



Definición y tipología de los sistemas ferro-viarios, aspectos generales. El caso español

Enrique Viana Suberviola
enriviana@gmail.com

Definición y tipología de los sistemas ferro-viarios, aspectos generales. El caso español (Resumen)

Este artículo versa sobre las diferentes definiciones y tipologías que poseen los sistemas ferro-viarios urbanos y su evolución a lo largo de la historia. Se estructura en tres apartados. El primer apartado narra la historia de los sistemas ferro-viarios urbanos, su evolución histórica y su relación con el desarrollo urbano de su entorno. El segundo apartado relata la distribución y cronología de los sistemas ferro-viarios urbanos actuales. Para ello se ha realizado un análisis a escala continental y otro a escala nacional (en el caso concreto de España). Por último, el tercer apartado versa sobre las características técnicas y financieras de los diferentes sistemas ferro-viarios, indicando las variables que diferencian a cada uno de ellos. En este apartado también se analizan los costes y los modos de recaudación inherentes a la implantación de un sistema ferro-viarios urbano.

Palabras clave: ferrocarriles, urbanismo, movilidad.

Definition and typology of the rail road systems, generalizations. The Spanish case (Abstract)

This article deals with the various definitions and types that have the urban rail road systems and its evolution over the course of history. This article is structured in three sections. The first section tells the story of the urban rail road systems, its historical evolution and its relationship with the urban development of its environment. The second section tells the chronology and distribution of the current urban rail road systems. An analysis has been undertaken on a continental scale and on a national scale (in the specific case of Spain). The third section deals with the technical and financial characteristics of the different urban rail road systems, indicating the variables that differentiate each one of them. It also discusses the costs and means of collection inherent in the implementation of a urban rail road system.

Keywords: urban rail road systems, urbanism, mobility.

El presente artículo versa sobre las repercusiones a nivel territorial, social y económico que son provocadas por la implantación de un sistema ferro-viario. Para poder conocer de forma

Recibido: 14 de septiembre de 2014
Devuelto para revisión: 18 de noviembre de 2014
Aceptado: 23 de mayo de 2015

certera el verdadero significado de la implantación de un sistema de transporte masivo de pasajeros, como el ferrocarril, en un territorio, se han de estudiar todas sus implicaciones a todos los niveles para, posteriormente, realizar un análisis a diferentes escalas espaciales. De esta manera se obtiene una visión amplia y concisa de las repercusiones de dicha implantación en el territorio¹.

En este artículo se desgranán las particularidades más notables que conforman a los sistemas ferro-viarios: su historia y evolución, sus diferentes tipologías, su distribución, sus características técnicas, sus implicaciones económicas... Con todo ello se pretende aproximar al lector al mundo de la geografía del transporte en todos sus niveles.

Historia de los sistemas ferro-viarios urbanos

Los ferrocarriles (ferrocarriles según una vieja denominación decimonónica) son aquellos medios de transporte que hacen uso de carriles de hierro para desplazarse. Estos fueron en un principio el ferrocarril, el metro y el tranvía aunque, posteriormente, surgieron sistemas más variados y mixtos. Estos medios de transporte modificaron radicalmente la configuración del territorio y de la ciudad, formando extensas redes². Este nuevo medio de transporte prescindía de la tracción animal, redujo el tiempo empleado en el desplazamiento, así como el coste asociado a este y posibilitó el transporte de ingentes cantidades de viajeros y mercancías.

Evolución histórica del ferrocarril

La máquina de vapor fue inventada por Watt, al perfeccionar la máquina de Newcomen, a finales del siglo XVIII. Posteriormente, otros técnicos innovadores como Trevithick, Vivian, Stephenson y Seguin, crearon las primeras locomotoras de vapor, que evolucionaron significativamente durante las décadas de 1840 y 1850, transformando al ferrocarril en un medio de locomoción competitivo³.

Sin embargo, a pesar de su rapidez y versatilidad, el acceso del ferrocarril a las ciudades no siempre fue fácil, ya que algunas de ellas poseían murallas que las rodeaban y que eran el límite infranqueable de las redes ferroviarias, así que lo habitual era que la estación se situase en el área perimetral a ésta (no obstante, hay muchas excepciones en toda Europa en las que el ferrocarril entra en los antiguos intramuros: Londres, Colonia, París, etcétera). Sin embargo, las áreas tangenciales a las murallas usualmente estaban bajo control militar y, en las primeras etapas de la instalación de las vías y estaciones, hubo conflictos entre el sector de defensa y los grupos de presión económica. Esta situación, basculada a favor de los proyectos de expansión inmobiliaria, propició el derribo de las murallas de las ciudades.

En ese momento no se percibía al ferrocarril como una barrera, ya que las murallas constituían un obstáculo mucho mayor, y no solo físico, sino también simbólico. Esta percepción también estuvo motivada por el hecho de que las vías e instalaciones ferroviarias

¹ El presente artículo se enmarca dentro de la realización de la tesis doctoral del autor dirigida por Horacio Capel y Vicente Casals y tutorizada por Isabel Pujadas, y que lleva por título "Ferrocarriles en Barcelona. Movilidad y accesibilidad y su impacto sobre las transformaciones sociales y espaciales de la ciudad".

² Capel, 2011.

³ Alcaide González, 2005.

solían situarse en espacios rústicos (de coste más reducido) y a una cierta distancia de la ciudad, sobre todo en las pequeñas ciudades intermedias. Debido a los escasos trayectos del ferrocarril y al limitado número de vías, éstas no supusieron una barrera para el peatón o para el transporte rodado. De hecho, la ocupación del terreno en el que se asentaba el ferrocarril era percibido como un espacio de oportunidades para generar plusvalías en terrenos colindantes o cercanos. En el momento en el que se densificaron estas redes, fue cuando se diferenciaron las áreas de *más allá de las vías*, es decir, aquellas que poseían menor accesibilidad. Esto fue sin duda una palanca urbana para la conformación de extrarradios y suburbios desestructurados y mal conectado a las tramas urbanas tradicionales.

La densificación de las vías supuso, además, la atracción de actividades expulsadas de la ciudad. Cuando fueron configurándose las viviendas y la industria en estas áreas, fue cuando se concretó la idea de que la vía ferroviaria constituía una barrera y no un límite. Por este motivo, para la circulación rodada y la seguridad de los vehículos se establecieron pasos a nivel cuya competencia recaía en las compañías ferroviarias. Pero no siempre se construyeron todos los pasos a nivel precisados debido a la abundancia de cruces de paso ferroviario que propició el desarrollo ferroviario en el siglo XIX. En las áreas urbanas, la cantidad de cruces y enlaces ferroviarios comenzaron a afectar a la seguridad, tanto de los peatones como del tráfico rodado, y comenzó a influir poderosamente en el valor del precio del suelo. Debido a ello, se optó por el soterramiento de las vías en numerosos casos; en otros no se soterraron y ello provocó un impacto crucial en el desarrollo de la morfología urbana, provocando el efecto barrera y dividiendo o aislando determinados sectores urbanos del resto de la ciudad. Incluso, en las ciudades de menor tamaño, las compañías ferroviarias no tuvieron reparos ni cortapisas en hacer uso del viario para la construcción del trazado de sus líneas⁴.

A medida que el uso del automóvil se generalizó ya en el siglo XX, comenzaron a aparecer problemas con las líneas ferroviarias y los pasos a nivel se multiplicaron, aumentando así los costes de explotación. Con la estatalización de los ferrocarriles y la mayor inversión pública en infraestructuras urbanas, disminuyeron los problemas, aunque no se erradicaron totalmente. Continuaban existiendo problemas en la relación del ferrocarril con el tránsito rodado y también otros nuevos o agravados, como la segregación urbana producida por el efecto barrera. Este efecto lastró el desarrollo del ferrocarril pero, posteriormente, se hallaron soluciones para paliar el problema, como la creación de enlaces de circunvalación.

Otras actuaciones realizadas fueron la conversión en estación pasante de estaciones que estaban en fondo de saco o la transformación de las estaciones mixtas que aglutinaban viajeros y mercancías, en estaciones dobles especializadas. También se conectaron las redes ferroviarias con instalaciones de apoyo y subsidiarias como los talleres, los apeaderos o las aduanas. El proceso urbanizador despegó cuando se soterraron las vías de los trenes de forma generalizada, especialmente a partir de 1950.

No todos los impactos generados por el ferrocarril fueron negativos, ya que las estaciones de ferrocarril reforzaron la centralidad en determinadas áreas urbanas⁵. Sin embargo se advertía

⁴ Capel, 2011.

⁵ Es fundamental que exista una buena distribución de las estaciones por el espacio (se calcula que el nivel óptimo de la distribución de las estaciones por el espacio varía según el medio de desplazamiento: en un entorno urbano, a 800 metros, es recomendable la existencia de una estación de ferrocarril, a 500 una de metro y a 300 una de bus). Las estaciones ferro-viarias poseen una gran importancia en la configuración urbana y han derivado en intercambiadores de bus, ferrocarril y metro. Así, de esta manera, se han configurado nodos comerciales de gran centralidad que interconectan los ferrocarriles con los aeropuertos y con las autopistas. La creación de

un problema en la distribución y cantidad de las estaciones, las cuales se diferenciaban por compañía y especialización de la línea, según fueran de viajeros o de mercancías (en el siglo XIX el ferrocarril se especializó en tráfico de mercancías y de pasajeros y en el XX se especializó en tráfico de larga distancia y de corta distancia).

Muchas estaciones concurrían en el centro y se situaban a poca distancia entre sí, lo cual era problemático para la conformación de una red ferroviaria coherente. Pero cuando la estación estaba alejada del centro, la construcción de una vía de acceso convertía a esta, en ocasiones, en la espina dorsal de un nuevo ensanche de la ciudad (casos como los de Oviedo o Vitoria, en España, resultan paradigmáticos). Estas vías de acceso fueron fundamentales para el desarrollo y configuración de instalaciones como los puertos y la industria y para la expansión de la urbe en su conjunto.

En cualquier caso, la capacidad de transformación espacial del ferrocarril se dejó sentir desde el primer momento. Aunque este tuvo en su origen el objetivo de intensificar la relación interregional, nacional e internacional, también se comenzó a utilizar a escala urbana y metropolitana, y para ello se fueron adaptando y mejorando las frecuencias de paso. Este incremento de la presencia del ferrocarril en los entornos urbanos y metropolitanos generó la intensificación del aumento de las plusvalías en el mercado del suelo. De hecho, este fenómeno ya se pudo observar en la inauguración de la primera línea de viajeros en 1830, entre Liverpool y Manchester.

Si bien es cierto que no ha habido suficientes investigaciones profundas al respecto, no hay lugar a dudas de que la creación de las segundas viviendas fue resultado directo de la expansión urbana condicionada por el ferrocarril⁶ y de que conocer el trazado de una línea ferroviaria era una información estratégica que podía generar grandes ganancias debido a la posterior urbanización del terreno adyacente. Entre las áreas más afectadas se encuentran determinadas áreas suburbanas en las que se asentaban las personas con mayores rentas (esto era debido a que al principio el precio del billete resultaba excesivamente caro para las clases populares).

Durante la primera mitad del siglo XX ya era muy evidente la relación e imbricación entre el ferrocarril y el medio urbano, así como la relación entre la red ferroviaria y el resto de sistemas de transporte. Debido a ello, a mediados de los años 70 del siglo XX, los planes ferroviarios se empezaron a ocupar de la red de transporte en su conjunto y de su relación con el resto de infraestructuras y su entorno urbano, en vez de planificar únicamente los enlaces de la red ferro-viaria. Según Horacio Capel⁷ la consideración del ferrocarril y el automóvil como dos sistemas antagónicos fue un error ya que debieron considerarse complementarios desde el primer momento⁸. Sin embargo, a pesar de la importancia del ferrocarril en la

estaciones en puntos nodales de intercambio modal produce un proceso de sinergia que beneficiaba a los diversos medios interconectados. Por otra parte, las estaciones se han remodelado y se han dotado de aparcamientos y comercios, lo que las convierten en más atractivas y accesibles a la población.

⁶ El ferrocarril, ciertamente, propiciaba la creación de nuevas urbanizaciones aunque no siempre pudo contar con el apoyo municipal; pero esa falta de apoyo se solventaba forzando la creación de un nuevo municipio, gracias a la colaboración de los propietarios de las áreas rurales por donde discurriría el ferrocarril, a los especuladores inmobiliarios, a los promotores de los tranvías y a determinadas personalidades con aspiraciones políticas. Las compañías ferroviarias expropiaban el suelo que estaba destinado a la explotación ferroviaria, pero también adquirían terrenos convirtiéndose así en agentes urbanos que modificaban la urbe.

⁷ Capel, 2011.

⁸ Sin embargo la repercusión que el ferrocarril y el automóvil tienen sobre el territorio es diversa. El automóvil supuso la eliminación de las barreras espaciales, así como la llegada de la conectividad a áreas de baja densidad,

movilidad y en la conformación urbana, entró en decadencia en las décadas de los años 60 y 70 del siglo XX (muchos ferrocarriles suburbanos se clausuraron debido a la competencia del metro) aunque posteriormente se transformó y nuevamente cobró impulso. Un ejemplo lo constituye la alta velocidad ferroviaria, que adquirió una gran relevancia, lo cual ha permitido la dinamización del ferrocarril⁹.

Evolución histórica del tranvía y del metro ligero

Los *ripperts* (vehículos parecidos al tranvía de sangre pero sin vías y más maniobrable, (figura 1) y ómnibus (vehículos tirados por caballos de gran capacidad de pasajeros y precursor de los modernos autobuses) fueron antecesores del tranvía moderno, pero estuvieron en servicio relativamente poco tiempo. Estos tranvías de sangre o hipomóviles eran tirados por caballos y aparecieron en Gales en 1807. Posteriormente, se construyeron tranvías de vapor y, ya en 1879, eléctricos. Mientras que los tranvías de sangre o hipomóviles tenían más versatilidad para instalarse en calles estrechas, los de tracción mecánica eran más rápidos. Este medio de locomoción supuso una revolución y rápidamente comenzó a implantarse.



Figura 1. La Catalana de Ripperts

Fuente: *Barcelona Rutas* (en línea), <http://www.barcelonarutas.com/la-catalana-de-ripperts/> [consultado el 28 de mayo de 2015]

La expansión de los tranvías¹⁰ se realizó generalmente desde el centro de las ciudades a las periferias, aunque los núcleos periféricos más próximos también adoptaron este innovador medio de locomoción. Los tranvías eléctricos, por lo general, continuaron con los trayectos de los tranvías de tracción animal, aunque no siempre se siguieron pautas de localización lógicas.

lo que propició que campo y ciudad comenzaran a diluirse. Si la red de carreteras es lo suficientemente tupida puede constituir un espacio isotrópico, es decir, un espacio en el que el movimiento posee el mismo coste, sea cual sea la dirección que adopte. El ferrocarril, la autopista, el barco y el avión en cambio convierten al espacio en anisotrópico. Un ejemplo de espacio anisotrópico es el espacio afectado por el “efecto túnel” creado por un ferrocarril, que provoca un espacio discontinuo al atravesar áreas sin estación. Se crean solo espacios de tránsito y se privilegia unos espacios sobre otros, creando áreas mejor o peor conectadas, más o menos ricas.

⁹ Capel, 2011.

¹⁰ En ciudades de más de 40.000 habitantes, cifra por debajo de la cual era poco probable la viabilidad de un tranvía. Capel, 2011.

Los lugares donde se ubicaban las estaciones eran puntos de afluencia pública, tales como mercados o teatros. En las áreas suburbanas se escogieron los lugares de mayor densidad poblacional para ubicar las estaciones.

El tranvía incentivó la transformación de la ciudad y modificó el precio del suelo y de los inmuebles, al alza si se mejoraba la accesibilidad y a la baja si los riesgos de accidentes, el ruido y la congestión eran elevados, lo cual sucedía en las calles más estrechas. El tranvía y el desarrollo urbano iban parejos; de hecho, en ocasiones, el tranvía se adecuaba a la nueva disposición urbana y en otros casos era al contrario, habilitándose nuevas plazas y manzanas para facilitar el cambio de sentido de los tranvías. La ciudad se expandía y el tranvía con ella; el número de pasajeros crecía y las vías férreas suponían un obstáculo cada vez mayor para otros medios de transporte. Debido a ello se procuró limitar el tranvía a las avenidas más amplias.

En este contexto, el tranvía se convirtió en uno de los principales medios de locomoción urbana y comenzó a competir y complementarse con el resto de medios. Concretamente, el tranvía complementaba al ferrocarril y entró en competencia con el automóvil y el autobús. Los tranvías conectaban con el ferrocarril en puntos neurálgicos de la ciudad, incentivaban nuevos desarrollos urbanos y circunvalaban la ciudad. Pese a esta complementariedad existente entre tranvía y ferrocarril, en ocasiones se producían conflictos de intereses al intentar, ambos sistemas, captar a los viajeros del espacio periurbano al que ambos daban cobertura. Esto se debía a que, al principio de su implantación, la distinción entre ferrocarril de vía estrecha y tranvía era muy tenue y, en ocasiones, solo se diferenciaban en función de su uso o del área espacial a la que proveían de servicio¹¹.

En cuanto a los medios de locomoción que competían con el tranvía destaca el autobús, especialmente a partir de 1920, al ser más adaptable al entramado urbano y al no necesitar inversiones previas en infraestructuras, como ocurría con el tranvía.

En el ámbito suburbano, urbano e interurbano, acabaron siendo fundamentales los trolebuses (ómnibus alimentado de energía por una catenaria) que tendrían su período de máxima actividad entre 1950 y 1970, cuando fueron sustituidos por autobuses. Esta época marcó el declive del tranvía y su desmantelamiento de la mayor parte de las ciudades, aunque en Europa oriental se mantuvieron.

Posteriormente, ha aparecido en el último cuarto del siglo XX un nuevo sistema de transporte, el metro ligero o tren ligero¹² (figura 2). Este medio ha sido descrito como la resurrección del tranvía en las ciudades occidentales, cuando, en realidad, está a medio camino entre un tranvía y un metro convencional, llegando, en ocasiones, a aproximarse claramente hacia este último.

Una de las ventajas que posee el metro ligero, frente a otros medios de transporte ferroviario, es su relativamente bajo coste de implantación. Además, para reducir costes suele aprovecharse la infraestructura ferro-viaria existente así como la infraestructura de la calle (si

¹¹ Un ejemplo fueron los tranvías suburbanos que unían áreas mal comunicadas o conectaban núcleos centrales con núcleos periféricos, ayudando a la conformación de los sistemas urbanos actuales. Los tranvías rurales fueron menos habituales, pero existieron también. En cuanto a la clasificación de los tranvías según su uso destacan los tranvías de mercancías que se usaban en la industria minera, en los puertos, para la industria de construcción, turística...

¹² V.V.A.A., Dirección General de Actuaciones Concertadas en las Ciudades. 1994.

se realiza el trazado en túnel o en viaducto, la inversión es entre 4 y 8 veces más cara que en superficie).



Figura 2. Metro ligero de Madrid

Fuente: *Skyscrapercity* (en línea),

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=935378&page=270&langid=5>

[consultado el 26 de mayo de 2015]

El metro ligero se instaló en algunas ciudades que ya habían albergado al tranvía tradicional. En otras ciudades cuyo medio fundamental de transporte era el autobús, se acordó implantar el metro ligero en los recorridos de mayor afluencia. Por último, también hay ciudades que disponían de metro o de ferrocarril pero poseían una red infrutilizada y áreas con una densidad poblacional baja que no habrían permitido el establecimiento de una línea de metro convencional y se optó por implantar el metro ligero. Por ello, optar por la implantación del metro ligero fue, en todos los casos señalados, una solución eficaz y rentable¹³.

Pero la implantación del metro ligero en las ciudades también implica modificaciones en el viario y en la circulación rodada. De hecho, el metro ligero reduce el espacio de tránsito al peatón y a los vehículos, así como limita los espacios de aparcamiento y el nivel de acceso a los inmuebles.

Para remediar esto se puede reconfigurar el ancho de calzada, eliminar plazas de aparcamiento o, directamente, designar determinadas vías o intersecciones para uso exclusivo de este medio de transporte. Diversas ciudades han aplicado políticas específicas en relación al metro ligero. Zurich dispone de un dispositivo de control de tráfico único, la *Onda verde*, que se acciona desde el interior del metro ligero y le da prioridad sobre el resto del tráfico en las intersecciones. Posteriormente al paso del metro ligero, el tráfico se autorregula. Otro ejemplo se encuentra en Alemania, que cuenta con el sistema BON con el que se puede localizar al vehículo en todo momento y que le permite realizar estudios acerca del funcionamiento real del convoy.

¹³ Por otra parte, es significativo indicar que, según el tipo de ciudad a la que da servicio el metro ligero, éste posee un tipo de importancia u otra. Así, en ciudades medias como Hannover, Calgary o Grenoble, suele ser el transporte principal, al contrario que en las grandes ciudades como París, Barcelona o Manchester, en donde complementa al metro o a los ferrocarriles de cercanías. En ocasiones, el metro ligero conecta a una ciudad con un núcleo satelital, como ocurre en Colonia-Bonn o en Nieuwegein-Utrecht.

A pesar de estas implicaciones que no son necesariamente negativas, se puede afirmar que el metro ligero mejora la accesibilidad de una urbe, sobre todo en las áreas más céntricas. También mejora la calidad del medio ambiente e impulsa el desarrollo y renovación de nuevas áreas urbanas. Puede ser viable incluso en densidades de 1.250 habitantes por km², con capacidad para 2.000-20.000 pasajeros/hora/sentido y está presente en ciudades de población muy dispar, que van desde algunos miles de habitantes hasta varios millones. El metro ligero reduce los accidentes derivados del desplazamiento, es accesible a todo el mundo (sobre todo para personas con movilidad reducida como los ancianos o los discapacitados) y posee una gran capacidad de transporte con un coste en tiempo de desplazamiento reducido¹⁴. Su relativo bajo coste de implantación y los buenos resultados obtenidos en las áreas menos densas y escasamente vertebradas de algunas importantes ciudades ha incentivado su puesta en marcha, tanto en ciudades grandes como medias. Actualmente hay mayor demanda energética y unos recursos escasos y, por ello, el metro ligero se perfila como la solución ideal en aquellos supuestos en los que el metro convencional resulta difícilmente implantable.

Evolución histórica del metro

A medida que la segregación entre los lugares de producción y reproducción se acentuaban y se hacía patente la necesidad de desplazar grandes contingentes de trabajadores de forma diaria y constante, se fue forjando la idea de crear un medio de locomoción rápido, expedito, de gran capacidad de viajeros y que tuviese unas frecuencias de paso adecuadas. También era importante que dicho sistema no entorpeciese el desarrollo urbano e industrial de la ciudad.

El metro, creado en 1863 en Londres (figura 3), solventaba esas necesidades, aunque, obviamente, su implantación suponía también la aparición de diversos inconvenientes. La correcta imbricación entre el espacio urbano y el sistema ferro-viario era fundamental para garantizar el éxito de ambos pues no debían entorpecerse ni mutilarse mutuamente. Los comienzos del metro fueron dificultosos en ese sentido. El metro se soterró debido a los inconvenientes que producían los viaductos elevados, que devaluaban el área urbana alrededor y provocaba problemas de movilidad.

Pero se produjo otra serie de problemas debido a su soterramiento. Las primeras técnicas constructivas que se emplearon para enterrar el metro eran las denominadas *cut and cover* (*corta y cubre*), que consistían en desbrozar el terreno por el que iría el recorrido de la línea, para después tapar la zanja resultante. Esto producía cicatrices en la urbe y una serie de damnificados que provocaban una gran conmoción social. Esta operación era beneficiosa a nivel técnico y económico, pero resultaba trágica a nivel social y urbanístico. Sin embargo, la mejora en las técnicas de horadación del terreno con tuneladoras y la progresiva importancia en los desplazamientos, fueron los responsables del auge del metro en las ciudades occidentales, sobre todo en las europeas. Tanta fue la importancia de este medio de locomoción en la expansión urbana que la planificación de las líneas tenían vinculación con determinadas operaciones inmobiliarias.

Es importante indicar que, paralelamente a la creación de las redes de metro, iban apareciendo proyectos que pretendían dar una conectividad a las periferias urbanas. Para ello se crearon proyectos que enlazaban entre sí las diversas líneas de ferrocarril interurbanas. Actualmente, la creciente expansión de las ciudades ha revitalizado este tipo de sistemas, llegando en

¹⁴ V.V.A.A. Dirección General de Actuaciones Concertadas en las Ciudades, 1994.

algunos casos a transportar a un número de pasajeros mayor que el propio metro. Algunas de las líneas del ferrocarril suburbano poseen frecuencias similares a las líneas de metro y se hallan integradas tarifariamente, lo cual hace que puedan considerarse como complementarias de la red de metro o incluso como parte de ella.



Figura 3. Ensayos en el metro de Londres, 1863.

Fuente: Tunnelling into history: Amazing images show London houses being demolished to make way for the Tube in 1863, the world's first underground railway, *Mail Online* (en línea), <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2259177/London-Underground-Amazing-images-houses-demolished-Tube-1863.html> [consultado el 23 de mayo de 2015]

En todo caso, la relación entre transformación urbana y metro es clara. El carácter duradero del metro le confiere a los lugares inmediatamente adyacentes a las estaciones una privilegiada posición dentro de la ciudad y se convierten en focos de concentración de servicios, equipamientos y empresas de todo tipo, creando un complejo entramado de sinergias. Hoy en día, el éxito del metro es innegable y su expansión imparable. Se considera actualmente al metro como el medio de transporte masivo de pasajeros, a nivel urbano, más eficiente, aunque también es el que mayor coste en inversión produce.

Evolución histórica del funicular y del monorraíl

El funicular se creó a mediados del siglo XIX (el primer funicular se inauguró en Lyon en 1862) y se puede afirmar que se aproxima más al ascensor que a un verdadero ferrocarril. Su uso se limita a fuertes pendientes donde un sistema de poleas accionadas por un motor eleva o desciende las cabinas donde son transportados los viajeros. Su uso está bastante extendido por su funcionalidad, su capacidad de transporte, la gran seguridad que ofrece este servicio y su buen funcionamiento, tanto en zonas urbanas como rurales.

Otro sistema ferro-viario similar se creó a finales del siglo XIX: el monorraíl, el cual es una variante del metro con un solo raíl proyectado sobre un viaducto o suspendido de él (el primer monorraíl suspendido se inauguró en 1901 en Wuppertaler Schwebebahn, aunque existían monorraíles no suspendidos desde finales del siglo XIX). Suelen ser de menor tamaño que un metro convencional, lo cual provoca menor impacto visual; aunque, por otra

parte, al transportar menor número de pasajeros por vagón y trayecto, se encarece el billete del viaje. Destaca por el escaso impacto sonoro que produce, así como por su versatilidad para ascender y descender por pendientes mayores que las soportadas por el metro convencional o el ligero. Son sistemas de transporte altamente seguros, aunque en el hipotético caso de una emergencia, la evacuación de los pasajeros está muy condicionada y el acceso a los vagones suele presentar dificultades para las personas con problemas de movilidad. De especial significado es el monorraíl construido en 1962 en Seattle (Estados Unidos), que se ha convertido en un auténtico símbolo de la ciudad (figura 4).



Figura 4. Monorraíl de Seattle

Fuente.: *Seattle Monorail* (en línea), <http://www.seattlemonorail.com/about/#route> [consultado el 20 de mayo de 2015]

Una variante del monorraíl es el Maglev (inaugurado en 1979 en Hamburgo) o tren de levitación magnética que, debido a que no posee rozamiento con la vía, puede llegar a alcanzar los 500 km/h y soportar fuertes deceleraciones a velocidades elevadas, debido a la gran estabilidad del sistema. Actualmente se está experimentando en la construcción de ferrocarriles Maglev que funcionan en el vacío, eliminando así el rozamiento del viento y que puede llegar a alcanzar los 6.400 km/h (aunque solo en un túnel al vacío), lo cual podría suponer una auténtica revolución en el ámbito transportístico.

Evolución histórica de la alta velocidad ferro-viaria

La alta velocidad ferro-viaria es un sistema ferro-viario que permite la circulación de trenes a una velocidad superior a 250 km/h, si la línea ha sido construida ex profeso, o de 200 km/h si se trata de una vía acondicionada. Se inauguró en 1964 en Japón, con los trenes Shinkansen. Este medio ha supuesto una revolución en el ámbito ferroviario, dándole un vigoroso impulso al sector.

Las estaciones de alta velocidad se sitúan, o bien en zonas céntricas de la ciudad, conectada con diversos sistemas ferro-viarios en nodos multimodales o en las afueras de la ciudad, en zonas de expansión urbana. Si la estación está dentro de la ciudad, la llegada de la alta velocidad puede suponer modificaciones en el entorno urbano adyacente. Si la estación se sitúa en la periferia, el conjunto de la red se beneficia pero puede suponer un grave problema de interconexión a nivel local. Por otra parte, la relación entre las diferentes administraciones estatales, provinciales y locales han sido clave para facilitar la implantación de la alta velocidad, ya que las plusvalías generadas por los terrenos liberados que se usan para

viviendas o para actividades terciarias, son motivo de negociación y discusión. Las operaciones inmobiliarias se justifican alegando que se autofinancian, pero esos cálculos no tienen en cuenta la densificación y el alto precio de las oficinas y viviendas edificadas.

Un fenómeno similar ocurrió en España en los años 60 y 70 con el tranvía. En algunos casos la liberación del terreno que ocupaban las antiguas estaciones sirvió para facilitar la creación de avenidas, parques y espacios libres o edificios institucionales y equipamientos, que reurbanizaron áreas urbanas degradadas¹⁵.

De hecho la importancia del AVE es de gran simbolismo para España (figura 5). España ha estado durante más de 150 años aislada del resto de los sistemas ferroviarios europeos debido a la creación del ancho de vía ibérico de 1.668 mm (ancho de vía sugerido por el ingeniero Juan Subercase en 1.844), que es de tamaño superior al ancho de vía europeo de 1.435 mm. Las razones para la implantación de este ancho de vía diferenciado indicaban que había mayor seguridad y rapidez en un convoy que circulase por una vía más ancha, aunque subrepticamente se especuló que pudo ser una maniobra del gobierno para impedir una nueva invasión francesa. Cuando se alcanza la conexión de la alta velocidad ferroviaria con el sistema de alta velocidad francés, España por fin se vertebra con Europa por medio del ferrocarril.

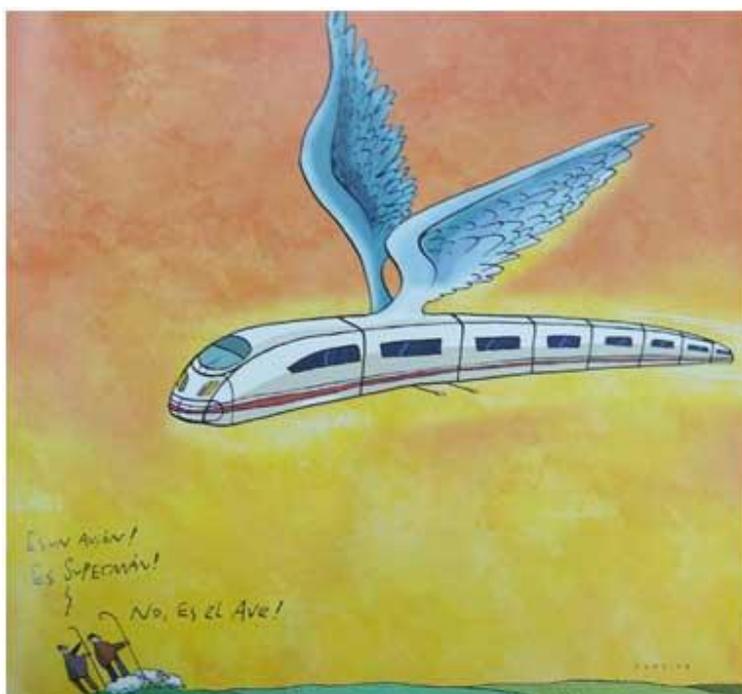


Figura 5. Ejemplo de percepción social del AVE

Fuente: El AVE de chiste, *Leónoticias.com* (en línea), <<http://www.leonoticias.com/frontend/leonoticias/El-AVE-De-Chiste-vn34248-vst280>> [consultado el 24 de mayo de 2015]

Esta importancia del AVE para España ha redundado en un afán constructor. De hecho, España tiene en proyecto la construcción de 2.300 kilómetros de AVE, cuatro veces más que Japón y ocho veces más que Francia, aunque el balance de la inversión del AVE resulta deficitario y es poco probable que puedan amortizarse dichas inversiones en el corto plazo. El AVE Madrid-Sevilla registra 14.000 pasajeros/km y el AVE Madrid-Barcelona 9.000

¹⁵ Capel, 2011.

pasajeros/km. Sin embargo el trayecto París-Lyon alcanza 59.000 pasajeros/km, el trayecto Colonia-Frankfurt 51.000 pasajeros/km y el trayecto Tokio-Osaka 235.000 pasajeros/km. Se precisan entre 6.5 y 8 millones de pasajeros al año para hacer viable un recorrido en alta velocidad y ninguno de los trayectos españoles cumple con ese requisito. Además, los estudios indican que no ha habido alteraciones significativas en el número de habitantes, viviendas o industrias en las poblaciones que poseen estación de AVE. Únicamente el turismo en Córdoba y Sevilla se vio favorecido los primeros años.

El transporte de mercancías tampoco se ha visto afectado. En España representa una media de 3,8% de mercancías transportadas por ferrocarril, mientras que Alemania supone un 22% y la UE un 18%. Otro inconveniente es que el AVE solo transporta pasajeros, ya que si fuese un sistema de transporte mixto (pasajeros y mercancías) la velocidad máxima se reduciría entre 180 y 250 km (velocidad alta).

Para completar la información, cabe decir que España ha invertido 46.000 millones de euros en infraestructuras de alta velocidad en los últimos 20 años, que sin duda lastrarán largamente la ya abultada deuda pública española¹⁶.

Evolución histórica de los sistemas ferro-viarios mixtos

En redes ferro-viarias complejas, no es extraño encontrar que una misma vía es usada por servicios de metro, de metro ligero y de ferrocarril suburbano. La miscelánea de posibilidades que ofrece un mismo trayecto hace dificultosa la tarea de determinar qué tipo de sistema estamos usando. Un ejemplo de lo dicho es el *tren-tram*, que es una hibridación entre tren y tranvía, es decir, una línea ferroviaria que actúa como un tren de cercanías en el área interurbana para, en el momento de atravesar un núcleo urbano, comportarse como una típica línea de tranvía o metro ligero.

Distribución y cronología de los sistemas ferro-viarios en la actualidad

En la actualidad, existen 169 metros en el mundo y 483 tranvías y metros ligeros. Esta acuciante diferencia es debida a diversos factores, entre los que se incluyen el elevado coste de implantación que requiere la red de metro respecto a otros medios ferro-viarios y la necesidad de una determinada densidad de población en un espacio urbano que justifique la implantación del metro.

El tranvía y el metro ligero suponen una alternativa ferro-viaria más flexible debido al relativo bajo coste de su implantación. Son unas opciones mucho más realistas y viables en ciudades medias, las cuales son mucho más numerosas que las ciudades grandes (superiores a 1 millón de habitantes). De hecho, el tranvía y el metro ligero suelen ser medios de transporte de masas complementarios de otros medios como el ferrocarril o el metro en ciudades de gran cantidad de población.

¹⁶ Gómez, 2013.

Distribución y cronología de los sistemas ferro-viarios urbanos en el mundo

A pesar de que la historia del metro se remonta a casi 150 años atrás, a 1863 (cuando se inaugura el metro de Londres), su desarrollo ha sido irregular, en cuanto a sus pautas de distribución en el mundo. Apenas una quinta parte del total de líneas de metro se construyeron antes de 1950. Entre 1950 y 1975 se construyó una cuarta parte más y, a partir de 1975, se crearon las dos terceras partes de sistemas de metro en el mundo. Si el análisis se realiza por continentes, es Europa la que posee un mayor número de metros y tranvías, con la mitad de redes del globo aproximadamente, mientras América y Asia Oriental se reparten la otra mitad. Oceanía y África son meramente residuales en este análisis (figuras 6, 7 y 8).

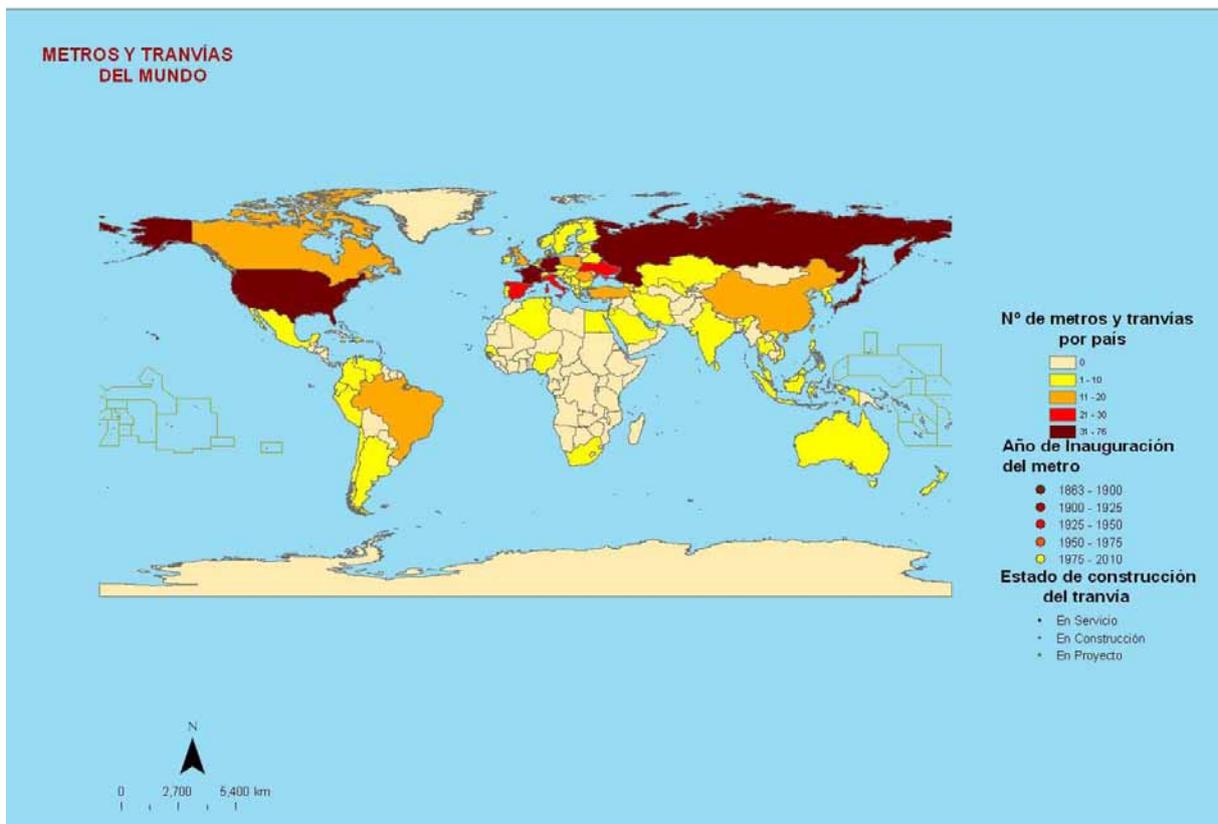


Figura 6. Metros y tranvías del mundo

Fuente: Elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

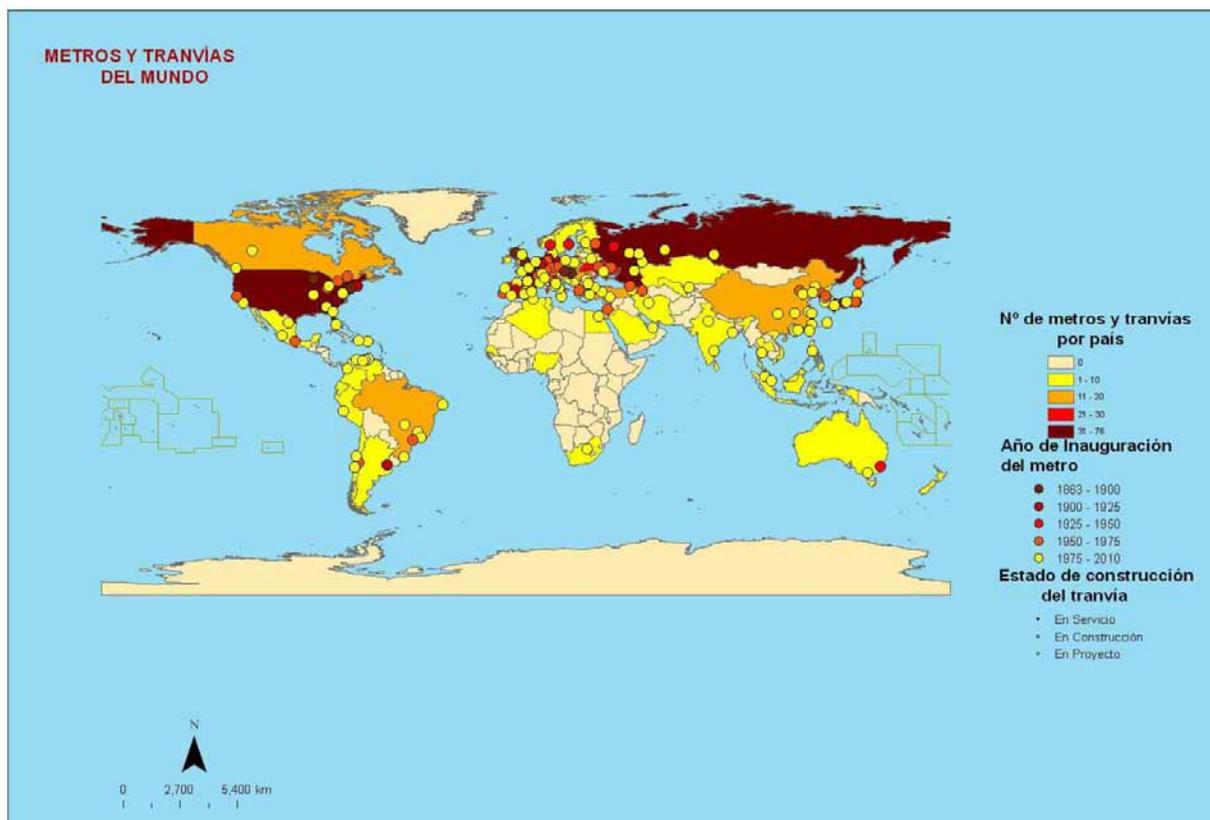


Figura 7. Metros del mundo.

Fuente: Elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

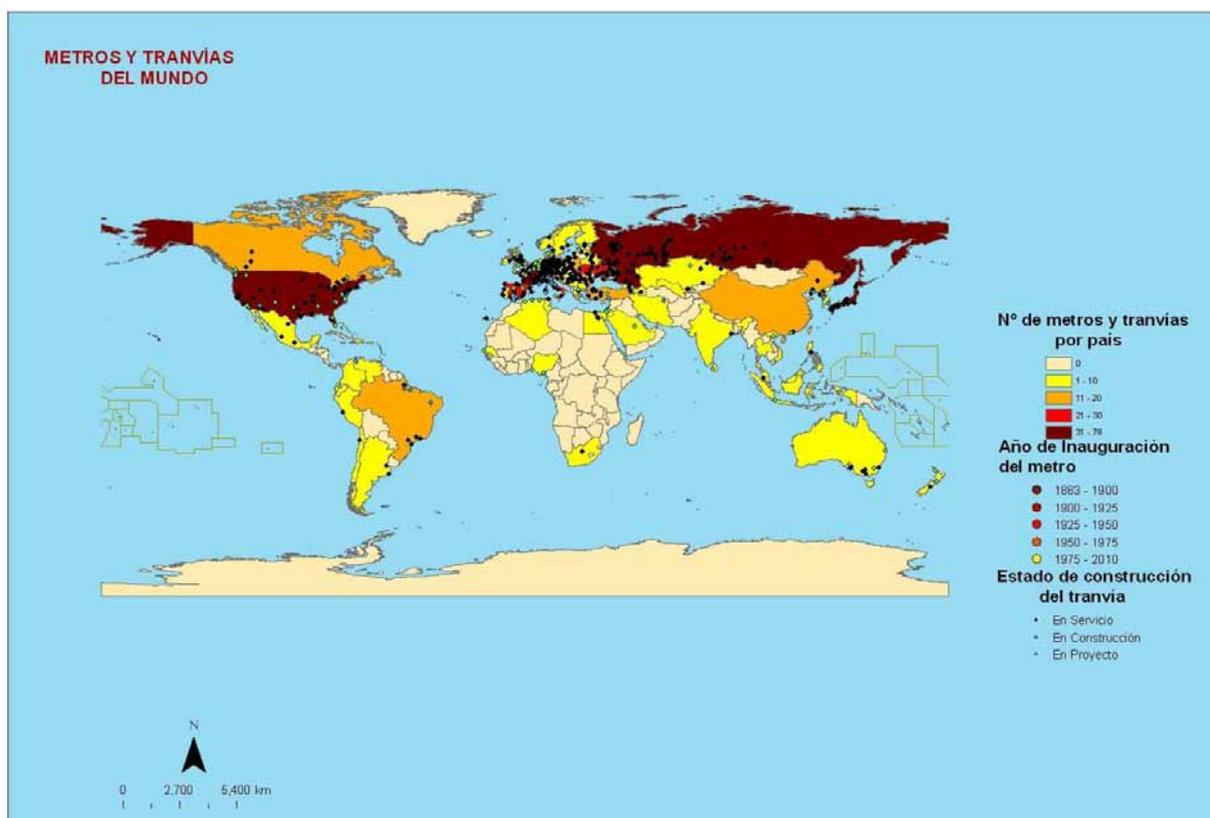


Figura 8. Tranvías del mundo.

Fuente: elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

En un análisis más pormenorizado podemos concretar que Europa presenta un nivel de desarrollo notable y en este sentido han sido varias las razones que han posibilitado semejante expansión. En parte se trata de un fenómeno histórico, al ser en Europa donde se gestó el ferrocarril urbano. Hasta la Segunda Guerra Mundial, las mayores ciudades del planeta se aglomeraban predominantemente en Europa y EEUU, y era en Europa donde esas ciudades tenían una mayor densidad de población y actividades. Este hecho favoreció la creación de redes de metro en sus urbes, puesto que un elevado nivel de densidad de población es, justamente, uno de los factores que permiten la viabilidad funcional y económica del sistema metro.

Por otra parte, EEUU contaba con grandes ciudades que poseían una baja densidad de población y, por ello, el transporte rodado era el principal elemento de desplazamiento de la clase trabajadora. Un tipo de medio que se generalizó de forma mucho más prominente y de forma más temprana que en Europa.

En Europa destacan Francia, Rusia y sobre todo Alemania en cuanto al número de metros y tranvías instalados (figura 9). Después de la configuración de las redes de metro de París y Lyon, Francia ha impulsado su ampliación a otras ciudades en los últimos 25 años, período en el que núcleos como Marsella, Rennes, Toulouse o Lille han podido disponer de dicho medio. La red de metros ligeros proyectada en el país es aún mayor y abarca un considerable número de ciudades medianas que se sitúa en torno a la docena. Incluso París, al igual que Londres, a pesar de poseer amplias redes de metro ligero, pretenden crear nuevas tramas en sus capitales.

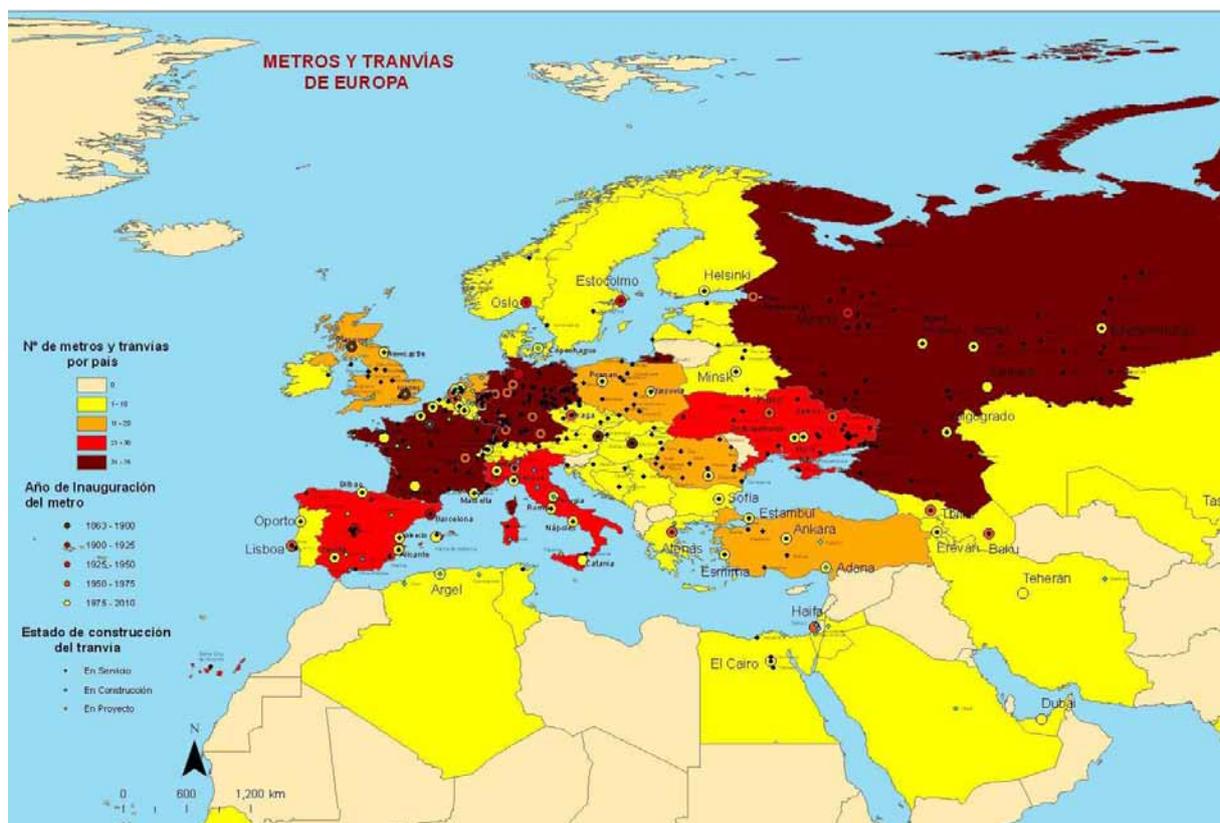


Figura 9. Metros y tranvías de Europa.

Fuente: elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

Rusia, por su parte, implantó el metro en Moscú y en San Petersburgo en la primera mitad del siglo XX. Más tarde, en el último cuarto de ese siglo, se implantó el metro en ciudades medias como Novosibirsk, Kazan o Volgogrado. Sin embargo, en Rusia, el desarrollo del tranvía fue muy prominente. Ocurrió de igual manera en los actuales países que conformaban la antigua URSS y, de forma muy destacada, en Ucrania. También destacan en este sentido otros países de la antigua órbita soviética, como Polonia y Rumania. No es de extrañar que el tranvía poseyese tal implantación en los países comunistas, ya que era un medio eficaz de desplazamiento de trabajadores, que tenía unos costes de implantación y gestión relativamente asequibles, y que poseía una gran facilidad de integración en ciudades medias y grandes.

Alemania, por su parte, simboliza un ejemplo de éxito a nivel mundial sin precedentes en cuanto a los sistemas ferro-viarios se refiere. Posee medio centenar de tranvías y 16 sistemas de metro y, aunque su implantación fue tardía respecto de otros países como el Reino Unido o Francia, su desarrollo fue imparable, especialmente en la década de los años setenta del siglo XX. Como ejemplo, puede decirse que en la región del Ruhr se implantaron ocho redes de metro en diversas ciudades, en apenas una década (Bielefeld –ver figura 10-, Dortmund, Essen, Bochum, Duisburg, Dusseldorf, Colonia y Bonn).



Figura 10. Metro de Bielefeld (Alemania)

Fuente: "Metro de Bielefeld", *Viquipèdia* (en línea) http://ca.wikipedia.org/wiki/Metro_de_Bielefeld [consultado el 26 de mayo de 2015]

Por otra parte, la versatilidad y posibilidad de modificación del trazado del tranvía, permitían maniobrabilidad en la toma de decisiones relativas al posicionamiento y control de los polos de desarrollo industrial; lo cual, unido a su fácil implantación y bajo coste, lo convirtió en un medio de transporte perfecto en la tupida red de ciudades medias y grandes de Alemania. Este

país posee una miscelánea de medios de locomoción amplia y compleja, y la separación física y tecnológica entre un metro y un metro ligero o un tranvía en ocasiones resulta difusa. Algunos medios innovadores como el citado tren magnético o *maglev*, se vieron tempranamente introducidos en este país industrial.

Otro ejemplo paradigmático es Reino Unido, el cual destaca, quizá, por poseer pocos pero importantes sistemas de metro, empezando por el de Londres (figura 11): el primero, el mayor hasta hace poco tiempo y el que mayor repercusión ha tenido en el imaginario popular a escala mundial. El hecho de ser un país anglosajón y de poseer grandes áreas urbanas dispersas, ha posibilitado la creación de redes ferroviarias más próximas al Tren-Tram que al metro, ya que la superficie que abarcan dichos sistemas ferroviarios son de carácter regional, que sobrepasa los límites del espacio urbano convencional. En este sentido, se podría hablar de un desarrollo ferroviario ligado a un crecimiento urbano importante. Se podría decir incluso que existe un sistema urbano que engulle a Inglaterra, con límites difusos e interacciones constantes.



Figura 11. Red actual del metro de Londres.

Fuente: *Metro Map London* (en línea), <http://metromaplondon.com>
[consultado el 26 de mayo de 2015]

Del resto de Europa, destacan España e Italia por su impulso, relativamente reciente, del metro en diversas ciudades (exceptuando a las grandes ciudades como Madrid, Barcelona, Roma o Milán, que ya tenían metro desde hacía largo tiempo) y, sobre todo, por su impulso hacia el metro ligero.

Por último, es necesario hacer mención de los estados del centro de Europa, como Hungría o Austria que, ya en sus inicios, apostaron por el metro como un medio de transporte innovador y de futuro. Sus capitales Viena y Budapest crearon unas redes de metro antecesoras, incluso, a la de París.

En América del Norte (figura 12) el metro se materializó en las pioneras redes de Nueva York, Chicago, Boston y Filadelfia. Sin embargo, la explosión automovilística y el auge y expansión urbanística del modelo anglosajón frenaron en seco el potencial del ferrocarril urbano en este país. Dispersión urbana, escasez de políticas públicas de transporte y la preponderancia del automóvil, explican este hecho. Sin embargo, en el último cuarto del siglo XX, se potenció la creación de pequeños entramados ferro-viarios en los centros de las grandes ciudades norteamericanas, de Miami a Los Ángeles y, de igual manera, se produjo un auge del metro ligero en buena parte de las ciudades medias de EEUU. En Canadá, Vancouver, Montréal y Toronto poseen las redes de metro más destacables.

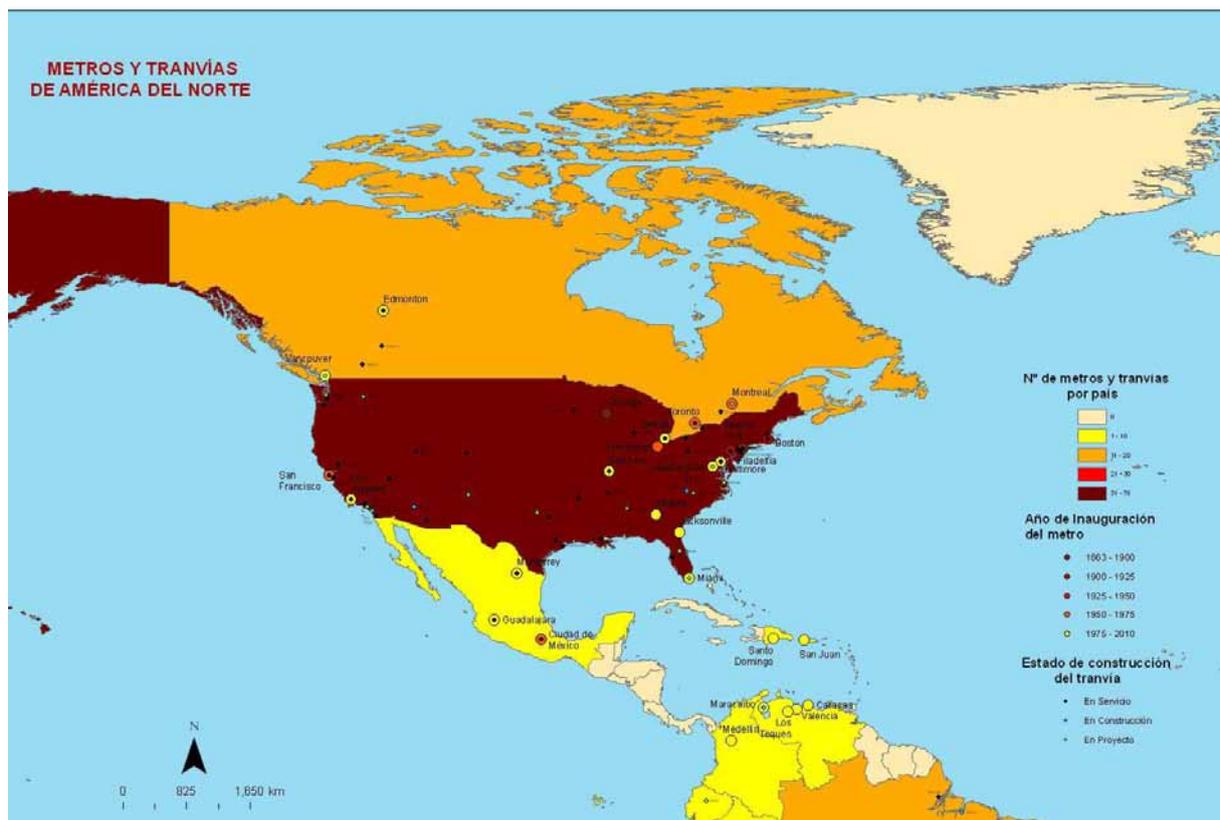


Figura 12. Metros y tranvías de América del Norte

Fuente: Elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

Los países iberoamericanos (figura 13) comienzan a impulsar la creación de metros y metros ligeros en sus principales ciudades. Países como Argentina, Brasil, Chile, México o Venezuela comprueban diariamente cómo sus economías comienzan a emerger con fuerza. En este contexto, la necesidad de un sistema potente de desplazamiento urbano, es vital para un correcto desarrollo económico y para asegurar la calidad de vida de los ciudadanos. El hecho de poseer grandes contingentes de población obrera con medios económicos limitados, facilita la implantación de un medio de transporte de masas.



Figura 13. Metros y tranvías de América del Sur

Fuente: elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

Destaca, entre todos, el metro de Buenos Aires, uno de los primeros del mundo y el primero en el mundo hispano, aunque, lamentablemente, en la segunda mitad del siglo XX, su desarrollo se interrumpió, ofreciendo finalmente una red bastante acotada para el contexto de la ciudad a la que sirve (figura 14).

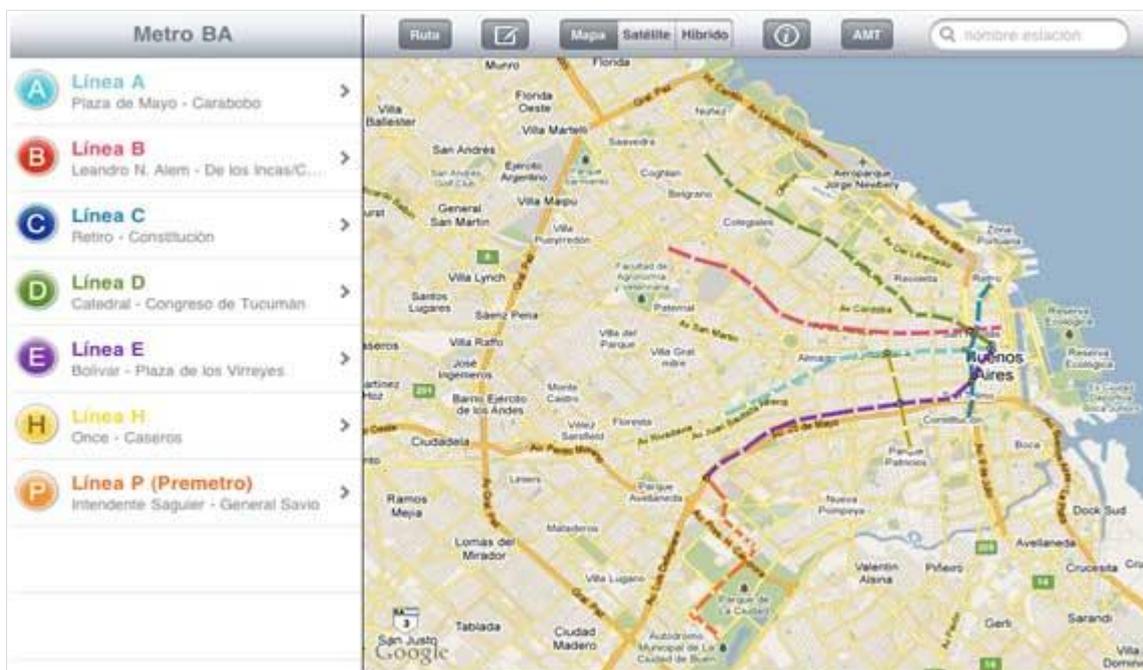


Figura 14. El metro Buenos Aires.

Fuente: AMT Desarrollos (en línea): <https://amtdevelop.files.wordpress.com/2010/08/b.png> [consultado el 23 de mayo de 2015]

En Asia (figura 15), destaca Japón, que posee uno de los mayores nudos ferro-viarios del mundo. Corea del Sur y las ciudades costeras o próximas a la costa de China, presentan un desarrollo reciente y vertiginoso, síntoma del despegue de los dragones asiáticos y la preeminencia económica de este continente en la actualidad y, con toda probabilidad, en el futuro inmediato. El resto de Asia no posee una significativa red ferro-viaria urbana a excepción de Turquía, sin duda debido a su cercanía con Europa y a su modelo de desarrollo económico y urbano. India, pese a haber experimentado un crecimiento de su desarrollo económico muy notable en los últimos años, no destaca especialmente, en cuanto a la implantación de sistemas ferro-viarios urbanos.

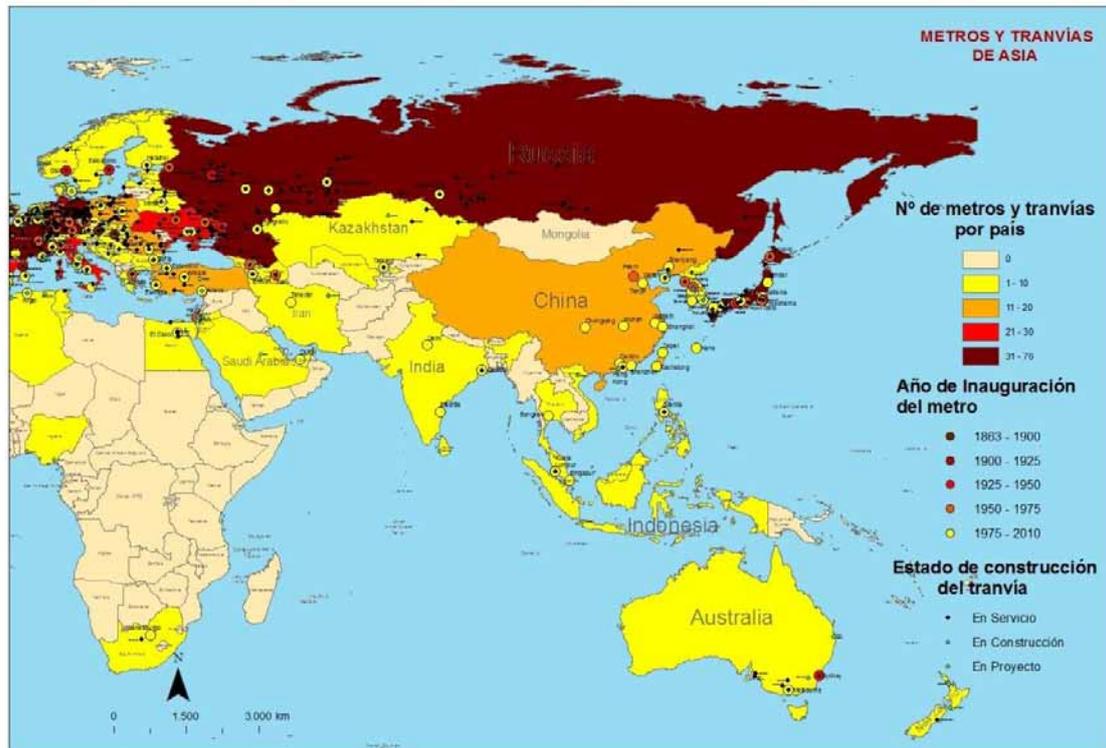


Figura 15. Metros y tranvías de Asia

Fuente: Elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

Oceanía y África poseen metros cuya implantación ha sido muy reciente. En África (figura 16) existen redes ferro-viarias en los países del norte y del sur (Sudáfrica, Egipto, Argelia y Túnez). Estas redes ferro-viarias son escasas y están circunscritas a unas pocas ciudades como Johannesburgo o Argel. En Oceanía (figura 17) están implantadas, básicamente, en las grandes ciudades australianas.

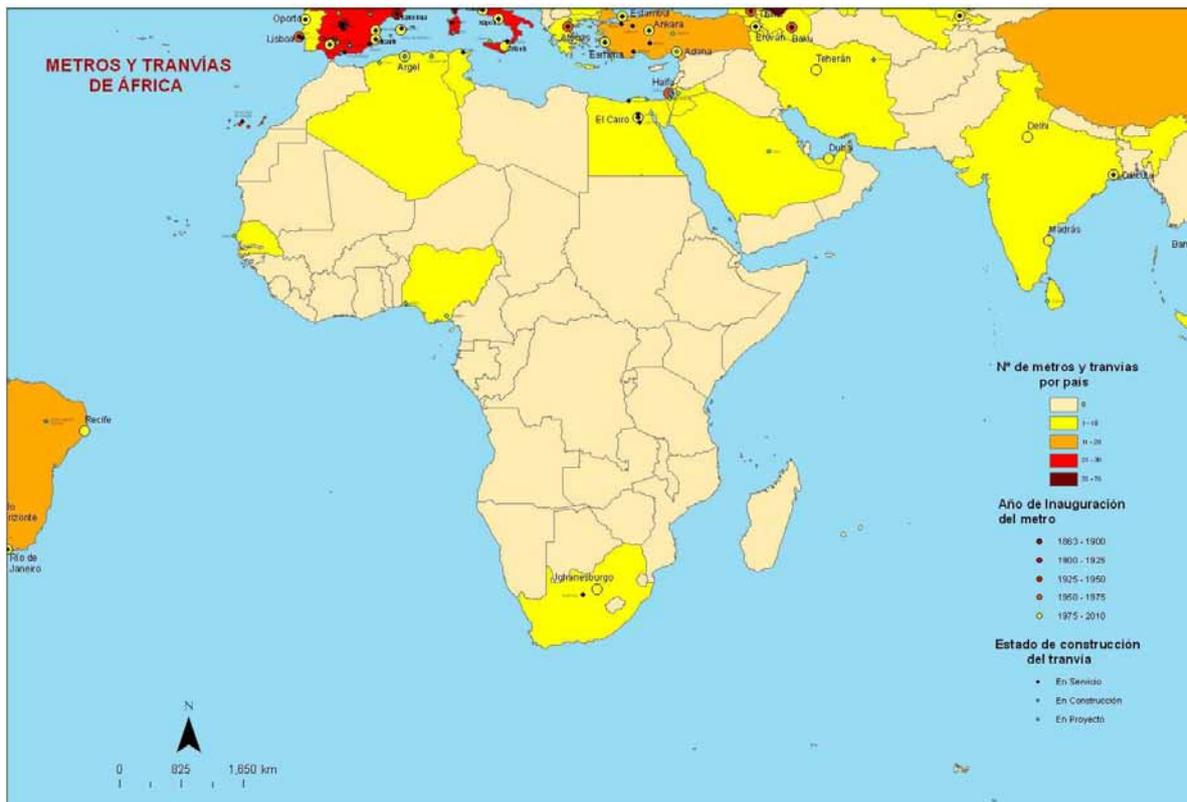


Figura 16. Metros y tranvías de África

Fuente: elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.



Figura 17. Metros y tranvías de Oceanía

Fuente: elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

Según Parcerisa y Rubert de Ventós¹⁷, los metros europeos, norteamericanos y canadienses poseen unos 20 millones de pasajeros por km de línea, en contraposición a los metros asiáticos y latinoamericanos, que poseen entre 60 y 70 millones de pasajeros por la misma unidad de medida. Los metros pertenecientes a las ciudades de la antigua URSS poseen una media de 90 millones de pasajeros por km de línea lo que los convierten en los más utilizados del mundo.

Distribución y cronología de los sistemas ferro-viarios urbanos en España

En el caso de España (figura 18), el metro se halla presente en Madrid, Barcelona, Valencia, Bilbao, Sevilla, Málaga, Alicante y Palma de Mallorca. Excepto las dos últimas ciudades, el resto genera ámbitos metropolitanos que superan o se acercan –aunque en el caso de Málaga se trata más bien de una región urbana litoral- el millón de habitantes y que poseen una gran concentración laboral y que, por tanto, pueden justificar la implantación de un sistema de metro.



Figura 18. Metros y tranvías de España

Fuente: elaboración propia a partir de T.M.B, A.T.M, F.G.C y RENFE.

La red de metro ligero es muy reciente y se circunscribe a algunas de las ciudades antes citadas y a otras como Vitoria o Murcia que, sin embargo, representan una excepción, más que una norma. Se puede contemplar un deseo relativamente reciente de promocionar el metro en las ciudades de mayor envergadura de España; los metros de Bilbao, Valencia y Sevilla comenzaron a fraguarse con procesos muy distintos y dilatados en los años setenta del

¹⁷ Parcerisa y Rubert de Ventós, 2001.

siglo pasado. Palma de Mallorca o Sevilla son dos de los ejemplos más recientes, a los que quizá se sumarán en un futuro, Málaga, Granada o Gijón. El metro ligero por su parte tiene mayores visos de expandirse, tanto en las ciudades anteriormente citadas como en la mayoría de ciudades medias de la península. Sin embargo y, pese a este deseo presente en varias iniciativas que pretenden impulsar este tipo de transporte, es posible que no puedan llegar a concretarse, debido a la actual crisis económica.

Características técnicas y financieras de los sistemas ferro-viarios urbanos

A mediados del siglo XIX, la mayoría de las ciudades no tenían más de 10 km de diámetro y eran fácilmente transitables a pie (4 km/h). Si el desplazamiento se podía efectuar a caballo, la velocidad de desplazamiento 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 (metro convencional, metro ligero, tranvía, ferrocarril...); sin embargo, las diferencias entre los diversos tipos de ferrocarril 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 ferrocarriles urbanos basan sus sistemas de explotación en líneas o recorridos de gran densidad de población¹⁸. 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/seg². 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 seguras en las líneas servidas.

Entre todos los sistemas de transporte ferro-viario urbano, el metro pesado o convencional es el que posee mayor capacidad de transporte, ya que puede llegar a una capacidad de 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, que pueden llegar a medir 150 metros y 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 importantes 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

¹⁸ Melis Maynard y González Fernández, 2002.

ligero y el tranvía son sistemas aptos y convenientes en ciudades o áreas urbanas medias y son complementarias 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 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 las que se 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 subrayar que el metro convencional posee una característica única, ya que toda su infraestructura es independiente del resto de sistemas de transporte. Este hecho convierte a este 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).

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
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, M., González Fernández, F.J. p. 39.

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 de transporte 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 ligero¹⁹ 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% de plataforma reservada, y de 40 km/h si tiene un 90% 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 este, 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.

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 para ponderar la utilidad de los diferentes sistemas ferro-viarios es el grado de accesibilidad. El grado de accesibilidad a las estaciones 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

¹⁹ V.V.A.A. Dirección General de Actuaciones Concertadas en las Ciudades, 1994.

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 preferible construir una nueva línea a gran profundidad, aunque eso aumente el coste y la accesibilidad al andén sea más incómoda²⁰.

El cuadro 2 amplía el grado de variables respecto al cuadro 1. Así, se puede observar cómo el tranvía posee de media de uno a tres vagones, el metro convencional de uno a diez y el metro ligero de uno a cuatro. La profundidad de las estaciones es poco significativa en el metro ligero y considerable en el metro convencional. En cuanto al control de acceso de los usuarios en las estaciones, no existe ninguno, excepto en el metro convencional que es completo y en el metro ligero que es variable. En cuanto a la red y al área cubierta, suele ser dispersa y con buena cobertura, excepto en el metro convencional, que es radial aunque también con buena cobertura, predominantemente. La longitud media de viaje es media o larga para todos los sistemas, excepto para el tranvía y el autobús convencional, que suele ser corta o media. En cuanto a la interrelación con otros modos de transporte, la mayoría posee estacionamientos de disuasión alimentados por autobuses, excepto el tranvía y el metro convencional, que pueden alimentar otros modos de mayor capacidad.

Por último, es importante reseñar las características técnicas de otras infraestructuras²¹, como pueden ser los intercambiadores de transporte. Estos deben tener una distribución clara, una señalización simple y es conveniente que haya tickets multimodales y multiviajes enmarcados en un sistema tarifario integrado. La presencia de escaleras mecánicas en desniveles superiores a cuatro metros resulta fundamental, así como las escaleras convencionales, cuya anchura debe ser, al menos, la mitad de los pasillos. Como resulta una prioridad la minimización de las distancias, es conveniente implantar sistemas hectométricos de transporte, así como paneles de información electrónica para dar información a los pasajeros.

A pesar de que, teniendo en cuenta las características técnicas analizadas, el metro pudiera parecer el medio de transporte ferro-viario más completo, lo cierto es que la tendencia actual apunta a que hay una reducción de la ampliación de las redes de metro existentes a favor de la introducción de sistemas ferro-viarios suburbanos que están diseñados para el recorrido de largas distancias a mayor velocidad y con una separación entre estaciones mayor. En las ciudades que ya poseen metro desde hace muchos años, se priman los ferrocarriles de cercanías, mientras que en las ciudades que no tienen metro, se suele dar prioridad a este a la hora de implantar un sistema ferro-viario urbano.

²⁰ Melis Maynard y González Fernández, 2002.

²¹ V.V.A.A., Dirección General de Actuaciones Concertadas en las Ciudades. 1994.

Cuadro 2.
Características técnicas, operativas y del sistema de los modos de transporte público urbano

Características del vehículo-unidad	Tranvía	Autobús convencional	Autobús con camino propio/guiado	Metro ligero	Transporte guiado automático	Metro convencional
Composición mínima de la unidad	1	1	1	1 (4 ejes)	De 1 a 2	De 1 a 3
Composición máxima de la unidad	3	1	1	2-4 (6-8 ejes)	De 2 a 4	De 4 a 10
Longitud del vehículo (m)	14-23	Entre 8 y 12	Entre 8 y 12	14-30	De 12 a 30	15-23
Capacidad del vehículo (asientos)	22-40	30-80	30-80	25-80	De 20 a 50	32-84
Capacidad del vehículo (plazas)	100-180	40-120	40-120	110-250	60-150	140-280
Instalaciones fijas						
Infraestructura independiente (% longitud total)	0-40	0	40-90	40-90	100	100
Control del vehículo	Manual/Visual	Manual/Visual	Manual / Visual/Señales	Manual/Señales	Señales	Señales
Control de billetes (peaje)	En el vehículo	En el vehículo	En vehículo o en estación	En vehículo o en estación	En la estación	En la estación
Toma de corriente	Aérea	-		Aérea	Tercer carril	Tercer carril/aérea
Altura de las estaciones	Bajo	Bajo	Bajo/Alto	Bajo/Alto	Alto	Alto
Control de acceso de usuarios en las estaciones	Ninguno	Ninguno	Ninguno-Total	Ninguno-Total	Total	Total
Características operativas						
Velocidad máxima (km/h)	60-70	40-80	70-100	60-100	50-90	80-100
Velocidad comercial (km/h)	entre 12 y 20	10-20	20-40	20-40	20-40	25-60
Frecuencia máxima (unidades/h)	60-120	60-120	60-90	40-90	40-90	20-40
Capacidad (plazas/h) por sentido	4000-5000	2400-4000	4000-8000	6000-20000	6000-20000	10000-40000
Regularidad	Baja-media	Baja-Media	Alta	Alta	Muy Alta	Muy alta
Aspectos del sistema						
Red y área cubierta	Dispersa, Buena cobertura	Dispersa, Buena cobertura	Buena cobertura del centro. Dificultad de uso	Buena cobertura del centro	Predominantemente radial, buena-media cobertura del centro	Predominantemente radial, buena-media cobertura del centro
Separación de estaciones (m)	250-500	200-500	350-800	350-800	400-1000	500-2000
Longitud media de viaje	Corta-Media	Corta/media/larga	Media a larga	Media a larga	Media a larga	Media a larga
Interrelaciones con otros modos	Puede alimentar otros modos de mayor capacidad	Puede alimentar otros modos de mayor capacidad	Estacionamiento de disuasión alimentado por autobús convencional	Estacionamiento de disuasión, alimentado por autobuses	Estacionamiento de disuasión, alimentado por autobuses	Estacionamiento de disuasión, alimentado por autobuses

Fuente: V.V.A.A. 1994, p. 24-25.

Características financieras de los sistemas ferro-viarios urbanos

Las infraestructuras de transporte generan una serie de beneficios y de perjuicios. Dependiendo del tipo de beneficio y del beneficiario, se produce un tipo de problemas u otros y el procedimiento e imputación del pago son también diferentes, según aparece en el cuadro 3²².

²² Aristi Biurrun y Maldonado Inocencio, 1994.

Cuadro 3
Beneficios y beneficiarios del transporte urbano y posibles aportes a su financiación

Tipo de Beneficio	Beneficiario	Imputación del Pago	Procedimiento de Pago	Problemas Singulares
Desplazamiento de los usuarios	Los usuarios del transporte colectivo	Según política de cobertura de costes y el excedente de los usuarios	Precio del título de transporte	Posible generación de transferencias
Posibilidad de desplazamiento	Residentes en el área de estudio o atraídas por ellas	Porcentaje del beneficio agregado de los usuarios efectivos	La administración territorial con cargo a los recursos generales	Pago del beneficio de los atraídos por el área servida y residentes fuera de ella
Mejora de la accesibilidad al área servida	Los empleadores y el sector terciario	Empleo atendido y expansión de áreas de influencia de comercio y servicios	Gravámenes sobre volumen de empleo y de actividad	Oportunidad y aceptabilidad del gravamen
Usos de suelo y plusvalías	Propietarios inmobiliarios	Incremento del valor de los bienes inmuebles y de los alquileres	Gravámenes sobre los valores del suelo o sobre las plusvalías	Oportunidad y aceptabilidad del gravamen. Posible generación de transferencia
Minorización del consumo del espacio	Usuarios de vehículos privados	Según ahorros para cada velocidad de circulación	Gravamen sobre posesión de vehículo o sobre el coste variable de los vehículos "peaje urbano"	Oportunidad y aceptación del gravamen. Posible generación de transferencia
Minorización de recursos y efectos externos	La colectividad y las Administraciones públicas	Según ahorros para cada velocidad de circulación	Las administraciones públicas	Procedencia general o específica, de los recursos correspondientes
Mejora de la eficiencia urbana	La colectividad	Según estimación convencional	Las administraciones públicas con cargo a recursos generales	Afectación a ámbitos territoriales más amplios que el área servida y a administraciones competentes

Fuente: Síntesis a partir de conclusiones del estudio: Aristi Biurrun, J: "La financiación del transporte público urbano: Teoría y soluciones prácticas". Dirección General de Planificación Intermodal del Transporte en las Grandes Ciudades (1992) en Aristi Biurrun, J. y Maldonado Inocencio, J. L. "Financiación de infraestructuras y servicios de transporte urbano". pag. 75. Madrid: *Revista de obras públicas*. Colegio de Ingenieros de Caminos. Abril de 1994, núm. 3331, año 141. <http://tropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1994/1994_abril_3331_07.pdf > [ISSN: 1695-4408].

Si el tipo de beneficio es el desplazamiento de los usuarios o la posibilidad de desplazamiento, entonces los beneficiarios son los propios usuarios del transporte colectivo o, por extensión, todas las personas residentes en el área afectada. El pago se carga en el precio del título de transporte o en los recursos generales de la administración.

Si el tipo de beneficio es una mejora de la accesibilidad al área servida, los beneficiarios son los empleadores y el sector terciario y la imputación del pago se produce entonces gracias al empleo atendido y a la expansión de las áreas de influencia de comercios y servicios y, por tanto, el procedimiento de pago es el de gravar el volumen de empleo y las actividades.

Por otra parte, si el tipo de beneficio son las plusvalías de los usos de suelo, los beneficiarios son los propietarios inmobiliarios y la imputación del pago se produce sobre el incremento del valor de los bienes inmuebles y los alquileres, y el procedimiento de pago es el de gravar los valores del suelo o sus correspondientes plusvalías. Si, en cambio, se minoriza el consumo de espacio, los beneficiarios son los usuarios de los vehículos privados y el procedimiento de pago es el de gravar la posesión del vehículo o realizar peajes urbanos.

Por otra parte, si se reducen los recursos y los efectos externos, y se mejora la eficiencia urbana, el beneficiado es la administración pública y la colectividad, y ha de ser la administración pública la encargada de proceder al pago. Entre los problemas singulares más frecuentes, están la posible generación de transferencias y la aceptación del gravamen.

Aparte de los beneficios originados por un medio de transporte, también se han de tener en cuenta los perjuicios que causa. Entre los perjuicios al transporte y sus causas (cuadro 4)²³, destacan las repercusiones del sistema de ciudades y la distribución y organización de la vida urbana, que son causadas por acciones y decisiones de nivel general y de cuyo pago se hace cargo las administraciones públicas. El problema específico de esto, es que afecta a ámbitos territoriales más amplios que al área servida y a las administraciones competentes.

Cuadro 4
Perjuicios al transporte y sus causantes y posibles aportes a su financiación

Perjuicio	Causante	Imputación de pago	Procedimiento de pago	Problemas singulares
Repercusiones del sistema de ciudades	Acciones y decisiones de nivel general	Conforme a estimación convencional	Las administraciones públicas con cargo a recursos generales	Afectación a ámbitos territoriales más amplios que el área servida y a las administraciones competentes
Distribución y organización de la vida urbana	Acciones y decisiones de nivel general	Conforme a ahorros derivados de organizaciones alternativas	Las administraciones públicas con cargo a recursos generales	Afectación a ámbitos territoriales más amplios que el área servida y a las administraciones competentes
El reparto modal y las pautas de circulación	Usuarios del vehículo privado	Ahorros de tiempos de viaje cortando con el papel regulador de estos pagos	Gravamen sobre posesión de coche o sobre el coste variable de los vehículos: Peaje urbano	Oportunidad y aceptabilidad del gravamen; posible generación de transferencia

Fuente: Síntesis a partir de conclusiones del estudio: Aristi Biurrun, J. "La financiación del transporte público urbano: Teoría y soluciones prácticas". Dirección General de Planificación Intermodal del Transporte en las Grandes Ciudades (1992) en Aristi Biurrun, J. y Maldonado Inocencio, J.L. "Financiación de infraestructuras y servicios de transporte urbano". p. 75. Madrid: *Revista de obras públicas*. Colegio de Ingenieros de Caminos. Abril de 1994, núm. 3331, año 141. <http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1994/1994_abril_3331_07.pdf> [ISSN: 1695-4408].

Otro de los perjuicios existentes es el reparto modal y las pautas de circulación, cuyos causantes son los usuarios del vehículo privado. El procedimiento de pago es un gravamen sobre la posesión del vehículo o la implantación de peajes urbanos, aunque genera los problemas derivados de la aceptación de dicho gravamen y de una posible transferencia de competencias. Por otra parte, uno de las características más importantes a la hora de considerar el beneficio económico de una infraestructura es la valoración de su coste.

El coste de las infraestructuras ferro-viarias es bastante variable, tanto por el tipo de sistema ferro-viario instalado, como por las condiciones del entorno donde se implanta.

Según Parcerisa y Rubert de Ventós²⁴, el coste de instalación de una línea de alta velocidad es altamente variable. La línea París sudeste costó 2,19 millones de euros por km, mientras la línea Joetsu de Japón costó 28,51 millones de euros por km. Por otra parte²⁵, el metro de Madrid, en 1999, construía sus ampliaciones de red a un ritmo de 36 millones de euros por km de línea. Estos datos llamaron la atención del Banco Mundial que intentó extrapolar dichos resultados a otras redes de metro que estaban siendo ampliadas a un coste muy superior (entre 3 y 10 veces) en ciudades como París, Londres, Atenas, Lisboa, Los Ángeles o Berlín.

²³ Aristi Biurrun y Maldonado Inocencio, 1994.

²⁴ Parcerisa y Rubert de Ventós, 2001.

²⁵ Melis Maynard y González Fernández, 2002.

En otro sentido se ha de tener en cuenta que según algunos estudios realizados en EEUU en los años 80, el coste de implantación de un metro ligero es, de media, entre 3,61 y 7,2 millones de euros/ km²⁶. Por último, el transporte automático guiado tiene un coste de 12-18 millones de euros / km. Los casos más destacados son los del VAL de Lille (1.983) y la *Expo Line* del *SkayTrain* de Vancouver (1985, figuras 19 y 20).



Figuras 19 y 20. VAL de Lille y Skaytrain de Vancouver

Fuente: Figura 19, izquierda: “Histoire de Lille (Rijsel en Flamand)”, *Zoom sur Lille* (en línea), <http://www.zoomsurville.fr/decouvrir-lille/histoire-de-lille> [consultado el 24 de mayo de 2015].

Figura 20, derecha, “Another \$450K prepared for Exp Line art”, *Vancouver 24 hrs* (en línea), <http://vancouver.24hrs.ca/2013/08/27/another-450k-prepared-for-expo-line-art> [consultado el 24 de mayo de 2015]

En ocasiones, el alto coste de la infraestructura repercute negativamente en el viajero, al gravarse el precio del billete y esto termina detrayendo la demanda. De hecho se ha de realizar lo contrario: incentivar el transporte público frente al privado, aminorando de esta manera la contaminación y congestión del tráfico rodado.

Otra característica financiera que ha de tenerse en cuenta es que la titularidad de los ferrocarriles metropolitanos en Europa suele ser pública y está condicionada por los costes elevados de construcción de nuevas líneas y material móvil. Todo esto hace que muchas veces la financiación se convierta en inviable. Los gastos más frecuentes suelen ser del 70% en obra civil (túneles y estaciones), el 12% en instalaciones, el 15% en material móvil y el 2% en proyectos y control de obra. Otros gastos suponen menos del 5% del presupuesto total y se distribuyen de la siguiente manera: gastos de personal (56%); suministros (9%); servicios exteriores, como seguridad y limpieza (8%), gastos generales (5%), gastos financieros (5%) y amortizaciones (17%). Por otra parte, los ferrocarriles tienen una serie de ingresos, como los derivados de la red de fibra óptica, del entretenimiento a bordo de los trenes con pantallas de televisión, cuyo ingreso por publicidad es elevado, y de la telefonía móvil en los andenes, que generan ganancias.

Otro factor a tener en cuenta al calcular el gasto y el beneficio de un sistema ferro-viario es que los largos plazos temporales de puesta en servicio pueden hacer dudar sobre su idoneidad a determinados políticos que, presumiblemente, no verán finalizada dicha obra durante su mandato. En cualquier caso hay regulaciones de carácter nacional o europea que impiden que

²⁶ V.V.A.A. Dirección General de Actuaciones Concertadas en las Ciudades, 1994. Melis Maynard y González Fernández, 2002.

las comunidades autónomas españolas se endeuden para costear estas actuaciones más allá de los 60-180 millones de euros por km de vía construido²⁷.

Teniendo en cuenta todos los factores analizados anteriormente, se llega a la conclusión de que lo idóneo en la gestión de los diferentes sistemas de transporte, es tener en cuenta la multimodalidad. La multimodalidad del transporte público (trenes, metro, tranvías, autobuses...) implica una correcta organización para que cada administración involucrada aporte y perciba su parte correspondiente.

La administración pública ha incentivado el uso multimodal de los transportes creando billetes en los que se aplica una integración tarifaria y que pueden usarse para acceder a varios tipos de transporte con el mismo boleto. Hay diferentes tipos de billetes dirigidos a segmentos de población muy diversos (diez viajes, válidos por un día, semana o mensuales, aquellos dirigidos a turistas, a personas de la tercera edad o para los más jóvenes, circunscrito a un área o línea concreta, etcétera).

Otra forma de incentivación de la multimodalidad por parte de la administración pública es la creación de coronas circulares en torno la ciudad que hacen más fácil la organización de los transportes y es una forma de racionalizar los itinerarios.

Conclusiones

A lo largo de las sucesivas épocas de la contemporaneidad, diferentes infraestructuras de transporte han dejado impresa su huella en la configuración de la morfología urbana y en la disposición de sus elementos sobre el plano, así como han determinado en grado sumo el comportamiento de la población y su evolución antes y después de su entrada en funcionamiento. Conocer la imbricación entre desarrollo, expansión y consolidación urbana es fundamental para poder prever las consecuencias de la implantación de una instalación que posee un efecto atractor de tan gran calado como es la infraestructura ferro-viaria urbana en sus variantes de metro, metro ligero, tranvía, ferrocarril regional o de larga distancia así como la alta velocidad.

Se puede concluir diciendo que planificar el territorio, la urbe y su relación con las redes de transporte es fundamental en este momento de desorbitado crecimiento urbano. En este contexto, el ferrocarril es el medio de transporte más barato, eficaz y con menor impacto medioambiental y por ello ha de primarse su implantación, favoreciéndolo en detrimento del automóvil o el avión.

²⁷ Melis Maynard y González Fernández, 2002.

Bibliografía

AGUILAR CIVERA, I. *La estación de ferrocarril, puerta de la ciudad*. Valencia: Generalitat Valenciana. 1988. 2 vol.

ALBERTOS PUEBLA, J.M. (editor). *Transporte, movilidad y sostenibilidad*. Cuadernos de Geografía. Transporte, movilidad y sostenibilidad. *Cuadernos de Geografía*. Valencia: Universidad de Valencia. Facultad de Geografía e Historia. 2007.

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

ALONSO, M. P. y BELLET, C. El tren de alta velocidad y el proyecto urbano. Un nuevo ferrocarril para la Zaragoza del tercer milenio. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de enero de 2009, vol. XIII, núm. 281 <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-281.htm>>. Fecha de consulta e ISSN

ALSINA CATALÀ, A. *Mapas del metro y redes neuronales*. Barcelona: RBA. 2010.

ÁLVAREZ TEJERINA, A. Transporte urbano. Diferencias entre tranvía, metro ligero y metro convencional. *Cimbra: Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas*. [En línea]. 2004, núm. 356, p. 32-39. <http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra356_08.pdf>. Fecha de consulta e ISSN

ANGELOUDIS, P., FISK, D. Large subway systems as complex networks. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*. [En línea]. Ámsterdam: Elsevier. 15 de julio de 2006. vol. 367, p. 553-558. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437105011994>>. Fecha de consulta e ISSN

ARISTI BIURRUN, J: La financiación del transporte público urbano: Teoría y soluciones prácticas. Dirección General de Planificación Intermodal del Transporte en las Grandes Ciudades (1992). In ARISTI BIURRUN, J., MALDONADO INOCENCIO, J.L. Financiación de infraestructuras y servicios de transporte urbano. Madrid: *Revista de obras públicas*. [En línea]. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos. Abril de 1994, núm. 3.331, año 141. <http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1994/1994_abril_3331_07.pdf>.

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

BARBERIS, W. Ciudad urbótica contemporánea: urbanística y nuevas tecnologías en el espacio y los servicios urbanos. Barcelona: *ACE*. UPC. 17 de octubre de 2011, año 6, núm. 17, p. 95-108. <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4013503>>.

BELT I QUIRALT, G. *La demanda de transporte en España: competencia intermodal sobre el ferrocarril interurbano*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, D.L. 1994.

BELLET, C., ALONSO, P., CASELLAS, A. Infraestructuras de transporte y territorio. Los efectos estructurantes de la llegada del tren de alta velocidad en España. Madrid: *Boletín de la A.G.E.* 2010, núm. 52, p. 143-163. <<http://age.ieg.csic.es/boletin/52/08-BELLET.pdf>>.

BUCHANAN, C. *El tráfico en las ciudades*. Madrid: Tecnos, D.L. 1973.

CABRÉ LLISTOSELLA, M. *El transporte colectivo urbano en España*. Esplugues de Llobregat: Ariel. 1972.

CAPEL, H. *La morfología de las ciudades*. Barcelona: Ediciones del Serbal. 2002.

CAPEL, H. El ferrocarril, el territorio y las redes de ciudades. *Biblio 3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, Vol.XII, nº 717, 15 de abril de 2007. <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-717.htm>>.

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

CHOWDHURY, D., STAUFFER, D. Evolving eco-system: a network of networks. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*. Amsterdam: Elsevier. Febrero de 2005. vol. 346, núm. 1-2, p. 68-74. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037843710401163X>>.

COSTA MAS, J. Medios de transporte, movilidad y cambio urbano (1850-1939) Reflexiones desde la pintura. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2006, vol. X, núm. 218 (87). <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-218-87.htm>>.

DE GRANGE, L. *El gran impacto del metro*. Chile: EURE. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. Abril de 2010, vol. 36, núm. 107, p. 125-131. <<http://www.eure.cl/numero/el-gran-impacto-del-metro/>>.

V.V.A.A. DIRECCIÓN GENERAL DE ACTUACIONES CONCERTADAS EN LAS CIUDADES. *Metro ligero. Nuevos tranvías en la ciudad*. Madrid: Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, 1994, 77 p..

DUPUY, G. *Les territoires de l'automobile*. Anthropos: Paris. 1995.

FEBRÉS, X. MISERACHS, X., SALA, M. *Metros y metrópolis*. Barcelona: Edición Ferrocarril Metropolità de Barcelona. 1991.

FRIGOLA ALMAR, J. *Planning system of metro networks. Comparison between Copenhagen and Barcelona*. Director: Ole Thorson Jorgensen. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori. 2006. <<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3301>>.

- GALLARDO, J.M. *Los funiculares y teleféricos españoles*. Barcelona: Lluís Prieto. 1997.
- GOETZ, A., RODRIGUE, J.P. Transport terminals: new perspectives. *Journal of Transport Geography*. Ámsterdam: Elsevier. Diciembre de 1999. vol. 6, núm. 4. p.237-240. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692399000150>>
- GÓMEZ, L. El AVE sobrevuela la crisis. *Diario El País*. [En línea]. 13 de enero de 2013, <http://politica.elpais.com/politica/2013/01/11/actualidad/1357932693_999552.html>. [25 de mayo de 2015].
- HERCE VALLEJO, M. y MIRÓ FARRERONS, J. *El soporte infraestructural de la ciudad*. Barcelona : UPC. 2002.
- HIDALGO, D. Comparación de alternativas de transporte público masivo- Una aproximación conceptual. Bogotá: *Revista de Ingeniería*. Universidad de los Andes. Mayo de 2005, núm. 21, p. 94-105. <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=121014218009>>.
- JANÉ SOLÁ, J. (Editor). *El transporte colectivo urbano en España*. Barcelona: Ariel. 1972.
- JULIÀ SORT, J. *Redes Metropolitanas. Metropolitan Networks*. Editorial Gustavo Gili: Barcelona. 2005.
- LOSADA, M. *El ferrocarril y el transporte*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Servicio de Publicaciones. 1998.
- MACKETT, R., BABALIK SUTCLIFFE, E. New urban rail system: a policy-based technique to make them more successful. *Journal of Transport Geography*. Ámsterdam: Elsevier. Junio de 2003. vol. 11, núm. 2, p. 151-164. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692303000036>>.
- MELIS MAYNAR, M., GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, F.J. *Ferrocarriles metropolitanos: tranvías, metros ligeros y metros convencionales*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2002. 458 p.
- NICOLÁS LOSCOS, A. *Estudi comparatiu de xarxes ferroviàries de transport metropolità*. Director: Manuel Herce Vallejo. Universitat Politècnica de Catalunya. 2003. <<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/6346>>.
- PARCERISA, J., RUBERT DE VENTÓS, M. *Metro*. Edicions UPC: Barcelona. 2001.
- PÉREZ FERNÁNDEZ, F. La integración del ferrocarril en la ciudad. *Revista de obras públicas*. Colegio de Ingenieros de Caminos. Madrid. Abril de 1994, núm. 3331, año 141. <http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=13872&anio=1994&numero_revista=3331>.
- REUSSER, D., LOUKOPOULOS, P., STAUFFACHER, M., SCHOLZ, R. Classifying railway stations for sustainable transitions –balancing node and place functions. *Journal of Transport Geography*. Ámsterdam: Elsevier, mayo de 2008. vol. 16, núm. 3, p. 191-202. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692307000671>>.

SEGUÍ PONS, J.M. y PETRUS BEY, J.M. *Geografía de redes y sistemas de transporte*. Síntesis: Madrid. 1991.

TOIVONEN, R., ONNELA, J., SARAMÄKI, J., HYVÖNEN, J., KASKI, K. A model for social network. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*. Ámsterdam: Elsevier. 15 de noviembre de 2006. vol. 371, núm. 2, p. 851-860.
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437106003931>>.

VALENZUELA MONTES, L.M. El marco territorial de las infraestructuras de transporte: accesibilidad, planificación y efectos. Granada: Centro de Estudios Municipales y de Cooperación Interprovincial, 1998.

ZHOU, F., SHI, J., PAN, H., Optimization method for last train coordination plan of urban rail transit based on network operation. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*. Ámsterdam: Elsevier, Noviembre de 2013, vol. 96, p. 2706-2712.
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813024300>>.

© Copyright Enrique Viana Suberviola, 2015.

© Copyright Biblio3W, 2015.

Ficha bibliográfica:

VIANA SUBERVIOLA, Enrique. Definición y tipología de los sistemas ferro-viarios, aspectos generales. El caso español *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 25 de octubre de 2015, Vol. XX, nº 1.136. <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-1136.pdf>>. [ISSN 1138-9796].