Imagen de portada: Tranvía de la serie 100 circulando por el puente del Mar. Colección Rafael Solaz Albert.

En segundo término, plano de València de la imprenta Ortega, ca. 1900. Colección José Huguet Chanzá.

PRÓLOGO

En un complejo contexto que plantea desafíos nuevos vinculados a la movilidad, resulta imprescindible la aparición de estudios de carácter multidisciplinar orientados a aportar luz al respecto. Es el caso de la presente obra, *Estructura topológica y evolución de los sistemas ferroviarios históricos españoles*, vencedora del XV Premio de Investigación Demetrio Ribes. Su autor, Antonio Doménech Carbó, presenta un análisis pormenorizado del progreso de los sistemas ferroviarios nacionales más significativos, y lo hace con la conciencia de quién sabe que la experiencia pasada es un rico bagaje que ha de proyectarse en soluciones futuras.

La topología, rama matemática que se ocupa esencialmente de la continuidad y sus derivaciones, goza de infinidad de campos de aplicación, como felizmente ocurre en este estudio que, bajo un prisma inédito, invita a la reflexión serena en las competencias de la Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad. Por otro lado, de los textos e imágenes del libro se infiere el protagonismo que el autor ha dado al ámbito valenciano, con un rico repertorio visual que da calor y convive con el lenguaje supuestamente abstracto de las matemáticas.

En resumen, una completa obra que rezuma vigencia y se incorpora a esta consolidada línea editorial que considera la investigación como objetivo primordial de la Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad y de la Cátedra Demetrio Ribes UVEG.

Arcadi España García
Conseller de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
1. MODOS DE DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE	
1.1. Antecedentes.....	17
1.2. Planteamiento.....	18
1.3. Parámetros observacionales.....	20
1.4. Generalizaciones, variables ocultas y gravitación.....	26
1.5. Los paradigmas del transporte.....	28
2. LAS REDES DE TRANSPORTE COMO ESTRUCTURAS TOPOLÓGICAS	
2.1. Introducción. Grafos y conectividad.....	35
2.2. Fractales.....	37
2.3. "Pequeños mundos" y redes libres de escala.....	41
2.4. Parámetros de red.....	41
2.5. Densidad superficial y densidad "música".....	44
3. REGULARIDADES EN EL MARCO OBSERVACIONAL	
3.1. Regularidades isocrónicas.....	49
3.2. Análisis diacrónico.....	56
3.3. Tranvías suburbanos y redes integradas.....	58
3.4. La evolución tecnológica y urbanística.....	60
4. REDES FERROTRANVIARIAS Y ESTRUCTURA URBANA: ALICANTE, VALÈNCIA Y ZARAGOZA	
4.1. Generalidades.....	69
4.2. Una red hemisférica: Alicante.....	70
4.3. Una red radial: Zaragoza.....	75
4.4. Una red dipolar compleja: València.....	79

5. REDES FERROTRANVIARIAS Y ESTRUCTURA URBANA: MADRID, GRANADA, VIGO, VALLADOLID Y BARCELONA

5.1. Una red radial-multipolar: Madrid	93
5.2. Una red suburbana extensa: Granada.....	99
5.3. Un modelo adelantado de red integrada: Vigo	104
5.4. Una red de desarrollo breve: Valladolid.....	105
5.5. Una red en abanico compleja: Barcelona	107

6. ¿UNA TRANSICIÓN TOPOLÓGICA?

6.1. Los sistemas de transporte como redes.....	113
6.2. La topología de las redes ferrotranviarias	114
6.3. El cambio de fase topológico.....	120

7. CRECIMIENTO ALOMÉTRICO Y MODELOS DE NUCLEACIÓN

7.1. Modelos de crecimiento de sistemas geográficos.....	129
7.2. Alometría.....	130
7.3. Alometría y cinética.....	131
7.4. Modelos de crecimiento alométrico desde la perspectiva topológica.....	132
7.5. Modelos de nucleación	137

8. ASCENSO Y DECLIVE, LA APROXIMACIÓN LOGÍSTICA

8.1. Modelos logísticos.....	147
8.2. Ascenso y declive logístico de las redes de transporte	149
8.3. Aproximación logística al régimen fractal	150
8.4. Modelo logístico y redes ferrotranviarias.....	152
8.5. Topología y evolución.....	161

9. GRAVITACIÓN Y TRANSPORTE

9.1. El modelo gravitatorio	165
9.2. El campo gravitatorio físico	166
9.3. El campo de transporte newtoniano.....	169
9.4. Redes urbanas y campo newtoniano	170
9.5. Gravitación y topología	176
9.6. Campos postnewtonianos.....	178
9.7. Gravitación y "pequeños mundos"	180

10. HACIA UNA DESCRIPCIÓN GENERALIZADA DE LAS REDES	
10.1. El significado de los parámetros de red.....	187
10.2. El detalle del crecimiento logístico	189
10.3. ¿Un comportamiento "universal" de las redes ferroviarias?	192
11. HISTORIA Y PROSPECTIVA	
11.1. Historia y actualidad.....	203
11.2. La red FGV de València.....	203
11.3. Comparativa y prospección	209
11.4. Paradigmas y prospectiva	213
11.5. Consideraciones finales	218
Agradecimientos	221
BIBLIOGRAFÍA	223
ANEXO	
Tablas.....	235
Tabla A.1.....	236
Tabla A.2.....	240
Tabla A.3.....	241
Tabla A.4.....	242
Tabla A.5.....	246
Tabla A.6.....	249
Tabla A.7.....	250
Tabla A.8.....	251
Tabla A.9.....	252
Tabla A.10.....	254
Tabla A.11.....	256
Tabla A.12.....	257

INTRODUCCIÓN

El presente libro nace en buena medida de una motivación que pudiéramos denominar sentimental, la de evocar y homenajear a los viejos tranvías que durante más de cien años formaron parte del paisaje físico y humano de nuestras ciudades y pueblos, pero también de una motivación científica, la de estudiar y dar a conocer los aspectos estructurales que acompañan su historia.

En esencia, este trabajo surge de algunas preguntas que podemos trasladar al lector y para las que solicitamos un breve ejercicio fácilmente accesible a través de internet: la comparación de los planos de los metros de diferentes ciudades. Unas pocas consultas permitirán ver que el metro de Roma, una red joven, consta de dos líneas en ejes norte-sur y este-oeste que se cruzan en un único punto. Si consulta el de València, otro sistema joven pero más desarrollado, podrá apreciar una clara mayor complejidad que evidentemente aumenta al visualizar las extensas redes de Berlín, Londres o París o las más próximas de Barcelona y Madrid.

Pero, ¿cómo expresar esa complejidad? lo importante no es ahora la distancia física entre estaciones, sino el número y disposición de las conexiones. Justamente ese es el papel de la Topología y para aproximarnos a sus métodos basta realizar un pequeño experimento sobre los planos. Supongamos, por ejemplo, que el viajero toma el metro en una estación central y que desea apearse en la sexta estación. Fácilmente puede verse que en Roma dispone de cuatro posibles itinerarios pero que ese número aumenta, reflejando la complejidad de la red, al pasar a las redes más evolucionadas. Extendiendo este tipo de razonamiento surgen una serie de preguntas: ¿existe algún patrón estructural común en todas estas redes o son independientes en su configuración espacial?, ¿es posible encontrar parámetros que plasmen su evolución a lo largo del tiempo?, ¿habría relaciones comunes a todas ellas entre los parámetros estructurales y parámetros de población y superficie?

El traslado de estas cuestiones a los sistemas tranviarios "históricos" españoles, entendiéndolos como tales aquellos que en su casi totalidad desaparecieron entre 1970 y 1976, llevados por una fiebre de muy difícil justificación desde la perspectiva actual, es el punto de partida de esta obra. Por otra parte, los tranvías históricos suscitan nuevas cuestiones: ¿son aplicables las posibles pautas estructurales actuales a los sistemas tranviarios históricos?, ¿muestran las redes históricas pautas comunes de evolución en el tiempo? y, en su caso, ¿podrían los patrones estructurales históricos extrapolarse a las actuales redes de transporte? En otros términos, ¿permitiría el estudio de las redes históricas obtener información de utilidad para el diseño y explotación de las redes de transporte actuales?

Dar respuesta a estas preguntas requiere, naturalmente, el considerar los diferentes modelos sobre la estructura de las redes de transporte que derivan tanto del campo geográfico como del de la Física y ello obliga al uso de unas matemáticas de una cierta complejidad. Desearía el autor que el empleo de esa terminología de fractales, topología, cambios de fase, etc. que necesariamente debe utilizar no disuadiese al lector de proseguir su andadura entre las páginas que siguen. Es posible realizar en ellas una lectura no "matemática" ya que, de hecho, todo el tratamiento formal descansa sobre el uso de unos parámetros bien conocidos: el número de habitantes de la población, la longitud del tendido ferroviario o, de forma equivalente el número de paradas o estaciones del mismo.

Fundamentalmente, es posible adquirir una noción clara de los significados sin entrar en el análisis de los contenidos matemáticos, sólo basándose en textos y gráficos. Algunos ejemplos, aunque sea a costa de adelantar la lectura (hacer un *spoiler*, en la discutible terminología de moda), pueden ser ilustrativos de la posibilidad de una lectura comprensiva sin adentrarse en recovecos matemáticos. Uno de los resultados a evaluar es la existencia de un patrón común en el ciclo crecimiento-madurez-decaimiento de las redes tranviarias. El lector puede encontrar una clara ilustración de este ciclo para los tranvías de València en la figura 8.2 de la página 152 y valorar su repetición en otras redes tranviarias en los capítulos siguientes sin requisito de sustrato matemático. Un ejemplo aparentemente más complejo puede hallarse en la figura 6.2 de la página 117 donde se representan diferentes curvas de crecimiento teóricas. En ella se toma como supuesto una red de transporte idealizada que contase con una longitud de 100 km para una población de medio millón de habitantes y se comparan las predicciones de evolución según diferentes modelos teóricos. Lo esencial es que, al margen de la forma matemática de las curvas, los modelos realizan predicciones muy diferentes del aumento de la red con la población: cuando la ciudad alcanzase el millón de habitantes los modelos predicen redes muy diferentes, desde los apenas 120 km en un caso a los aproximadamente 1000 km de otras.

De manera análoga, el lector puede encontrar, sin procesamiento matemático alguno, una clara similitud en los perfiles que muestran la variación de la densidad poblacional de líneas (es decir, simplemente, el resultado de dividir la longitud de las líneas por la población) frente a la propia población en diferentes ciudades (figuras 6.4 y 6.5, por ejemplo, en las páginas 120 y 121) y su equivalente en términos de número de estaciones. Lo relevante es que existe un mismo patrón evolutivo para las diferentes poblaciones con independencia de su tamaño y otros posibles condicionantes geográficos. La figura 11.3 de la página 209 es quizá el ejemplo más llamativo de ello, pues muestra una coincidencia casi total en las redes de metro españolas históricas.

Pese al necesario uso de una terminología especializada (alometría, topología, fractales), los conceptos involucrados son fácilmente accesibles a una lectura relajada. Para la alometría solicitamos del lector un nuevo experimento, esta vez en el campo biológico, en el que este término se aplica de forma habitual. Se trata de recoger conchas (técnicamente pensamos en lamelibranquios: almejas, tellinas, etc.) en la orilla del mar y seleccionar unas cuantas de aquellas que podamos identificar como de una misma especie. Si las ordenamos por tamaños y la fortuna quiere que dispongamos de ejemplares adultos y juveniles, podremos observar que en general el crecimiento no conserva exactamente la forma, sino que las conchas tienden a hacerse ligeramente

más alargadas o más achatadas con la edad. Trasladar esta idea al terreno matemático es sencillo; basta con medir anchura y altura y ver cómo varía el cociente anchura/altura con la edad (o, puesto que en principio no conocemos la edad, con la anchura o la altura).

Otro tanto puede añadirse para el modelo gravitatorio al que puede accederse por analogía. De la misma forma que la ley de gravitación universal establece que las fuerzas de atracción gravitatoria son proporcionales a las masas de los objetos e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que los separa, su equivalente en redes de transporte propone que los viajes (o mejor las expectativas o probabilidades de transporte, o simplemente el número de viajeros) entre dos ciudades son proporcionales a sus poblaciones e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa.

Cabe agregar que este libro se enmarca dentro del crecimiento continuado que se viene produciendo a lo largo de las últimas décadas en el interés por el estudio del transporte, interés del que es un claro exponente la ya amplia trayectoria desarrollada por la Cátedra Demetrio Ribes de la Universitat de València. Pero este interés no solo se expresa en el ámbito académico, sino que se ha venido articulando en museos del transporte, asociaciones de amigos del ferrocarril, *blogs* de aficionados, etc. Todo ello contribuye a la conservación de un patrimonio tanto material como inmaterial de extraordinaria riqueza. Con el ánimo de subrayar esta relación con ese amplio patrimonio, se han incluido en los diferentes capítulos y en las páginas de separación entre los mismos diversas figuras que recogen testimonios gráficos del transporte ferrocarrilario español. Aunque centradas, por razones de proximidad al autor, en la ciudad de València, esas imágenes fotográficas pretenden acercar más vívidamente al lector la amplia época de nuestro entorno urbano que es objeto del presente estudio. Aun alejándose de la visión "estructural" de la que trata este libro, los textos que las acompañan se dirigen a situarlas lo más exactamente posible dentro del marco histórico que fue objeto de anteriores estudios, ilustrando de paso la utilidad de establecer una cronología fina de esa documentación fotográfica.

La presente obra pretende contribuir al conocimiento y preservación de este patrimonio y, en el ámbito académico, trata de cubrir algunos de los huecos que podrían detectarse en el mismo. La aclaración es obligada: existe una relativamente amplia literatura especializada en torno a la estructura de la distribución espacial de población, redes de transporte y otras entidades geográficas (el lector interesado podrá encontrar una muestra representativa en la bibliografía), pero se centra casi exclusivamente en redes o sistemas actuales muy voluminosos, con escasa atención a redes históricas o a los aspectos evolutivos de las redes. Esto obedece probablemente a dos razones: por un lado a que el análisis topológico de redes de transporte requiere del manejo de un gran número de datos que, en las redes "históricas" es muchas veces fragmentario e incompleto; por otro, al hecho de que los modelos de red resultan más fiables cuanto mayor es el número de "objetos" (estaciones, conexiones, etc.) que la forman. Así, pueden encontrarse trabajos sobre el metro de Londres, los aeropuertos de China o los ferrocarriles de la India, pero la investigación tiende a evitar sistemas de tamaño más reducido. El libro se dirige, por tanto, a estudiar algunos de esos aspectos escasamente representados en el marco académico y adentrarse en las pautas estructurales de las redes ferrocarrilarias "históricas" y en la evolución de las mismas a lo largo del tiempo.

Resulta necesaria alguna advertencia adicional respecto a su lectura. Los científicos profesionales somos dados a presentar los resultados de nuestras investigaciones como conjuntos autoconsistentes y completos, obviando muchas veces las limitaciones de los mismos. En nuestro caso, es obligatorio advertir que el texto que sigue desea presentar resultados y conclusiones tanto como sugerir cuestiones abiertas y posibles vías de investigación para el futuro. Señalemos cómo, al analizar la evolución en el tiempo de sistemas geográficos, es posible encontrar trabajos que utilizan formulaciones diferentes. Algunos los describen en términos de crecimiento alométrico y otros emplean ecuaciones logísticas. Análogamente, al estudiar la topología de redes de transporte, es posible hallar estudios centrados en estructuras fractales y otros en estructuras de "pequeños mundos". Algunas cuestiones requerirán de futuras investigaciones para su posible respuesta: ¿se trata de modelos mutuamente excluyentes o es posible relacionar o derivar unos con otros?, ¿es posible "universalizar" estas formulaciones?, ¿existe algún modelo subyacente que relacione la estructura de las redes con otros parámetros geográficos?

Este trabajo aspira a aportar materiales que ilustren las anteriores preguntas para las que, en el momento actual, no parece existir una respuesta clara. En cualquier caso, el texto que sigue aborda la posibilidad de extraer información topológica, estructural y evolutiva a partir de magnitudes globales (las anteriormente mencionadas población y longitud del sistema de transporte), así como de describir las pautas de crecimiento y decaimiento de dichos sistemas y, eventualmente, de efectuar prospecciones potencialmente aplicables a los sistemas de transporte contemporáneos.

En síntesis, el autor desea manifestar la esperanza de que a través del aparato de fórmulas y gráficos que se proponen, le llegue al lector el palpito de los viejos tranvías circulando por nuestras calles y recordar –o descubrir– esa parte de nuestra historia que va ligada a ellos. La historia de esos tranvías destartados y renqueantes que marcaron el ritmo de nuestras ciudades y pueblos durante aproximadamente un siglo. Aquellos tranvías próximos y familiares (como reflejarían sus apodos en el lenguaje popular, "sputniks" en Alicante, "manoletes" en Barcelona, "cangrejos" en Madrid, "barraquetes" y "zeppelines" en València, "rizados" en Zaragoza,...), circularon entonces –como felizmente hoy otros modelos–, llevando inconscientemente la vida de la ciudad entre sus ejes. "