ELECTRICIDAD Y FERRO-CARRIL EN BARCELONA

Enrique Viana Suberviola
Doctor en Geografía por la Universidad de Barcelona
enriviana@gmail.com

La masiva producción, distribución y consumo de la electricidad que se produjo durante el siglo XIX, propició el desarrollo de los diversos sistemas ferro-viarios de forma espectacular (según una denominación decimonónica, los ferro-carriles son aquellos medios de transporte que transitan por una vía férrea, es decir el metro convencional, el metro ligero, el tranvía, el ferrocarril, el funicular…). A finales del siglo XIX, el pujante crecimiento urbano precisaba de sistemas de transportes de masas que pudieran desplazar grandes contingentes de población de forma rápida y barata. El ferro-carril supo dar respuesta a esta problemática, aunque sus inicios no estuvieron ausentes de complicaciones. Los primeros sistemas ferro-viarios funcionaban a vapor o por tracción animal, como los omnibuses tirados por caballos, los cuales transitaban muchas veces sobre vías férreas. Estos sistemas evidenciaron diversas problemáticas en el ámbito urbano, derivados de la contaminación y malos olores que éstos portaban. La solución a esta problemática no se hizo esperar y fue gracias a la electrificación urbana que comenzaron a desarrollarse los primeros tranvías de uso eléctrico que rápidamente crearon grandes redes viarias por las principales ciudades de Europa y EEUU. Más adelante, se evidenció la necesidad de crear un sistema ferro-viario que pudiese circular de forma autónoma del resto de tráfico urbano para poder optimizar el espacio de circulación en la superficie. La solución fue la construcción de metros y ferrocarriles subterráneos. Pero la construcción de esta red ferroviaria produjo un fuerte impacto en el espacio urbano sobre el cual iba a transitar el sistema metro. Esto es debido a que las antigua forma de horadación del territorio se basaba en la técnica *cut and cover*, que consistía en la creación de una zanja a cielo abierto que posteriormente se cubría. Esta técnica producía un desventramiento del terreno sobre el que transitaba, creando enormes problemáticas sociales y urbanísticas. Fue con la aplicación de los sistemas eléctricos que esta problemática se solventó, al crearse y generalizarse el uso de las tuneladoras eléctricas que permitían horadar el terreno sin afectar a la superficie.

La aplicación de la electricidad y su imbricación con el desarrollo de los transportes ferro-viarios resulta pareja como han estudiado diversos autores[1]. Pero de todas las implicaciones resultantes, la que se ha considerado más significativa a tratar en este artículo es la de la relación entre los sistemas de transportes ferro-viarios eléctricos y el tráfico rodado de superficie que consume combustibles fósiles. La pugna por el espacio de superficie relegará al tranvía a la extinción, impulsará el sistema metro y hará renacer al tranvía nuevamente en

[1] Alcaide González, 2005; Alonso Martín, 2001; Barberillo y Saldaña, 2011; Capel, 2011; Fernández Cano, 2009; Ferrer i Arqués, 1994; Flórez Bosque, 2001; Gallardo, 1997; González Massip, 1992; Hernando López, 2008; Martín Bermejo, 2007; Martínez Sánchez, 2006; Miralpeix García, 2010; Roscadell i García, 2003.

forma de metro ligero. La electricidad, como se sugiere en el título del artículo, será la causa de estos procesos.

Características técnicas de los sistemas ferro-viarios urbanos

A mediados del siglo XIX, la mayoría de las ciudades no tenía más de 10 km de diámetro y eran fácilmente transitables a pie (4 km/h). Si el desplazamiento se realizaba a caballo, la velocidad aumentaba a 7-15 km/h. Posteriormente, la bicicleta aumentó la velocidad de desplazamiento, hasta los 15 km/h, pero fue con la llegada de los ferrocarriles, sobre todo en la segunda mitad del siglo XIX cuando la velocidad aumentó muy considerablemente, lo que permitió la aparición de nuevas zonas residenciales en las inmediaciones de las líneas ferroviarias.

A partir de este punto surgieron diversos tipos de medios ferro-viarios sin embargo, las diferencias entre los diversos tipos de ferro-carril urbano no se delimitaron perfectamente. La mayoría de ellas están determinadas teniendo en cuenta la capacidad de pasajeros que puede transportar cada medio. De hecho, la mayoría de los ferro-carriles urbanos basan sus sistemas de explotación en líneas o recorridos de gran densidad de población[2]. Eso obliga a distancias cortas entre estaciones y a que los sistemas ferro-viarios tengan complejos sistemas de aceleración y deceleración de 1 o 1,2 m/seg^2. Estos intervalos temporales y kilométricos reducidos, conllevan la necesidad de un gran control de tráfico y el uso de sistemas de señalización, protección y conducción muy fiables y versátiles que permitan grandes capacidades de transporte seguro en las líneas servidas.

Entre todos los sistemas de transporte ferro-viario urbano, el metro pesado o convencional es el que posee mayor capacidad, ya que puede llegar a albergar hasta 80.000 pasajeros por sentido de la línea, frente a los 40.000 del metro ligero y a los 15.000 del tranvía (cuadro 1). Para acoger tal cantidad de pasajeros, el metro pesado posee vagones más grandes y en mayor número que el resto de sistemas ferro-viarios urbanos; puede llegar a tener 10 vagones y 150 metros, con una capacidad de casi 300 pasajeros cada uno. Ante estas cifras, dan una impresión de pequeñez los 2-3 vagones del tranvía y el metro ligero, cuyo tamaño es significativamente menor (30 metros el tranvía y 45 el metro ligero como máximo) y que poseen una capacidad de transporte más reducida (180 pasajeros por vagón el tranvía y 250 el metro ligero).

Estas fuertes diferencias relacionadas con la capacidad de transporte, tienen asociada otra clase de características relativas al ámbito espacial de cada medio de locomoción. El metro convencional tiene una vocación claramente metropolitana y se halla presente en ciudades medias y grandes, cubriendo eficazmente la totalidad del área. En ciudades de mayor peso demográfico o de una extensión urbana considerable, el metro ha de complementarse con los sistemas ferro-viarios suburbanos o regionales para poder servir a todo el conjunto. El metro ligero y el tranvía son sistemas aptos y convenientes en ciudades o áreas urbanas medias y son complementarios al metro convencional en áreas urbanas de menor densidad o periféricas.

Esta marcada diferencia de ámbitos provoca, a su vez, que la distancia entre estaciones sea mayor en el metro convencional (hasta 2.000 metros, siendo lo habitual 500), por abarcar un territorio mayor que el metro ligero (350-1.500 m entre estaciones) y el tranvía (250-1.200 m

[2] Parcerisa y Rubert de Ventós, 2001.

entre estaciones). Por regla general, dos estaciones de metro se encuentran separadas alrededor de 700 metros (con radios de 250 metros excepto en determinados lugares como los túneles de conexión o maniobras, en los que puede llegar a los 100 metros). Por el contrario, los ferrocarriles suburbanos pueden tener una separación entre estaciones de 2-3 e incluso 5 km, debido a que en la periferia existe una menor densidad poblacional.

Es importante resaltar que el metro convencional posee una característica única, ya que tiene el total de su infraestructura independiente del resto de sistemas de transporte. Este hecho convierte a dicho medio en un canal de transporte muy eficaz y preciso, de alta regularidad de trayectos y con una velocidad más elevada que el resto de sistemas ferro-viarios urbanos (llegando a alcanzar los 110 km/h), al no tener que prestar atención a las coyunturas propias del tráfico en superficie (cuadro 1).

El tranvía, en este sentido, se encuentra en el lado opuesto, siendo apenas independiente del resto de medios de transporte que circulan en su entorno (un máximo de un 40% de infraestructura independiente) y teniendo, además, una baja regularidad y una velocidad máxima moderada (70 km/h).

Un punto intermedio lo supone el metro ligero, que se aproxima más al metro convencional que al tranvía. Con una regularidad de transporte alta, una velocidad máxima elevada (90 km/h) y una infraestructura prácticamente independiente (hasta un 90%), constituye un híbrido perfecto entre la capacidad y velocidad de transporte del metro y la versatilidad y bajo coste económico del tranvía.

De hecho las características técnicas del metro ligero, un medio de transporte en auge, son bastante reseñables. El metro ligero[3] no ofrece problemas de accesibilidad para los discapacitados debido a que posee una plataforma baja. La seguridad en el metro ligero es máxima al disponer de frenado eléctrico y mecánico, así como sistemas de vigilancia. Las vibraciones o el ruido (65 a 68 dBA en el espacio interior y 75 a 78 dBA en el exterior) son muy bajos. La luminosidad es otro factor positivo del metro ligero, que se adecúa correctamente al entorno circundante, de forma respetuosa con el medio, ya que funciona con electricidad. Por otra parte, el metro ligero posee una amplitud de frecuencias que van desde 1,5-3 minutos en *hora punta*, hasta 5-15 minutos en *hora valle*. Por último, es importante reseñar que su velocidad comercial es de 20 km/h, siempre y cuando tenga un 40 por ciento de plataforma reservada, y de 40 km/h si tiene un 90 por ciento de plataforma reservada.

Otro factor importante a señalar es que también existen diferencias entre los sistemas ferro-viarios exclusivamente urbanos (metro convencional y ligero, y tranvía) y el ferrocarril, tanto el suburbano o regional, como el de largo recorrido que posee incidencia en el ámbito urbano. Al estar en zona urbana, las cajas de los metros, metros ligeros y tranvías deben ser menores que las de un ferrocarril convencional, pero para las grandes aceleraciones se precisa de un motor potente, lo cual obliga a tener una composición estructural diferente de la del ferrocarril convencional. En éste, existe una estructura basada en una locomotora que remolca una serie de vehículos, al contrario de lo que sucede en el metro, metro ligero y tranvía, cuya estructura está compuesta por varios elementos motorizados que arrastran a los remolques con una composición completamente diferente.

[3] Melis Maynar y González Fernández, 2002.

Otra diferencia existente entre los diferentes sistemas ferro-viarios es el hecho de que los ferrocarriles convencionales utilizan una corriente continua muy superior a los sistemas ferro-viarios urbanos. El ferrocarril tiene una corriente continua de 15.000-20.000 o 50.000 v en alterna y 3.000 en continua, respecto a los 600 - 1500 v en continua de los sistemas ferro-viarios urbanos. Eso implica un diseño muy peculiar tanto de las instalaciones fijas, como del material móvil (Cuadro 1).

Otro aspecto de vital importancia a la hora de ponderar la utilidad de los diferentes sistemas ferro-viarios es el grado de accesibilidad a las estaciones. Éste se relaciona directamente con la mayor o menor comodidad que presenta el recorrido de los usuarios desde el punto de origen de su viaje hasta alcanzar los andenes. La mejora de la accesibilidad supone incrementar la calidad del servicio, convirtiendo al medio de transporte en un sistema más competitivo. Una distancia entre 300 y 600 metros alrededor de la estación supone para el viandante entre cuatro y ocho minutos de recorrido a pie. Los recorridos horizontales en superficie son asumibles, pero los verticales hasta llegar al andén han de ser lo más cortos posibles en tiempo, ya que este es un factor disuasivo. Debido a ello, es conveniente que las estaciones se sitúen lo más cerca posible de la superficie.

Por otra parte, la profundidad de los trazados de una nueva línea tiene una serie de impedimentos topográficos y geotécnicos y se ve limitada por la presencia de cimientos y otras infraestructuras y redes suburbanas de abastecimiento. Por ello, es obligado construir una nueva línea a gran profundidad, aunque eso aumente el coste y la accesibilidad al andén sea más incómoda[4].

Cuadro 1
Criterios generales de explotación en tranvías, metros ligeros y pesados.

	Autobús convencional	**Autobús electrificado**	**Tranvía**	**Metro Ligero**	**Metro pesado o convencional**
Composición mínima de la unidad (coches)	1	1	1-2	2-3	2-10
Longitud de cada unidad (m)	8-12	8-12	16-30	25-45	32-150
Asientos por coche	30-80	30-80	22-40	25-80	32-84
Plazas totales por coche	40-120	40-120	100-180	110-250	140-280
Infraestructura independiente %	0	40-90	0-40	40-90	100
Control del vehículo	Manual/Visual	Manual/Visual/ Señales	Manual/Visual /Señales	Manual/Señales ATC	Señales ATC
Control de billetes (peaje)	En el vehículo	En el vehículo	En el vehículo	En el vehículo o estación	En estación
Toma de corriente	Ninguna	Aérea	Aérea	Aérea	Aérea/Tercer carril
Velocidad máxima km/h	40-80	60-100	50-70	60-90	70-110
Regularidad	Baja/Media	Media/Alta	Baja	Alta	Muy Alta
Separación estaciones (m)	250-1.200	250-1.200	250-1.200	350-1.500	500-2.000

[4] Melis Maynar y González Fernández, 2002.

Capacidad por sentido	2.400-8000	4.000-10.000	4.000-15.000	6.000-40.000	20.000-80.000

Fuente: Melis Maynar y González Fernádez, 2002, p. 39.

La electricidad en este caso tiene un papel fundamental a la hora de entender la evolución de los sistemas de transporte urbanos. Aquellos sistemas de transporte urbanos de superficie históricos que hacían uso de la electricidad (tranvía y autobús electrificado o trolebús) fueron eliminados de forma paulatina para dar paso al autobús convencional, un sistema que no necesitaba de infraestructura independiente (0%) frente al 40-90 por ciento de infraestructura independiente del tranvía y el trolebús. Esta infraestructura proveía de electricidad al tranvía y al trolebús pero creaba un complejo tendido eléctrico de tomas aéreas que impedía el desarrollo del tráfico rodado de superficie. Es por ello que en las sociedades occidentales capitalistas los modelos de consumo que primaban el individualismo alentaron el uso del vehículo privado, que terminaron relegando a los transportes de masas de superficie impulsados por electricidad, al contrario de lo que sucedía en las sociedades comunistas de Europa del este y la URSS en donde se valoraba el ahorro económico que el transporte colectivo eléctrico de superficie tenía.

En los siguientes apartados se hará una reseña de la evolución histórica del tranvía, el metro convencional y el metro ligero en Barcelona para entender de forma más precisa la relación entre los sistemas de transporte eléctricos y el control de la superficie del espacio urbano frente al tráfico rodado.

Características y evolución del tranvía de Barcelona

El tranvía es el primer medio ferroviario de carácter urbano que se implantó en Barcelona, aunque en sus inicios tuvo una finalidad interurbana, al enlazar a Barcelona con los núcleos del Llano. La red comenzó a implantarse en 1872 (figura 1), a lo largo de lo que luego sería el Paseo de Gracia y rodeaba el casco antiguo de la ciudad penetrando por las Ramblas y llegando al puerto. Su desarrollo fue realmente notable y ya en el año 1880 poseía un elevado grado de articulación con varias líneas que unían a Barcelona con Gracia, fundamentalmente. En 1900 la red llegó a Badalona y El Carmel y en 1905 la red se densificó, tanto en Ciutat Vella como en Gracia, en el Ensanche y en Sarriá. Hasta 1940, se produjo la ampliación de la red conforme la ciudad crecía, pero la estructura fundamental se mantuvo prácticamente intacta. Entre 1940 y 1960 (figura 2), la red se ensanchó y se ramificó por toda el área urbana de Barcelona, al tiempo que ésta crecía. Líneas longitudinales, circulares y transversales se interrelacionaban, creando gran diversidad de opciones de transporte en un medio cuyos trayectos unían los más diversos puntos (buena parte de dichos trayectos tenían itinerarios redundantes). Las estaciones se hallaban muy próximas entre sí, entre 100 y 200 metros, debido a las frecuencias y a la velocidad del sistema (hasta 1905 no se instalaron estaciones fijas y, para que los viajeros subiesen o bajasen del convoy, el tranvía únicamente podía ralentizar su paso en los centros neurálgicos del sistema o en lugares de confluencia de la población, como mercados o teatros). Tan próximas eran las estaciones y tan densa era la red de líneas de tranvía, que el total de las estaciones proveía de cobertura a la casi totalidad de la población y al área de Barcelona (realizando el cálculo teniendo en cuenta un radio de 300 metros alrededor de cada estación).

El tranvía, que comenzó teniendo 24 km de líneas, alcanzó los 131 en apenas 30 años y en solo 5 años más, en 1905, se amplió hasta los 200 km. Su zénit se alcanzó en 1924 con 293 km de red, pero se mantuvo entre 250 y 280 km hasta pocos años antes de su súbita

desaparición, en 1972. Sólo permaneció como remanente el Tramvia Blau, de poco menos de un kilómetro y medio de longitud. Es sorprendente cómo la competencia del autobús y del vehículo privado y una gestión que desincentivó la inversión tranviaria consiguieron que, en apenas una década, despareciese una tupida red tranviaria.

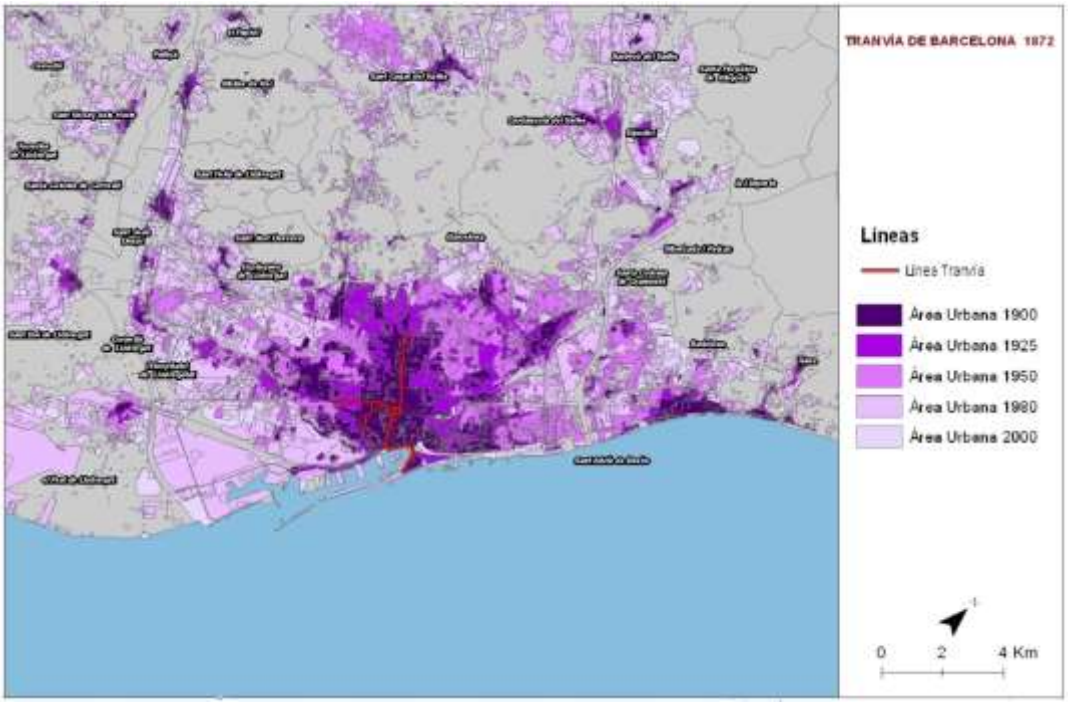

Figura 1. Tranvía de Barcelona, 1872.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de TMB, ATM, FGC y RENFE.

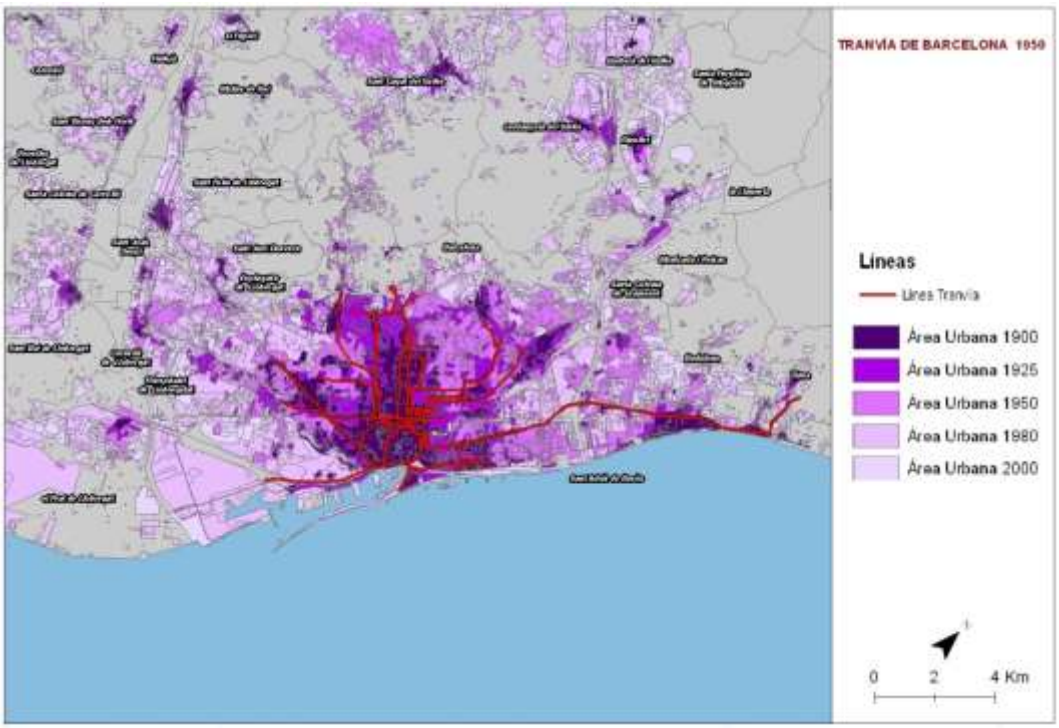

Figura 2. Tranvía de Barcelona, 1950.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de TMB, ATM, FGC y RENFE.

Características y evolución del metro de Barcelona

El metro de Barcelona se inauguró en 1924, con un trayecto de 2.7 km entre Lesseps y Cataluña y 4 estaciones (figura 3). Pocos años después, en 1930, ya había triplicado su tamaño, alcanzando los 7.6 km y 17 estaciones, repartidos en dos líneas, el Gran Metropolitano (actuales L3 y parte de la L4) y El Transversal (actualmente L1). Comenzaba así a pergeñarse su estructura en forma de cruz, con un centro neurálgico (Plaza Cataluña) como nexo de ambas líneas. Esta estructura se mantuvo casi inalterada durante 20 años, debido a la Guerra Civil y a la posguerra que truncaron el desarrollo del metro por la falta de inversiones. En 1950, la red apenas contaba con poco más de 10 km de líneas y 21 estaciones, pero a partir de 1950, el Transversal se amplió notablemente, hasta San Andrés Arenal. En 1960 ya se había incorporado el Transversal Alto (actual L5) que llegaba hasta Sagrera-Vilapicina. En ese momento la red contaba con 16.5 km de líneas y 30 estaciones y comenzaba a ampliarse intensamente. En ese momento, la actual L1, era la línea que aglutinaba un mayor número de km (casi 10 km) respecto al resto de líneas, pero, ya en los años 70, la estructura comenzó a cambiar. La L5 se amplió notablemente. La L1 y la L5 eran los ejes longitudinales y la L3 y la L4 eran los ejes norte-sur que vertebraban la incipiente red ferro-viaria. El metro alcanzó los 28 km de líneas y las 45 estaciones en esta época.

Posteriormente, en 1975, la red ya se desarrollaba con fuerza. La L3 (siguiendo el esquema del Plan de Metros de 1966), formó un semicírculo en la izquierda del ensanche que nunca llegó a cerrar completamente. Este semicírculo iba desde Atarazanas (actual Drassanes) hasta Ciudad Universitaria (actual Zona Universitaria). Por su parte, la L4, intentó crear también una línea circular, también inacabada, en la derecha del ensanche, llegando hasta Maragall. La L5 se amplió y llegó a Hospitalet de Llobregat (hasta estas fechas la red de metro se circunscribía a Barcelona, pero comenzaba a incursionar en los municipios adyacentes). El crecimiento de la red era notable, llegando a los 40 km de línea y a las 60 estaciones, teniendo igual protagonismo las líneas 1, 3 y 5 (la L4 cada vez tenía un peso más importante). En 1980, la red siguió ampliándose, destacando la ampliación de la L4 hasta el Poblenou. En este momento las 4 líneas poseían un peso similar, entre 10 y 15 km cada una de ellas, en una red de casi 50 km de líneas y 70 estaciones. Se formó una verdadera malla con ejes longitudinales y recorridos semicirculares redundantes, en un centro hipertrofiado, entre Cataluña y el Paseo de Gracia.

En 1985, la red se desvió definitivamente de los planos iniciales, creados en 1966, para dar comienzo a una evolución diferente. La L3 empezó su recorrido por la Ronda de Dalt, rompiendo toda posibilidad de cerrar el Ring, mientras la L4 se desarrolló longitudinalmente hacia Badalona. La L1 y L5 también se desarrollaron longitudinalmente, para dar cobertura a los barrios obreros de la periferia barcelonesa, desde Cornellá de Llobregat hasta Santa Coloma de Gramenet. En ese momento, la red se perfilaba como un esquema arborescente, con un centro bien interconectado, formando un trapezoide, desde Plaza de Sants hasta La Sagrera y desde Marina hasta Drassanes. El eje central de este trapezoide iba desde Diagonal hasta Cataluña, pasando por Paseo de Gracia. Alrededor de este trapezoide central, diversas ramas formadas por haces de líneas penetraban la periferia metropolitana. La red poseía ya casi 65 km de líneas y 90 estaciones en ese momento. Más tarde, en 1995, se inauguró la L2, que fue proyectada durante los años 60, construida casi totalmente durante los años 70, y paralizada su construcción durante varias décadas. Su trazado densificó la red de metro desde Sagrada Familia hasta Paral·lel. Más tarde, en el año 2000, se incorporaron las líneas L6 y L7 a la red de metro. Inicialmente eran consideradas líneas de ferrocarril, pero, posteriormente, fueron consideradas parte integrante del sistema metro, debido a una serie de mejoras en sus

frecuencias, y a la apertura de nuevas estaciones en su recorrido. La L6 y L7 redoblaron la importancia del eje central de la red dándole un peso aún mayor al tramo existente entre Diagonal y Cataluña, mientras que la L2 se prolongó hasta La Pau. La red de metro disponía de 85 km de líneas y 123 estaciones en ese momento. En el año 2.005, se incorporó la L8 a la red por los mismos motivos que la L6 y la L7, formando un nuevo tentáculo hacia Sant Boi. La L3 se prolongó hacia Trinitat Nova, mientras que el tramo de La Pau a Pep Ventura, pasó a formar parte de la L2, para facilitar la conexión entre Badalona y el centro de Barcelona. Este hecho proporcionó a la L4 la oportunidad de poder cerrar el círculo inicial que se había diseñado para esta línea. Por otra parte, la L11 hizo su aparición entre Trinitat Nova y Montcada y Reixac. Esta línea sorteó diversos obstáculos, en un terreno dificultoso por su orografía, pese a su breve trayecto. La red de metro alcanzó en este año los 100 km de líneas y las 143 estaciones.

En 2009, el esquema permanecía casi inalterado respecto al año 2005, y actualmente el metro de Barcelona tiene 11 líneas que configuran una estructura arborescente. Sus trazados definen un trapecio invertido que delimitan el área central. Este trapecio posee un centro neurálgico entre Plaza Cataluña, Paseo de Gracia y Diagonal. Sus extremos son Sants Estación y Plaza España al oeste y Clot y Sagrera al este. Esta área aglutina el mayor número de interconexiones entre las líneas. Debido a la forma rectangular de la ciudad condal, la mayor parte de las líneas posee una disposición longitudinal oeste-este, como es el caso de la L1 (cuyo trazado define el límite sur del trapecio central), la L2 (que parte del centro del trapecio para vertebrar el sector este de la urbe) y la L5 (que define el límite norte del trapecio central) cuyo extremo este, se encamina hacia el sector norte de la ciudad. La L3 es la línea más antigua del metro de Barcelona y se configura en forma de parábola invertida atravesando de norte a sur la metrópoli. Por su parte, la L4, diseñada inicialmente para ser una línea circular, provee de servicio a la mitad este de la ciudad sin completar el anillo inicialmente diseñado para esta línea. La L11 supone, únicamente, una pequeña ampliación del trazado de la L4 al noreste de la ciudad, mientras que las recientes líneas 9 y 10, en sus primeros tramos, abarcan el área situada más al este del continuo urbano, concretamente entre Barcelona, Badalona y Santa Coloma de Gramenet.

Es importante tener en cuenta los planes territoriales que han hecho referencia a la red de metro de Barcelona, ya que mostraban la intención de crear un sistema ferro-viario realmente maduro. Concretamente, en el año 2020, según el Plan Director de Infraestructuras 2010-2020, se habrá finalizado la construcción de la L9-L10, una línea perimetral de gran envergadura (una de las líneas más largas de Europa con más de 40 km de trazado, cuyo presupuesto inicial rondaba los 2500 millones de euros pasando a superar los 4000 millones en la actualidad) que conectará diversas zonas, desde Badalona y Santa Coloma de Gramenet hasta el Aeropuerto del Prat. Esta línea tendrá un recorrido pleno de estaciones de interconexión, que permitirán la realización de viajes transversales entre diferentes puntos del área metropolitana, sin la necesidad de redundar en el centro. La red de metro se conformará como una verdadera malla, como un sistema cerrado e interconectado, donde existirá la posibilidad de realizar diversos itinerarios posibles. La antigua estructura tentacular dará paso a un verdadero sistema complejo, afianzado por la incursión de la L8 hacia el centro y modificando la movilidad en un área clave del sistema. Serán 160 km de líneas y 213 las estaciones las que conformarán esta red. Por último, un hipotético escenario sin fecha fija, más allá del horizonte 2.020 (figura 4), dibujará una estampa, en la que la L1, L2 y L6 cerrarán el circuito creado por la L9-L10. Al mismo tiempo, la L3 incursionará decididamente hacia Sant Feliu de Llobregat y la L4 se plegará sobre sí misma, en un intento de cerrar su estructura circular. Otra actuación de importancia estará representada por una nueva línea

ferroviaria que hará aparición. A medio camino entre metro y ferrocarril, esta línea se integrará a medio o largo plazo en la red de metro y su función será principalmente la de interconectar las estaciones ya existentes, dibujando un nuevo trazado norte-sur, desde Plaza Cataluña hasta Mundet. La existencia de esta línea mejorará la interconexión y la isoaccesibilidad de todo el sistema que en ese período habrá alcanzado los 180 km de líneas y 241 estaciones.

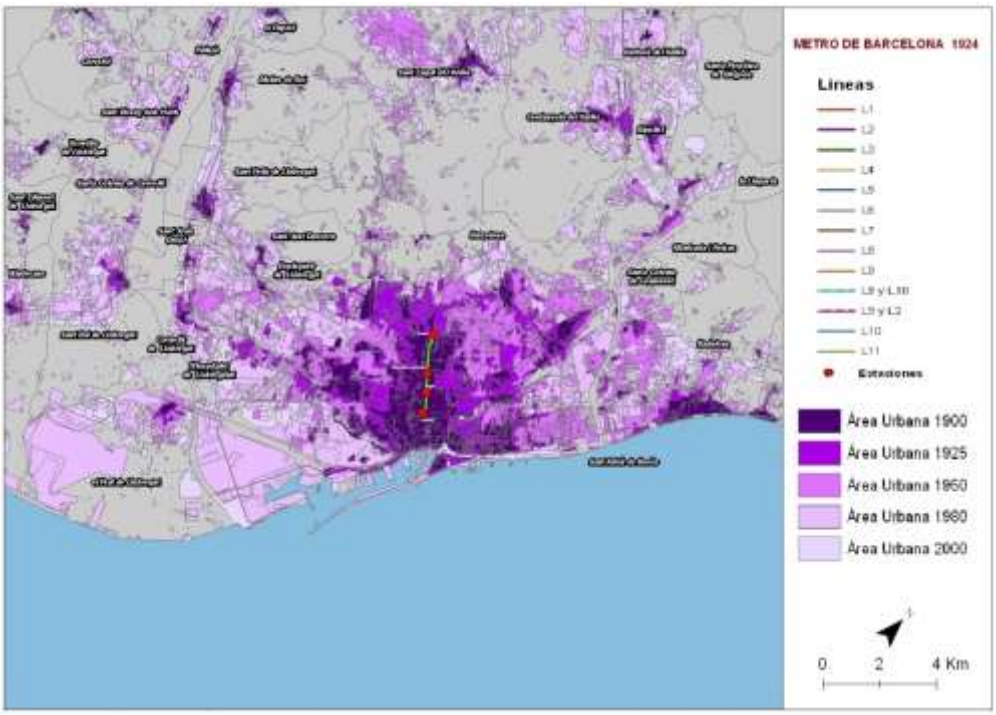

Figura 3. Metro de Barcelona, 1924.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de TMB, ATM, FGC y RENFE.

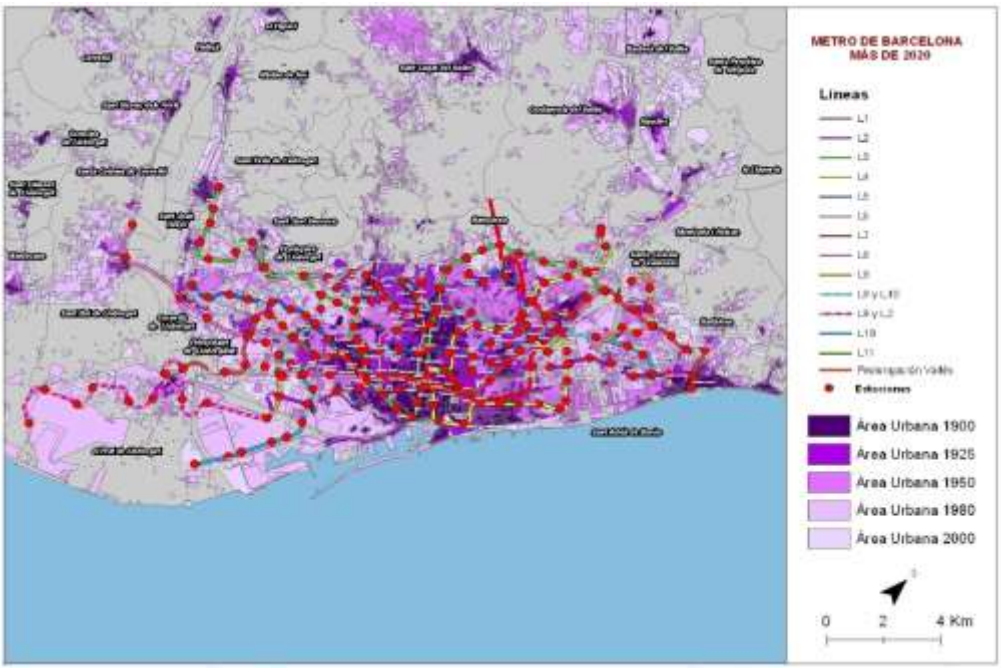

Figura 4. Metro de Barcelona, más de 2020.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de TMB, ATM, FGC y RENFE.

Como puede observarse, la evolución del metro ha sido continua y muy exitosa. Especialmente a partir de la segunda guerra mundial, la propugnación de los valores individuales de consumo hacían mella en las sociedades occidentales y con ello se comenzó a usar masivamente el transporte rodado de superficie relegando a los sistemas de transporte de superficie que hacían uso de la electricidad. Sin embargo grandes cantidades de población no disponían de las posibilidades de adquirir un vehículo privado o directamente preferían el uso del transporte público por ser más limpio y económico. Debido a ello se produjo un gran impulso del metro en esta época, un sistema eléctrico de transporte de masas que disponía de su propia infraestructura en gran parte independiente del tráfico rodado al transitar mayormente por el subsuelo.

Características y evolución del metro ligero de Barcelona

La creación del metro ligero respondía a la necesidad de incorporar un medio de transporte de masas de gran capacidad de pasajeros, que estuviese a medio camino entre el tranvía y el metro convencional. Después de la implantación en diversas ciudades de Norteamérica y Europa (incluida España, en donde Valencia ya introdujo este medio de transporte a mediados de los años 90) se decidió incorporar este medio en Barcelona, en el año 2004. Este medio de transporte está concebido para dar cobertura a áreas de densidad poblacional media y baja y, por ello, se implantó en dos áreas del área metropolitana. Se implantó en El Baix Llobregat, desde Sant Joan Despí a la zona alta de la Diagonal (Trambaix), y en el área del Besòs, desde la Vila Olímpica a Sant Adrià, realizando una incursión en el sector meridional de la Diagonal (Trambesòs). El Trambaix era el que poseía una estructura más compleja en sus inicios, formando un recorrido circular que orientaba las diferentes rutas del metro ligero en una dirección u otra. El Trambesòs poseía una estructura mucho más simple, pero, en 2011, el Trambesòs conformó una red trapezoidal que le permitió la misma versatilidad existente en el Trambaix, al crear diferentes rutas, usando un mismo entramado ferro-viario. Las actuaciones más importantes previstas para el metro ligero en el Plan Director de Infraestructuras 2010-2020 son dos (figura 5). Una es la unión de ambos sistemas por la Diagonal, siendo este proyecto polémico, debido a la importancia de esta arteria viaria para gestionar el tráfico de superficie. La implantación del metro ligero vería limitada la superficie de la Diagonal dedicada al vehículo rodado. La otra actuación, es una ampliación extensa del metro ligero por el Baix Llobregat, tampoco exento de polémica, al preferir los habitantes de dicha área la implantación de un sistema de metro convencional. La incursión del metro ligero por el centro y por el puerto son también propuestas puestas sobre la mesa, que posiblemente se vean concretadas en el corto plazo. El metro ligero comenzó teniendo cerca de 20 km de líneas y 43 estaciones en 2005, para alcanzar los, cerca de 30 km y 56 estaciones, en 2011. Se tiene la intención a corto plazo de llegar a los 44 km y a las 112 estaciones en un período próximo a 2020. La evolución creciente de este medio de transporte demuestra su versatilidad y popularidad.

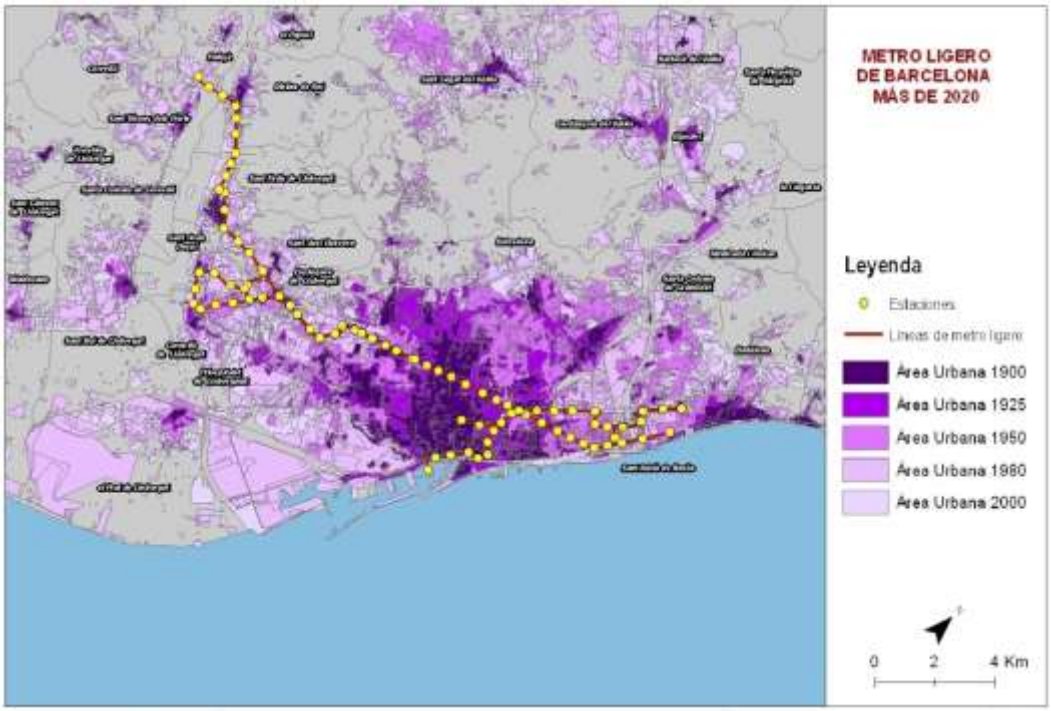

Figura 5. Metro ligero de Barcelona, más de 2020.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de TMB, ATM, FGC y RENFE.

El metro ligero ha vuelto a introducir en las ciudades los sistemas de transporte masivos eléctricos de superficie. Lo ha podido hacer debido a la necesidad de dotar de conectividad a determinadas áreas urbanas que el metro convencional no ha podido cubrir. Los motivos por los que el metro convencional no ha dado cobertura a determinados espacios son diversos. En algunas ocasiones, los espacios urbanos en cuestión poseen una baja densidad poblacional y por ello no resultan lo suficientemente rentables a nivel económico para la implantación del metro convencional, mucho más caro de implantar que el metro ligero. En otras ocasiones el metro ligero permite crear trazados alternativos que conectan transversalmente áreas ya cubiertas por el metro convencional dotándolas de mayor accesibilidad e interconexión. En todo caso el metro ligero suele surgir como un medio de transporte complementario al metro convencional en las ciudades medias y grandes y como un medio eficaz de transporte de masas en ciudades pequeñas y medias que carecen de metro convencional. En todo caso sus trayectos son limitados, al contrario de lo que ocurría con el tranvía debido a que el uso masivo del tráfico rodado impide que los sistemas de transporte masivos eléctricos de superficie puedan tener un desarrollo generalizado por toda la ciudad.

Conclusiones

La implantación de la electricidad en los transportes de masas supuso un antes y un después en el urbanismo. La potenciación y generalización de los transportes colectivos por todo el continuo urbano permitió aproximar al ciudadano a la utopía de la accesibilidad universal. Sin embargo, el automóvil, imprescindible para entender la evolución urbana, social y económica de la segunda mitad del siglo XX comenzó a reclamar cada vez más espacio a la ciudad y acabó relegando al tranvía a su mínima expresión por ser éste más lento y con mayor necesidad de infraestructura que el vehículo privado y los autobuses. El metro, sin embargo, pudo eclosionar en esta época gracias a los avances de la técnica derivados de la generalización de la producción, distribución y consumo que la electricidad produjo. Nuevas

tuneladoras eléctricas surgieron para poder horadar el terreno a profundidades cada vez mayores, creando líneas de interconexión y estructuras de red complejas. A su vez, nuevos sistemas de ventilación, iluminación, saneamiento y movilidad interna se pudieron implantar en las estaciones y andenes. No es de extrañar que se pudiera crear un mundo subterráneo paralelo e independiente a la superficie. Sin embargo, el tranvía en su modalidad de metro ligero (más amplio, más rápido, más eficaz) reapareció en las ciudades occidentales para complementar al sistema metro en las ciudades en las que éste existía, o para vertebrar los principales ejes de circulación en las ciudades que carecían de metro. Un mejor aprovechamiento del espacio circulatorio, la implantación de un sistema eléctrico de señalización autónomo y una mejora de las frecuencias han convertido nuevamente al transporte colectivo ferroviario de superfície en una interesante propuesta tanto a nivel circulatorio como urbanístico.

Bibliografía

ALCAIDE GONZÁLEZ, Rafael. El ferrocarril como elemento estructurador de la morfología urbana: el caso de Barcelona 1848-1900. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales.*[En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2005, vol. IX, núm. 194 (65). <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-65.htm> ISSN: 1138-9788.

ALONSO MARTÍN, Francisco Javier. *Implantación de nuevos ferrocarriles urbanos en el area de Barcelona: Trambaix y línea 9.* Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament de Geografia I Historia. 2001. 22 pp. < http://www.tramvia.org/documentos/treball-alonso.pdf >.

BARBERILLO, Josep, SALDAÑA, Joan. Navigation in large subway networks: an informational approach. *Physica A. Statistical mechanics and its applications.* Ámsterdam: Elsevier. Enero 2011. vol. 390, núm. 2, pp. 374-386. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437110007971>. ISSN: 0378-4371.

CAPEL, Horacio. *Los ferro-carriles en la ciudad. Redes técnicas y configuración del espacio urbano.* 1º edición. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2011. 224 p.

FERNÁNDEZ CANO, Marian. *Anàlisi de l'evolució de l'accessibilitat a la xarxa ferroviària de Barcelona.* Director: Francesc Magrinyà Torner. Universitat Politècnica de Catalunya. 2009. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/8408>.

FERRER I ARQUÉS, Caterina y PAGÈS HERAS, Eugènia. *El metro viscut. Barcelona*. IME, DL. 1994. 39 p.

FLÓREZ BOSQUE, Xavier y IBÁÑEZ PUENTE, Jordi. *Les línies de tramvies de Barcelona: 1872-1971: Catàleg de línies urbanes.* Barcelona: Xavier Flòrez Bosque, DL. 2001. 179 p.

GALLARDO, Joan M. *Los funiculares y teleféricos españoles.* Barcelona: Lluís Prieto. 1997. 291 p.

GONZÁLEZ MASSIP, Albert. *La xarxa de tramvies de Barcelona. Una anàlisi (I II).* Treballs de la Societat Catalana de Geografia. CSIC. Barcelona, 1992, núm. 32, pp.103-132. <http://bddoc.csic.es:8080/detalles.html?tabla=docu&bd=GEOURBI&id=248579>

HERNANDO LÓPEZ, Alberto. *La línia 9, un projecte innovador per a resoldre una necessitat social.* Director: Míriam Villares Junyent. Universitat Politècnica de Barcelona. Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori. 2008. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/5862>.

MARTÍN BERMEJO, David. *Comparación de tiempos de trayectos metro-a pie-bici en la zona urbana de Barcelona.* Director: Francesc Magrinyà Torner. Universitat Politècnica de Barcelona. Departament d'Infraestructura del Transport i del territori. 2007. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3316>.

MARTÍNEZ SÁNCHEZ, José.A. *Anàlisi de la xarxa ferroviària de la RMB.* Director: Carles Casas Esplugas. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori. 2006. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3318>.

MELIS MAYNAR, Manuel, GONZÁLEZ FERNÁDEZ, Francisco Javier. *Ferrocarriles metropolitanos: tranvías, metros ligeros y metros convencionales.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, D.L: Madrid. 2002. 458 pp.

MIRALPEIX GARCÍA, Marta. *El ferrocarril en la Región Urbana de Barcelona. Análisis del desarrollo de la red ferroviaria y de metro (1848-2009) y modelización de su explotación (1950-2009).* Director: Pere Espelt Lleonart y Míriam Villares Junyent. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori. 2010. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/12120>.

PARCERISA, Josep y RUBERT DE VENTÓS, María. *Metro.* Edicions UPC: Barcelona. 2001. 180 p.

ROSCADELL I GARCÍA, M. *Criteris per a la implantació de línies de tranvía i de metro.* Director: Robert Vergés Fernández. Universitat Politècnica de Barcelona. Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori. 2003. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/6315>.

VIANA SUBERVIOLA, E. *Ferro-carriles en Barcelona. Movilidad y accesibilidad y su impacto sobre las transformaciones sociales y espaciales de la ciudad.* Director: Horacio Capel Sáez y Vicente Casals Costa. Universitat de Barcelona. Departamento de Geografía Humana. 2014. <http://hdl.handle.net/10803/285835>.

Fuentes digitales

A.T.M. Autoridad del Tránsito Municipal <http://www.atm.gob.ec/>.
F.G.C. Ferrocarriles de la Generalidad de Cataluña <http://www.fgc.cat/cat/index.asp>.
RENFE. Red Nacional de Ferrocarriles Españoles <http://www.renfe.com/>.
T.M.A.Transportes Metropolitanos de Barcelona <https://www.tmb.cat/es>.