

El tranvía en la movilidad urbana sostenible y la gestión de ciudades: propuesta de línea de tren ligero en la Avenida Carrera 7^a en Bogotá D.C.



Julián Rodrigo Quintero González

Grupo de Estudios e Investigación en Recursos Ambientales y Urbanos [RAU], Ahcttum, Tunja, Colombia.

Recibido: 04 de enero de 2019. Aceptado: 20 de marzo de 2019.

Resumen

Sistemas de transporte público por medios como el tranvía y el tren ligero, tienen una amplia trayectoria y desarrollo en diversas regiones del mundo, mostrando múltiples beneficios en los ámbitos ambiental, social y económico; al mismo tiempo, su implementación es un tema que sigue en discusión en los países y ciudades de América Latina, en donde dichos sistemas inician su incursión. El presente trabajo tiene por objeto formular los argumentos que señalan a los sistemas tranviarios como un medio de transporte factible en las ciudades latinoamericanas. Para tal fin se estudia su origen y actualidad; se realiza una reflexión crítica de su aporte a la movilidad urbana sostenible en contraste con otros medios de transporte, y de su relación con la gestión de ciudades; asimismo, se desarrolla una propuesta de una línea de tren ligero sobre la Avenida Carrera 7^a en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia, a partir del análisis de aspectos operativos y de movilidad en contraste con el sistema de transporte actual. Se concluye la necesidad de una mayor inclusión de los sistemas tranviarios en los planes, proyectos y programas nacionales; asimismo, la aplicabilidad de dichos sistemas en los modelos de transporte público urbano sostenible en las ciudades de América Latina.

Palabras clave

Tranvía
Tren ligero
Movilidad urbana sostenible
Gestión de ciudades
Bogotá D.C.

Palavras-chave

Eléctrico
Metro ligeiro
Mobilidade urbana sustentável
Gestão da cidade
Bogotá D.C.

The tram in sustainable urban mobility and city management: proposal for a light rail line on Avenida Carrera 7^a in Bogotá D.C.

Abstract

Public transport systems by means such as tram and light rail, have a long history and development in various regions of the world, showing multiple benefits in the environmental, social and economic areas; at the same time, its implementation is an issue that is still under discussion in the countries and cities of Latin America, where these systems begin their incursion. The purpose of this paper is to formulate the arguments that point to tram systems as a feasible means of transport in Latin American cities. For this purpose, its origin and actuality are studied; a critical reflection of its contribution

Keywords

Tram
Light Rail
Sustainable urban mobility
City Management
Bogotá D.C.

to sustainable urban mobility in contrast to other means of transport, and its relation to the management of cities is made; also, a proposal for a light rail line on Avenida Carrera 7ª in the city of Bogotá D.C., Colombia, is developed, based on the analysis of operational and mobility aspects in contrast to the current transport system. It concludes the need for greater inclusion of tramway systems in national plans, projects and programs; also, the applicability of these systems in the models of sustainable urban public transport in Latin American cities.

Introducción

Los problemas de movilidad urbana que aquejan a las ciudades en todo el mundo –entre los que se encuentran la congestión del tráfico, la alta demanda de viajes, la accidentalidad vial, la ocupación del espacio público, la ausencia de accesibilidad al medio físico y al transporte, las emisiones de gases contaminantes y el ruido–, han inducido a expertos, profesionales, y administradores del sector transporte, a la búsqueda de alternativas que permitan satisfacer las necesidades de movilidad en forma efectiva, cómoda y segura; esto en un marco de sostenibilidad basado en la protección del ambiente y del entorno urbano, la equidad social, y el valor económico. En consonancia con lo anterior, y conforme lo explica Chaudhry (2012:7), el constante crecimiento de las ciudades y sus áreas urbanas involucra múltiples retos para el desarrollo de los sistemas de transporte, a saber: gestionar la congestión del tráfico, proporcionar un transporte público confiable y asequible, mejorar la seguridad en el transporte, desalentar el uso de los automóviles y fomentar el uso del transporte público, traer un cambio de comportamiento en una sociedad dominada por los vehículos particulares, facilitar el acceso a los pasajeros con necesidades especiales, desarrollar la legislación del transporte, y proteger el ambiente.

De lo anterior se deriva que los sistemas de transporte sobrelleven cambios en sus infraestructuras y formas de operación, debido a que deben ajustarse de manera adecuada a las cambiantes y cada vez más exigentes necesidades de movilidad de los usuarios, que de acuerdo con Acharya, Parumog y Morichi (2013:15), son provocadas por los cambiantes entornos físicos, sociales, económicos y políticos de la sociedad, además del avance en la tecnología; aspectos que han obligado a que el desarrollo del transporte urbano en las ciudades implique un proceso de modernización y adaptación constante. La modernización del transporte se justifica en lo argumentado por Rode et al. (2014:3), quienes señalan que el acceso a personas, bienes y servicios, es la base del desarrollo económico en las ciudades; las ciudades con mayores niveles de aglomeración tienden a tener un mayor Producto Interno Bruto (PIB) per cápita y los niveles más altos de productividad; la forma en que las ciudades facilitan la accesibilidad a través de sus sistemas de transporte también impacta directamente sobre otras medidas de desarrollo humano y del bienestar.

En este contexto, señalan Wilkie y Petersen (2010:2-6) que el tranvía –y en general los sistemas tranviarios– se muestra como un medio de alta capacidad, que efectivamente puede coexistir con otras formas de transporte público; proporciona beneficios económicos como los costos de capital, costos de operación, desarrollo, actividad económica, y turismo, así como beneficios ambientales, sociales y en la calidad del servicio. Añaden Quintero y Quintero (2015:92) que los sistemas tranviarios son medios de transporte que se desplazan en forma abierta por la ciudad y permiten la renovación de las calles en torno a su infraestructura, restauran el confort y la calidad de vida de los ciudadanos, a la vez que proporcionan una mejora en la calidad del ambiente y el paisaje urbano. Sobre lo anterior, el presente artículo tiene por objeto realizar una síntesis de la evolución del tranvía y los aspectos que en la actualidad lo caracterizan, como punto de partida para formular los argumentos por los cuales el tranvía se constituye en un

medio de transporte –en contraste con otros– que verdaderamente propende por el desarrollo de la movilidad sostenible en las ciudades; asimismo realizar una reflexión crítica en relación con el aporte de este medio de transporte en la sostenibilidad de la movilidad urbana, en el marco de una adecuada gestión de las ciudades; y por último, formular una propuesta de implementación de un sistema tranviario en la Avenida Carrera 7ª en Bogotá D.C., Colombia, una de las vías más emblemáticas e importantes y con mayores problemas de tráfico de esta ciudad.

Conceptualización, origen, y actualidad

El tranvía –también llamado *tramway* o *tram* en países de habla inglesa– es un sistema de transporte que se desplaza sobre rieles en áreas urbanas, para lo cual se soporta sobre la superficie de pavimento de las calles y emplea los rieles para dirigir su movimiento; aquel es alimentado por energía eléctrica, la cual obtiene de cables suspendidos a lo largo de las calles por las cuales se moviliza. De acuerdo con González (2007:30) el tranvía es un ferrocarril de superficie, de carácter urbano y metropolitano, de menores dimensiones respecto al ferrocarril interurbano o tren de cercanías; su configuración física se ilustra en la Figura 1. Una definición más formal y consonante con el propósito del presente trabajo la proporciona la legislación de Colombia, a través del Artículo 2 del Decreto 1.008 de 2015 del Ministerio de Transporte (2015:5), el cual señala que:

Tranvía: sistema de transporte ferroviario urbano de pasajeros que se caracteriza por ser guiado, así como por tener componentes de inserción urbana que promueven la convivencia del ciudadano con los medios de transporte y se clasifica como tranvía con ruedas neumáticas y tranvía convencional con ruedas de acero.



Figura 1. Tranvía de Ayacucho, Medellín, Colombia. Fuente: <https://www.publimetro.co/col/medellin/2016/11/10/atento-estara-cerrado-tranvia-ayacucho.html>

Respecto de su origen, y según lo describe Carradice (2011), Gales fue el primer país que vio la llegada del primer servicio de locomotora de vapor; eso fue en 1804, cuando el Ingeniero Cornish Richard Trevithick construyó una máquina de vapor que se utilizó para llevar hierro de Merthyr Tydfil al sur de Gales hasta Abercynon. Posteriormente, el 25 de marzo de 1807, entró en servicio el Ferrocarril de Mumbles (Mumbles Railway),

que fue el primer servicio de trenes de pasajeros por cuota de pago en el mundo. Añade Carradice (2011) que a pesar del logro pionero del motor de vapor de Trevithick en Merthyr, los primeros vagones de pasajeros en el Ferrocarril de Mumbles en realidad estaban tirados por caballos; la energía de vapor reemplazó a los vehículos tirados por caballos en 1877, posteriormente la línea celebró su centenario en 1907 y fue electrificado en 1928. Un servicio *tram* completo comenzó en 1929 con once tranvías de dos pisos, el más grande jamás construido en Gran Bretaña.

De acuerdo con Cascajo (2004:21), el tranvía moderno –conocido en algunos países europeos como tren ligero– surge en 1984 en la ciudad de Nantes, Francia; en 1987 se inaugura el primer tranvía de piso bajo en la ciudad de Grenoble, Francia, y desde entonces, las ciudades europeas han reincorporado los sistemas tranviarios a sus redes de transporte urbano; señala Cascajo (2004), que para inicios de la década del 2000, en Europa habían más de 10.000 km de red tranviaria en más de 100 ciudades. Sobre la base de lo expuesto por Alcalde (2012:22), puede señalarse el mayor progreso del tranvía como sistema de transporte urbano en los países de la Unión Europea, en donde sobresalen Alemania, Francia, España, Portugal, Suiza, Austria, Islas Británicas (Escocia, Inglaterra, Irlanda e Isla de Man), Benelux (Bélgica, Luxemburgo, y Países Bajos), Escandinavia (Noruega, Finlandia y Suecia), así como los países de Europa Central (Eslovenia, Hungría, Polonia, y República Checa), Europa Oriental (Bielorrusia, Rusia Occidental, y Ucrania), los Países Bálticos (Estonia, Letonia, y Lituania) y Países Balcánicos (Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Grecia, Rumania, Serbia, y Turquía).

Según lo expone Alcalde (2012:21-30), para el año 2012 Europa contaba con sistemas de transporte tipo tranvía en 284 ciudades, además de 327 redes con un total de 1.912 líneas, 11.616,8 kilómetros y 34.316 vehículos; entre los países mencionados cabe resaltar que para el mismo año Alemania predominaba con la mayor cantidad de kilómetros de línea –27% de la red europea– y disponía de 67 redes con 376 líneas; otros grupos de países como Europa Oriental y Países Bálticos y Europa Central, disponían de 3.277,4 kilómetros –28% del total– y 1.559,4 kilómetros –13% del total– respectivamente. En la actualidad, y tal como lo señala Quintero (2017c:206) –citando a la International Association of Public Transport (2015:1)– se tiene que:

(...) los sistemas de tren ligero y de tranvías operan en 388 ciudades, la mayoría en Europa (206) y Eurasia (93), seguidas por Asia (41) y Norteamérica (36). Sólo Alemania y Rusia cuentan con 123 sistemas (31% del total), lo que representa 2.300 líneas para un total de 15.600 km de vía. Quintero (2017c:206).

Quintero (2017c:204) resalta además los proyectos en operación e iniciativas en los países de América Latina, entre los cuales menciona el Tranvía de Ayacucho en Medellín, Colombia, el Metrotranvía Urbano en Argentina, el Biotren en Chile y el Tranvía de Cuenca en Ecuador; lo cual deja entrever la amplia inclusión del tranvía en los sistemas de transporte público urbano en el contexto global y regional.

Tranvía y movilidad urbana sostenible: contraste con otros medios de transporte y beneficios

El establecimiento de la coherencia de los sistemas de transporte tranviarios, con respecto a la movilidad sostenible, encuentra su origen en la aproximación a este último concepto, el cual, y de acuerdo con Quintero (2017a:63), no posee una definición formal; en cambio es conceptualizado como un conjunto de acciones que al realizarse, originan e impulsan el adecuado desarrollo de la movilidad urbana en el marco de la sostenibilidad del transporte. No obstante Quintero (2017a:63), quien cita a Banister

(2008:75), indica que: “El enfoque de la movilidad sostenible requiere acciones para reducir la necesidad de viajar (menos viajes), fomentar el cambio modal, reducir las distancias de viaje y propiciar una mayor eficiencia en el sistema de transporte”. Al recurrir a lo expuesto por Banister (2008:75), puede encontrarse una síntesis del contraste del enfoque convencional de la movilidad –desde la planificación e ingeniería del transporte– frente al enfoque alternativo de la movilidad urbana sostenible –bajo el entendimiento de la sostenibilidad del transporte–; este último, se considera como el marco contextual para la valoración de la relación existente entre los sistemas tranviarios y los principios o lineamientos de la sostenibilidad. Lo descrito se ilustra en el Cuadro 1, a continuación.

Cuadro 1. Contraste de enfoques para planificación del transporte. Fuente: tomado de Quintero (2017a:64), quien cita a Banister (2008:75).

Enfoque convencional: planificación e ingeniería del transporte	Un enfoque alternativo: movilidad urbana sostenible
Dimensiones físicas	Dimensiones sociales
Movilidad	Accesibilidad
Enfoque del tráfico sobre todo en el vehículo	Enfoque en las personas, ya sea en un vehículo o a pie
De gran escala	De escala local
La calle como una vía	La calle como un espacio
Transporte motorizado	Todos los modos de transporte en una jerarquía con los peatones y ciclistas en la parte superior, y los usuarios del vehículo en la parte inferior
Pronóstico del tráfico	Visión sobre las ciudades
Enfoques de modelización	Desarrollo de escenarios y modelización
Evaluación económica	Análisis multicriterio para tomar en cuenta las preocupaciones ambientales y sociales
Viajar como una demanda derivada	Viajar como una actividad valorada, así como una demanda derivada
Basado en la demanda	Basado en la gestión
Tráfico acelerado	Desaceleración del movimiento
Reducción del tiempo de viaje	Tiempos de viaje razonables y confiabilidad del tiempo de viaje
Segregación de las personas y el tráfico	Integración de las personas y el tráfico

Sobre la base de los preceptos del enfoque de la movilidad urbana sostenible –propuestos por Banister (2008:75)–, es dable afirmar que por su naturaleza, un medio de transporte como el tranvía se muestra en alta sincronía y coherencia con aquellos; esto atendiendo a la protección del ambiente, la equidad social, y el valor económico, que entendidos como principios de la sostenibilidad del transporte, son ampliamente desplegados por los sistemas tranviarios; puede encontrarse así que las características de las infraestructuras y operación de los sistemas tranviarios concuerdan con dichos preceptos y fomentan su desarrollo. Desde la dimensión ambiental se identifican: el entendimiento de la calle como un espacio, la visión sobre ciudades, y el análisis multicriterio para tomar en cuenta las preocupaciones ambientales; lineamientos que el tranvía desarrolla a través de su moderada ocupación del espacio público, su aporte en la gestión de la movilidad urbana, y la reducción de las emisiones de gases contaminantes en las ciudades.

La dimensión social es potenciada por el tranvía, principalmente como un valor agregado de la infraestructura de la que dispone; así, la infraestructura vial y del transporte en torno a los sistemas tranviarios, origina y permite el progreso de la accesibilidad, con un enfoque a las personas, a escala local y con proyección a toda la ciudad; su operación fomenta la complementariedad modal al aportar en la jerarquización de los modos de transporte, desarrolla la visión de planificación y gestión de ciudad, y proporciona escenarios como insumo para la aplicación de herramientas para la modelización y optimización del transporte; este conjunto de elementos impulsa la integración de las personas con el tráfico, en un diseño del transporte orientado al derecho a la movilidad y a la ciudad. Por otra parte, desde la dimensión económica, pueden identificarse componentes como el análisis multicriterio, el entendimiento de viajar como una actividad y demanda valorada, y la existencia de tiempos de viajes razonables y confiables, como elementos propios del estudio de la factibilidad económica de la implementación de un sistema tranviario; no quedando aquellos sujetos taxativamente a las etapas de planeación, diseño y construcción, sino que también se desarrollan durante las etapas de operación y/o mejoramiento.

Al realizar un análisis profundo del tranvía frente a la movilidad urbana, debe ponerse en consideración el estudio de las variables inherentes a la movilidad en las ciudades y que presentan una simbiosis directa con respecto a las características propias de los sistemas tranviarios. Es así como de acuerdo con Zelezny (2014:3-4), pueden distinguirse dos grupos de variables, el primero de ellos corresponde al conjunto de “Variables que representan el uso del suelo y la organización de las funciones urbanas”, entre las cuales se cuentan: 1. La densidad urbana –que generalmente es considerada como el factor crucial en la provisión de transporte público bajo una adecuada planificación, en la cual una disposición efectiva del transporte público corresponde a un grado relativamente alto de densidad urbana–, 2. La mezcla funcional –cuyo desarrollo está orientado hacia el tránsito con un valor agregado como lo es la planeación de una ciudad de proximidad y distancias cortas que limita la necesidad de viajar, y el espacio urbano mixto, que anima a caminar, ayuda a desarrollar las relaciones sociales y el ambiente urbano–, y 3. El policentrismo –que puede describirse como una forma emergente del espacio urbano moderno, así como un modelo fundamental para la organización de la ciudad.

El segundo grupo propuesto por Zelezny (2014:4) está constituido por las “Variables que representan las condiciones y cualidades de acceso peatonal a las estaciones de tranvía”, entre éstas: 1. La distancia, el tiempo y la energía necesarios para cubrir las rutas –considerados como las variables fundamentales en la planificación de sistemas de transporte público–, 2. La seguridad vial y la comodidad de peatones –como un aspecto amplio que se explora en una serie de estudios, en particular, la relación entre caminar y otros modos de transporte en aquellos puntos en los que los flujos peatonales se cruzan con otras infraestructuras de transporte–, y 3. La estética de ruta y legibilidad –que pueden ser percibidos como un aspecto de “disfrute”, dado que las características visuales de un espacio pueden estimular el acceso a la estación de transporte público. Sobre la base de lo anterior, puede sugerirse que el tranvía cumple en alto grado con las expectativas sobre las condiciones propias de la movilidad urbana, que se deben cumplir para que ésta sea adecuada y sostenible.

Respecto de la comparación con otros medios de transporte público colectivo urbano –como el transporte masivo en autobuses BRT (Bus Rapid Transit) o el metro–, han sido diversos los autores que han dado sus opiniones y manifestado sus posiciones frente a la viabilidad del tranvía y del tren ligero; esto de cara a su posible implementación en las ciudades, principalmente las de América Latina. No obstante, aquellas posturas en ocasiones se perciben sesgadas al encontrar preferencias marcadas por uno u otro medio de transporte público, máxime cuando en los análisis se introducen las variables económicas propias de los costos de la infraestructura, de los equipos, y del mantenimiento, que resultan en puntos neurálgicos cuando los diferentes sectores

productivos, públicos y privados, poseen intereses disímiles frente a la implementación de sistemas de transporte; aquellas preferencias, que en la mayoría de los casos han generado controversia –principalmente al comparar los sistemas tranviarios con los de BRT–, también han generado confusión entre los ciudadanos y usuarios –que a la postre representan la razón de ser de los sistemas de transporte–, e incluso entre los mismos expertos y administradores del transporte.

Por lo anterior, en el presente trabajo no se entrará en discusión sobre los costos e inversiones que supone cada medio de transporte, a la vez que esto no se constituye en el objetivo del mismo; se recurre entonces únicamente a la exposición de los referentes que sobre los beneficios para la movilidad urbana y el ambiente urbano, trae consigo el tranvía, en el marco de la gestión de ciudades. Desde la perspectiva de movilidad se considera que el trabajo consumado por Cascajo (2004:35) –realizado en el ámbito europeo, en el que puede decirse se tiene la mayor experiencia en la implementación de sistemas de transporte tranviarios–, expone de manera justa las ventajas y desventajas de los sistemas de autobús, tranvía y metro –tal como se muestra en el Cuadro 2–; se pueden encontrar beneficios en uno y otro medio de transporte, que bien deben ser interpretados con un enfoque hacia las características operativas deseadas por los administradores y gestores en cada ciudad –como la demanda de viajes, la velocidad, la regularidad– y los aspectos propios de la accesibilidad al medio físico y al transporte –de mayor importancia desde la óptica de los intereses de los usuarios. No obstante, se identifican varias características operativas y aspectos del sistema de tranvía, que se muestran superiores a las del sistema de buses urbanos, entre aquellas, una mayor velocidad máxima y comercial, una notable mayor capacidad de plazas/hora y sentido, la alta regularidad del servicio, una mejor distribución espacial de estaciones, una mayor longitud media de viaje, y mejores condiciones de accesibilidad para personas con movilidad reducida; en síntesis, se pueden sugerir unas mejores condiciones de operación y aspectos del sistema de tranvía, ergo unas mejores condiciones para el desarrollo de una movilidad urbana adecuada.

Cuadro 2. Comparativo entre diferentes medios de transporte público urbano. Fuente: Cascajo (2004:35).

Criterio de comparación / Medio de transporte público		Autobús	Tranvía/Tren Ligero	Metro
Características operativas	Velocidad máxima	40-80 km/h	70-90 km/h	70-110 km/h
	Velocidad comercial	12 km/h	20 km/h	28 km/h
	Capacidad	2.000 - 4.000 plazas/hora y sentido	6.000 - 20.000 plazas/hora y sentido	10.000 - 40.000 plazas/hora y sentido
	Composición mínima de la unidad (vehículos)	1	2-3	2-10
	Regularidad	Baja - media (más de 7 minutos)	Alta (de 5 a 15 minutos)	Muy alta (de 3 a 10 minutos)
Aspectos del sistema	Separación de estaciones	200 m	300 a 600 m	500 a 2.000 m
	Longitud media del viaje	Menos de 3 km	5 km	10 km
	Accesibilidad para personas con movilidad reducida	Con rampas desplegadas (bajo porcentaje de flota adaptada con estas rampas)	Absoluta (sin necesidad de mecanismos)	Mediante ascensores (bajo porcentaje de estaciones adaptadas)

En el entendimiento de la movilidad urbana sostenible como parte de la gestión de ciudades, en forma complementaria, y casi inherente al análisis desde la perspectiva de indicadores de movilidad, se encuentra el estudio de los aspectos ambientales, que en

el caso del tranvía, se constituyen en una de sus principales ventajas. A este respecto, y sobre la base de lo expuesto por Mesa (2017) –citando a la Universidad Pontificia Bolivariana (2017) y su inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá (Colombia) para el año 2015– y Miralles-Guasch (2017), pueden encontrarse claramente definidas las bondades ambientales que el tranvía tiene sobre otros medios de transporte como el vehículo particular, el bus metropolitano y los buses convencionales; aquellas se encuentran atribuidas principalmente, a una significativa menor emisión de gases contaminantes y menor consumo de energía, tal como se expone en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Comparativo de emisiones de PM 2.5 fuentes móviles y consumo energético por medio de transporte público urbano. Fuente: el autor, a partir de Mesa (2017) y Miralles-Guasch (2017).

Criterios de comparación / Medio de transporte		Tranvía	Vehículo particular (Mesa, 2017)	Bus metropolitano (Mesa, 2017)	Buses (Mesa, 2017)
Factor emisión (g/km)		-	0,014	-	0,188
Emisiones (ton/año)		0	113	0	149
Participación (%)		0,0	7,5	0,0	10,0
Consumo energético (millones de joules/persona y km) (Miralles-Guasch, 2017)	Producción del medio	0,7	1,4	-	0,7
	Combustible	1,4	3 - 3,3	-	2,1
	Total	2,1	4,4 - 4,7	-	2,8

Tal vez uno de los campos de mayor competencia entre medios de transporte es el de las tecnologías. Los sistemas como los BRT (Bus Rapid Transit) han incorporado mejoras en la accesibilidad, funcionalidad y comodidad para los pasajeros y conductores; se tienen cabinas para conductores más seguras y con mejor visibilidad de la situación del tráfico, puertas adicionales y amplias para el mejoramiento de la accesibilidad, nuevos diseños internos de asientos plegables deslizantes que permite al conductor ajustar el espacio de acuerdo con el flujo de pasajeros, y mejoras en los tiempos de abordaje a través de servicios electrónicos (Gaggi, Fluhrer y Janitzek, 2013:12), además de sistemas inteligentes de transporte (Quintero y Prieto, 2015:57,59). Estas mejoras en los vehículos y la infraestructura han sido ampliamente optimizadas por sistemas de transporte tranviarios, que se han desarrollado en diversos campos innovadores como la automatización del transporte terrestre, tecnologías de combustibles y propulsión, sistemas inteligentes de transporte, organización de sus servicios, nuevos tipos de infraestructuras multipropósito para la carga de vehículos eléctricos, el transporte intermodal de mercancías y el intercambio modal para pasajeros (Aggelakakis et al., 2014:33). Así, el tranvía ha logrado diversas ventajas como una excelente movilidad y confort para todos los pasajeros, seguridad y confiabilidad, nuevas configuraciones para diversas capacidades, eliminación de catenarias, consumo energético reducido para costos de ciclo de vida optimizados, y compatibilidad con el medio ambiente (Alstom, 2014:1-16).

Sobre los beneficios de los sistemas tranviarios, en términos generales, y conforme lo expone Quintero (2017b:36-38), puede señalarse que el tranvía tiene significativos beneficios desde tres dimensiones, a saber: 1. La protección del ambiente –la renovación urbana y paisajística junto con la no emisión de gases contaminantes, la posibilidad de utilizar energías renovables para su operación, bajos requerimientos de espacio y por tanto una reducida ocupación del mismo, bajos niveles de ruido y consumo de energía, y superposición a múltiples condiciones impuestas por la topografía–, 2. Equidad social –mayor nivel de calidad en el servicio de transporte, comodidad y satisfacción para los usuarios, mayor accesibilidad a servicios sociales y habitabilidad en su área de influencia, integración urbana con otros medios de transporte, e incluso la promoción de la caminata a través de la atracción de más usuarios hacia el uso del transporte público–, y 3. Valor económico –provisión de conectividad entre las diferentes actividades

diarias de los usuarios, la confiabilidad de frecuencias e itinerarios, la contribución a la reducción de la congestión del tráfico, la eficiencia, la alta capacidad de transporte de pasajeros, y la comodidad.

El tranvía y la gestión de ciudades

Conforme lo argumenta Quintero (2018:1), es necesario hoy por hoy reconocer al transporte como uno de los subsistemas estructurantes de la ciudad, que tiene incidencia, no sólo en la estructura física, sino también en la estructura social y ambiental de los conglomerados urbanos. De allí radica la importancia del diseño estratégico del transporte pensado para la ciudad de acuerdo con sus necesidades; sin embargo, este diseño muchas veces adolece de esta característica estratégica porque generalmente se plantea el sistema de transporte sobre la ciudad ya existente con todas sus problemáticas urbanas; esta circunstancia hace que sea dificultoso el diseño y a su vez existan barreras técnicas y tecnológicas a la hora de su construcción. Así pues, la labor de ejecutar proyectos de sistemas de transporte, principalmente en lo concerniente a su infraestructura física y específicamente aquellos del tipo férreo como el tranvía, se hace compleja porque resulta difícil, por ejemplo, remover grandes complejos de vivienda y de comercio para ampliar el ancho de calzadas de vías principales. Estas situaciones llevan a afirmar que las ciudades han sido materializadas de manera contraria, en donde un sistema tan determinante como el transporte es diseñado e implementado en momentos de caos urbano, y conjuntamente se permite el crecimiento no organizado de urbanizaciones y viviendas sobre vías angostas y de mucho flujo vehicular.

En ese sentido, y siguiendo las aclaraciones de Quintero (2018:1), es importante mencionar que el sistema de transporte siempre debe ser diseñado y proyectado para demandas futuras y no como medida de contingencia ante problemáticas de movilidad actuales; aunque la implementación de sistemas de transporte en sí misma representa la solución a una necesidad, debe pensarse para las problemáticas futuras, de lo contrario se convertirá en una medida temporal y dado el costo y robustez que implica un sistema de transporte, no es apropiado permitir que este tenga una condición de temporalidad e inmediatez, por el contrario debe ser una medida de solución de movilidad para el largo plazo. Dicho esto, el primer subsistema que debe ser diseñado e implementado en el nacimiento de la ciudad es el transporte, teniendo en cuenta la población y las necesidades de recorrido; a partir del conocimiento sobre el diseño y ubicación por donde pasará el sistema de transporte se podrá dar vía al crecimiento urbano que estará determinado por el diseño que haya impuesto el mismo sistema, aunado a que el transporte genera un efecto de atracción, con el que habrá crecimiento de vivienda y comercial en aquellas localidades de la ciudad en las que se encuentren facilidades de acceso al transporte. Además, con el paso de la infraestructura del transporte, muchas veces se facilita la instalación conjunta de redes de servicios públicos, evitando intervenciones y obras repetitivas que modifiquen lo ya construido.

Quintero (2018:2) plantea que posterior al establecimiento de las rutas del modo de transporte, como herramienta de planificación, se deben hacer las declaratorias de utilidad pública de los lotes de terreno afectados por el paso del sistema, esto con la finalidad de impedir el crecimiento urbano sobre las áreas destinadas para la construcción futura de la infraestructura de transporte; esto permite un crecimiento ordenado y funcional de la ciudad alrededor del sistema, a la vez que se permite una accesibilidad equilibrada al mismo si las viviendas y comercio se encuentran establecidas alrededor del mismo sistema. Así pues, para el caso del tranvía, como sistema de transporte férreo, se requieren ciertas especificaciones de disponibilidad de espacio para su infraestructura compatible con otros modos de transporte, por lo mismo, es de suma importancia tener

en cuenta los factores anteriormente mencionados, para prever su diseño y necesidad futura como determinantes del diseño de la ciudad y de esta manera sacar su mayor provecho, sin hacer intervenciones costosas de demoliciones, reubicaciones y reconstrucciones y colaborando al crecimiento ordenado y justo de la ciudad. No obstante todo lo anterior, los sistemas tranviarios muestran una notable adaptabilidad a la ciudad ya existente, proporcionando una solución confiable y adecuada a la problemática de movilidad urbana sin la generación de mayores traumatismos urbanos en su proceso de implementación.

Discusión: propuesta de tren ligero en la avenida carrera 7ª en bogotá d.C.

La viabilidad de un sistema de tranvía o tren ligero por la Avenida Carrera 7ª en Bogotá D.C., ha estado en discusión por más de una década; se han señalado sus ventajas frente al sistema convencional de BRT, y que se manifiestan principalmente al ser un sistema más limpio, menos costoso en el largo plazo, que revitaliza el ambiente urbano y en general protege el ambiente (Romero, 2008). Esta discusión, que ha tenido como principales actores a los organismos que administran el tránsito y el transporte en la ciudad, a la academia, a los expertos, y por supuesto a la prensa, no ha dado frutos; aun hoy se tienen dudas acerca de la viabilidad de un sistema tranviario por este corredor vial, e incluso se discute acerca de la implementación de un sistema convencional de BRT. Atendiendo a lo anterior –y con el objetivo de que este trabajo se constituya en un referente para valorar los beneficios y viabilidad de la implementación de un sistema tranviario–, a continuación se presentan los argumentos, que desde la perspectiva actual de la demanda de viajes, la caracterización del tráfico, y la operación del transporte público, permiten –sobre la base de lo ya expuesto en relación con el tranvía y su naturaleza–, plantear la conceptualización y viabilidad operativa de una línea de tren ligero sobre la Avenida Carrera 7ª en la ciudad de Bogotá D.C.; se aclara que el tren ligero posee características superiores a las del tranvía, siendo claramente diferenciado por la legislación de Colombia, la cual, a través del Artículo 2 del Decreto 1.008 de 2015 del Ministerio de Transporte (2015:5), establece lo siguiente:

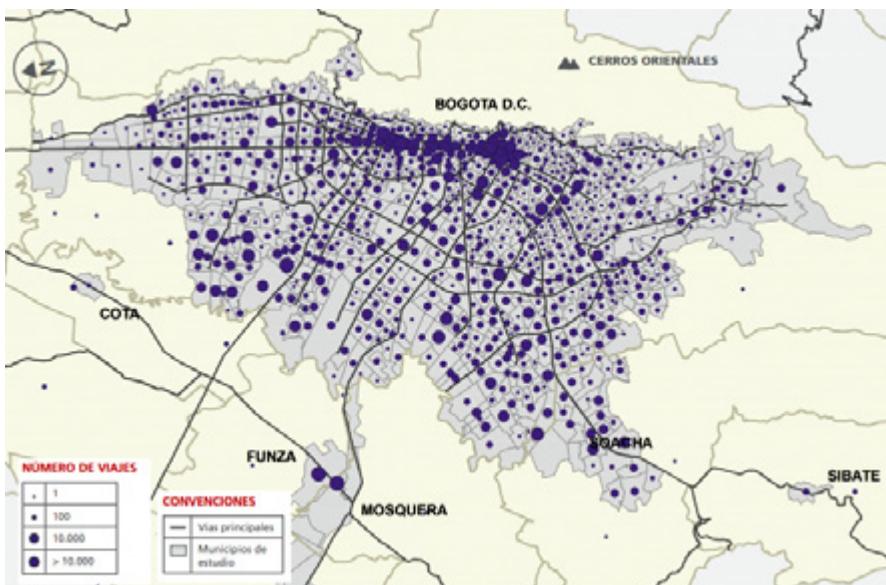
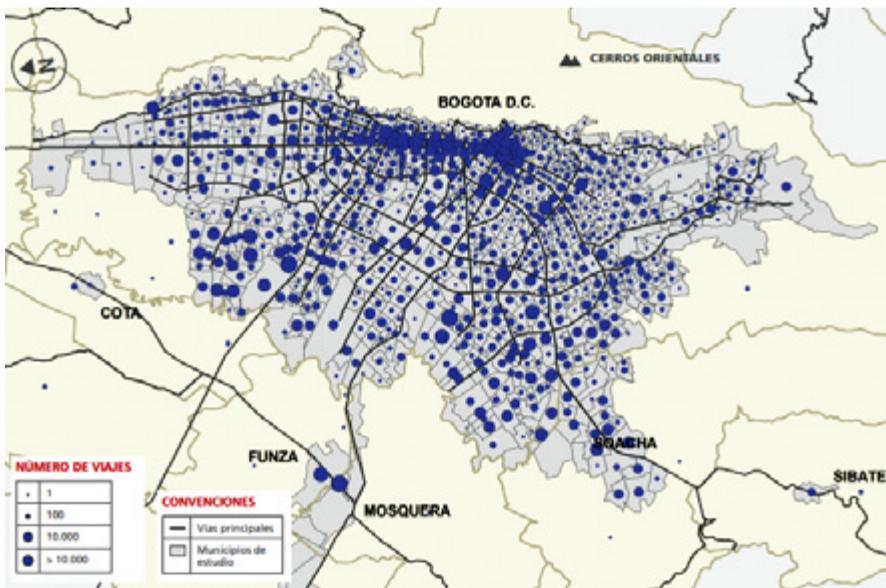
Tren Ligero: sistema ferroviario urbano y/o suburbano para el servicio de pasajeros que se caracteriza por tener derechos exclusivos de vía y ocasionalmente compartir tráfico en vías urbanas. Cuenta con sistemas de control avanzados y capacidades de transporte superiores a los sistemas tranviarios e inferiores a las de los metros pesados.

Distribución de viajes en Bogotá D.C.

Un análisis de demanda consiste principalmente en la determinación de la cantidad de viajes y la distribución espacial de estos dentro del área urbana de una ciudad; factores que se derivan de las distancias existentes entre las diversas actividades desarrolladas por los ciudadanos. De ésta manera, y tal como lo señala Quintero (2017a:60) –citando a Alcántara (2010)–, el modelo de desarrollo urbano de una ciudad está dado por la configuración de la misma en aquellos lugares donde las personas realizan sus actividades diarias, y a los cuales deben acceder mediante el uso de diversos medios de transporte, tales como la caminata, el uso de la bicicleta, automóviles, autobuses, motocicletas, ferrocarriles y el metro; estos aspectos definen la demanda de viajes. Conforme con lo anterior, y citando a Moré y Giret (2013:54), puede señalarse que “los principales atractores y generadores de viajes se encuentran en las zonas que componen el centro expandido, Suba, Calle 80, Kennedy y el Municipio de Soacha”, para lo cual además explican que:

(...) con respecto al transporte público en hora pico de generación se observa que los viajes en este modo se originan en la periferia, principalmente en zonas como Suba, Calle 80, Kennedy, Bosa y Usme, mientras que en hora pico de destino se encuentran los viajes hacia el centro de la ciudad, entre las Calles 6 y 127, entre los cerros y la Carrera 30, llamado el centro expandido de la ciudad. Moré y Giret (2013:54).

Estas apreciaciones dejan en evidencia, tal como lo explican Moré y Giret (2013), que los viajes se originan en las zonas de servicios de la ciudad, y en aquellas zonas donde se encuentran los puestos de trabajo, las cuales incluyen la Avenida Carrera 7ª, tal como se puede apreciar en las Figura 2 y 3 –resultado del estudio realizado por la Unión Temporal Steer Davies & Gleave y el Centro Nacional de Consultoría (2011:98,99) para la Secretaría Distrital de Movilidad y la Alcaldía Mayor de Bogotá, en el año 2011– a continuación.



Puede apreciarse en las Figuras 2 y 3, como las vías principales cercanas a los Cerros Orientales –Avenida Carrera 7ª y la Carrera 14–, representan los corredores viales más cargados, dejando en claro la necesidad de satisfacer la demanda de viajes por aquellos corredores mediante la implementación de sistemas de transporte convenientes que permitan la integración con medios de transporte alternativos. Las tendencias de los resultados encontrados en la ciudad de Bogotá D.C. en el año 2011, por parte de la Unión Temporal Steer Davies & Gleave y el Centro Nacional de Consultoría (2011:98,99), respecto de la densidad de generación y atracción de viajes, son ratificadas por los resultados del más reciente estudio de la movilidad en Bogotá D.C., realizado por el Consorcio Transconsult – Infométrika (2016:30-33) en el año 2015.

Las Figuras 4 y 5 a continuación, presentan respectivamente el mapa de densidad y mapa de calor de generación de viajes diarios en transporte público colectivo en la ciudad de Bogotá D.C., elaborados por el Consorcio Transconsult – Infométrika (2016:30,31); sobre aquellos mapas se puede señalar, en primer lugar, la alta generación de viajes sobre Avenida Carrera 7ª y la Carrera 14; en segundo lugar, la generación de viajes de manera similar entre diversos sectores de la ciudad, y con mayor intensidad en la zona sur-occidental y las periferias.

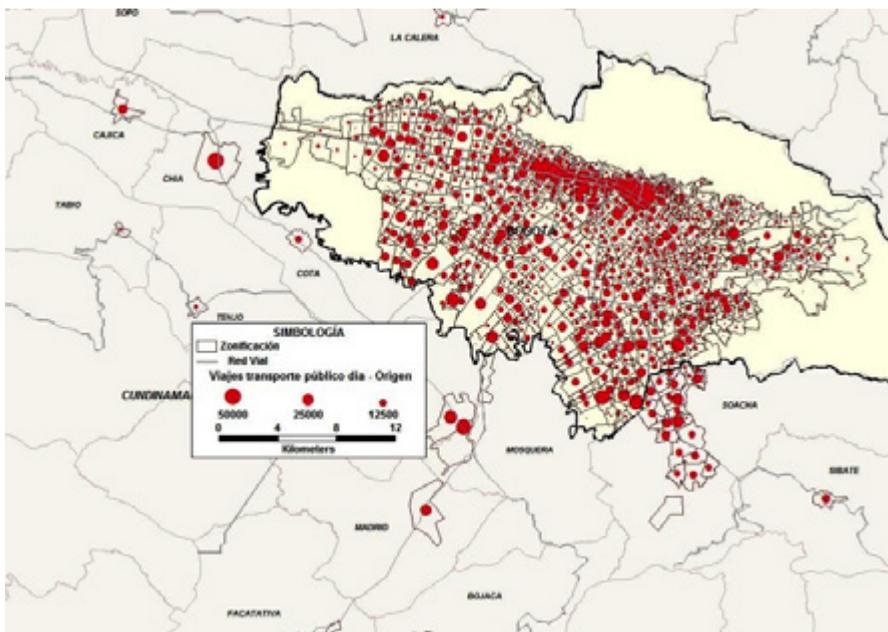


Figura 4. Densidad de generación de viajes en transporte público colectivo en Bogotá D.C., 2015. Fuente: Consorcio Transconsult – Infométrika (2016:30).

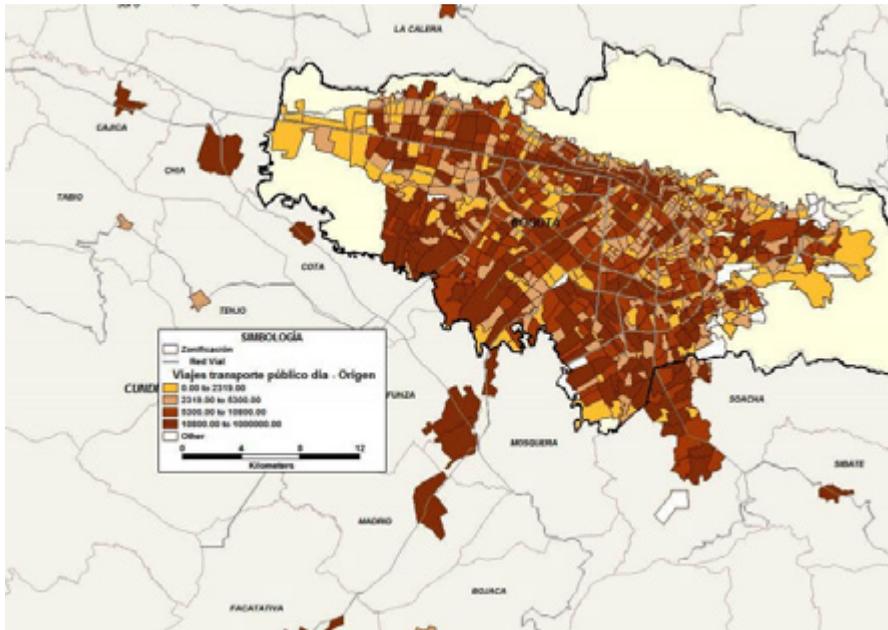


Figura 5. Mapa de calor de generación de viajes en transporte público colectivo en Bogotá D.C., 2015. Fuente: Consorcio Transconsult – Infométrika (2016:31).

Amén lo anterior, las Figuras 6 y 7 a continuación, presentan respectivamente el mapa de densidad y mapa de calor de atracción de viajes diarios en transporte público colectivo en la ciudad de Bogotá D.C., elaborados por el Consorcio Transconsult – Infométrika (2016:32,33); sobre estos últimos mapas se puede indicar la mayor atracción de viajes hacia la Avenida Carrera 7ª y la Carrera 14, al mismo tiempo que se observa una atracción de viajes variable hacia los demás sectores de la ciudad, con algunos patrones marcados hacia el occidente del área urbana.

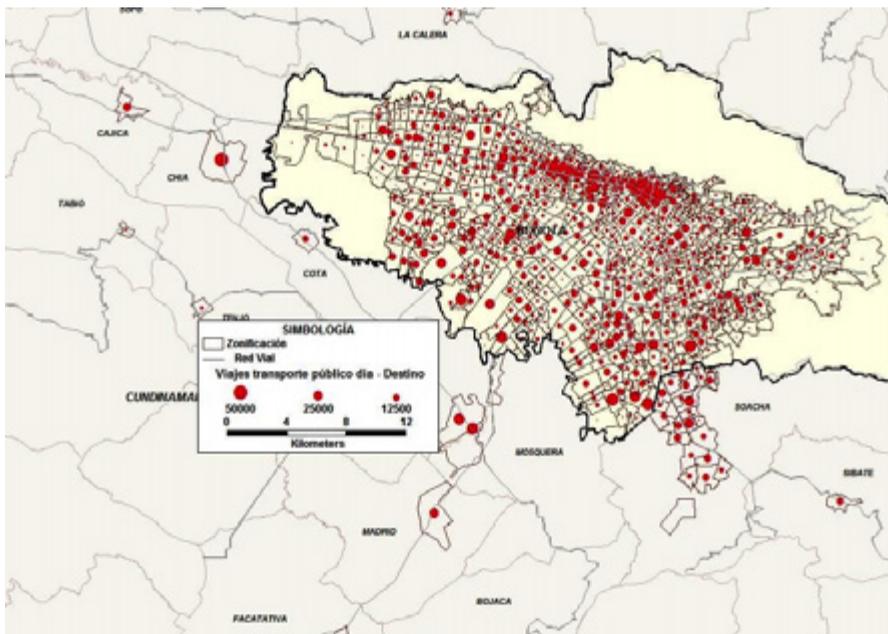


Figura 6. Densidad de atracción de viajes en transporte público colectivo en Bogotá D.C., 2015. Fuente: Consorcio Transconsult – Infométrika (2016:32).

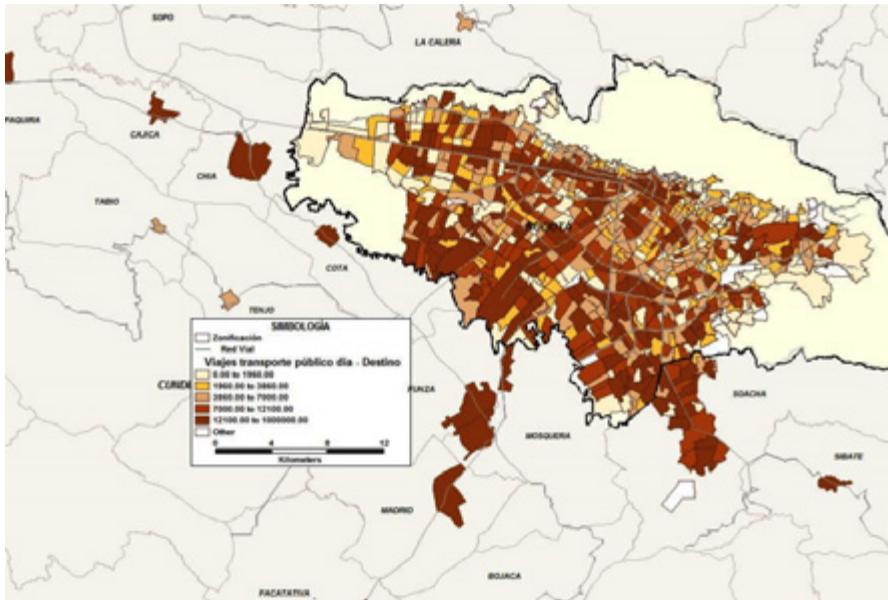


Figura 7. Mapa de calor de atracción de viajes en transporte público colectivo en Bogotá D.C., 2015. Fuente: Consorcio Transconsult – Infométrika (2016:33).

Análisis del flujo en la Avenida Carrera 7ª

Sobre la base de lo expuesto en el numeral anterior, a continuación se presenta el análisis del flujo sobre el corredor de principal interés para esta propuesta; la Avenida Carrera 7ª. Tal como lo señalan Romero, Becerra, Herrera y Trujillo (2011:2-3), la Carrera Séptima recorre toda la ciudad de Bogotá D.C., iniciando en la Calle 6 y llegando a la Calle 190, pasando por el ya mencionado centro expandido de la ciudad, el cual se caracteriza por una dinámica comercial, empresarial y educativa. Explican Romero et al. (2011) que para el año 2011 el volumen promedio en hora pico de la mañana (6:00 a.m. a 9:00 a.m.) era de 3.900 vehículos sentido sur-norte (Calle 28) y 7.300 sentido norte-sur (Calle 106), llegando a la conclusión de que los vehículos particulares y taxis en conjunto representaban cerca del 71% del volumen total de vehículos, en una proporción de 62% taxis y 38% particulares. Por otro lado el 27% correspondía a transporte público colectivo, muy por debajo de los otros medios de transporte, tal como se observa en la Figura 8.

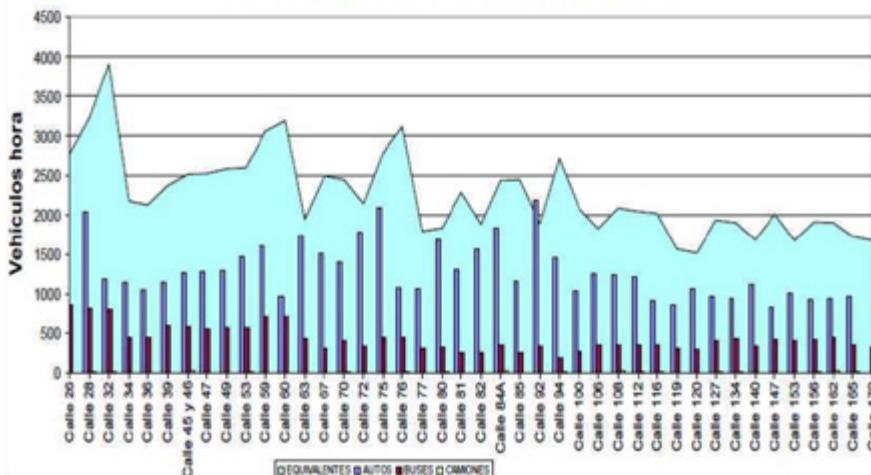


Figura 8. Volúmenes vehiculares Carrera Séptima sentido sur-norte periodo pico. Fuente: Romero, Becerra, Herrera y Trujillo (2011:3).

Caracterización del tráfico y la operación del transporte público

Sumado a lo anterior, Romero et al. (2011) realizaron otros hallazgos importantes en la caracterización del tráfico por la Avenida Carrera 7ª. En primer lugar, y tomando como base el Sistema de Información de Tráfico y Movilidad Urbana en Tiempo Real –SITY-MUR– de la Universidad de Los Andes (Bogotá D.C., Colombia), determinaron que el promedio de velocidad de viaje de la Avenida Carrera 7ª es de 26 km/h, con una variación entre 23 y 25 km/h en las horas pico de la mañana (6:00 a.m. a 9:00 a.m.) y una reducción hasta los 20 km/h en la hora pico de la tarde. De la misma manera establecieron que la cantidad de pasajeros promedio diarios por la vía era de 16.000 pasajeros/hora/sentido, estos hallazgos se resumen en el Cuadro 4. Asimismo, y como información de carácter fundamental establecieron que el nivel de ocupación para los vehículos particulares era de tan solo un pasajero para alrededor del 65% de los casos, lo que implica una perentoria necesidad de incentivar el uso compartido del vehículo así como de trasladar más viajes al transporte público colectivo. La distancia entre paraderos determinada por Romero et al. (2011) se encuentra entre 119 y 630 metros con variación bastante irregular.

Cuadro 4. Características de tráfico por la Carrera Séptima. Fuente: Simulación del tráfico de la carrera séptima en Bogotá D.C. Colombia, entre calles 34 y 72 utilizando dinámica de sistemas (Romero et al., 2011).

Indicador	Valor	Unidades
Rutas TPC	98	Rutas en el tramo más cargado del corredor
Buses hora pico	600	Bus/hora
Volumen máximo de viajes TPC (Calle 31-Calle 72)	16.000	Pasajeros/hora/sentido
Velocidad promedio TPC	26	km/h
Volumen máximo diario de vehículos sentido sur-norte (Calle 106)	29.456	Vehículos/día/sentido
Volumen máximo diario de vehículos sentido norte-sur (Calle 28)	22.190	Vehículos/día/sentido
Volumen máximo de vehículos sentido sur-norte (Calle 28, periodo 6:00 a.m. - 9:00 a.m.)	3.900	Vehículos
Volumen máximo de vehículos sentido norte-sur (Calle 106, periodo 6:00 a.m. - 9:00 a.m.)	7.300	Vehículos

En la actualidad, la prestación del servicio de transporte sobre la Avenida Carrera 7ª –mediante el Sistema Integrado de Transporte Público SITP y según cifras de su Administración (SITP, 2016)–, se maneja a través de carriles preferenciales, que han mejorado la velocidad en 4 km/h, contando con 33 rutas zonales que atraen 115.800 abordajes diarios y 5 rutas duales que atraen 86.540 abordajes diarios. Con base en estas cifras puede señalarse que en la actualidad el SITP por la Avenida Carrera 7ª atrae cerca de 202.340 abordajes diarios, que divididos en las diecinueve horas de operación continua del sistema (4:00 a.m. a 11:00 p.m.) en algunas rutas, se estima equivaldrían a aproximadamente 10.650 abordajes por hora. De la misma manera, y con base en información publicada por la Administración del SITP (SITP, 2016), los vehículos que prestan el servicio urbano corresponden a tres tipos; el bus de 80 pasajeros, el busetón o buseta de 50 o 40 pasajeros respectivamente, y el microbús de 19 pasajeros.

Concepto de proyecto de tren ligero Avenida Carrera 7ª

Una vez expuestos los aspectos relacionados con la caracterización de la demanda de viajes, del tráfico y de la operación del transporte público sobre la Avenida Carrera 7ª,

a continuación se plantea la propuesta de trazado de la línea de tren ligero así como los detalles que la justifican. El trazado planteado inicia en la intersección de la Carrera 7ª con la Calle 26 en el Centro de la ciudad de Bogotá D.C., seleccionando la Calle 26 por su importancia como eje estructurante transversal que permite la conexión entre el centro-oriente y el occidente de la ciudad, además de la posibilidad de interconexión con otros medios de transporte como el Sistema Integrado de Transporte Masivo – SITM– TransMilenio. La línea se extiende por la Avenida Carrera 7ª hasta la Calle 193, la cual se encuentra alineada con el Terminal Satélite del Norte, el cual atrae los viajes de los ciudadanos que desean realizar desplazamientos interurbanos a ciudades del oriente y norte del país, como Tunja, los Llanos Orientales y Bucaramanga.

La Calle 193 encuentra su justificación en la posibilidad de conexión paralela con el mencionado terminal, con proyección al emplazamiento de patio-talleres y un nuevo terminal satélite –sobre Bodegas Acerías Paz del Río–, que permita el direccionamiento de viajes hacia otras ciudades y municipios a través de la vía que conduce a la Autopista la Caro (Ruta 55), así como el descongestionamiento de la Autopista Norte por donde actualmente se realizan dichos desplazamientos interurbanos e intermunicipales. En la parte superior de la Figura 9 se muestra el trazado conceptual descrito, y que tiene una longitud de aproximadamente 19,2 kilómetros; en la parte inferior izquierda su inicio en la Calle 26; y en la parte inferior derecha su terminación en la Calle 193 – patio-talleres y terminal satélite.



Figura 9. Trazado proyectado línea de tren ligero Avenida Carrera 7ª; inicio Calle 26; fin patio-taller terminal Calle 193. Fuente: el autor, con base en <http://mapas.bogota.gov.co/portalmapas/>

Viabilidad operativa

Inicialmente para el planteamiento de la viabilidad operativa se recurre a la valoración de aspectos físicos propios del diseño geométrico, específicamente del trazado planteado, la disponibilidad de espacio, la posibilidad de localización de estaciones,

así como patio-talleres y el terminal satélite propuesto en la Calle 193. Posteriormente, y con base en la literatura y referentes, se plantea un contraste entre los indicadores antes mencionados frente a la caracterización de la operación del transporte público convencional en la Avenida Carrera 7ª, y aquellos equivalentes a la operación de un sistema tranviario como el tren ligero. Al analizar la disponibilidad de espacio, y específicamente la sección transversal de la que se dispone, puede señalarse la existencia de dos calzadas, una para cada sentido de circulación, con tres y dos carriles en cada sentido, con suficiente espacio para la disposición de una línea de tren ligero en cada sentido en la mayoría del trazado; ubicada en la parte central de las calzadas sobre la Avenida Carrera 7ª, con disponibilidad de dos carriles en cada sentido de circulación para el desplazamiento de vehículos particulares.

Hacia el norte de la ciudad la vía es amplia, con un separador ancho que bien puede ser empleado para la disposición de la línea de tren ligero. No obstante, la presencia de árboles de mediano porte plantea un tratamiento y recuperación ambiental a lo largo de la parte norte del corredor. De esta manera, la sección transversal puede integrarse de forma similar a la que sección que se ilustra en la Figura 10. Debe considerarse sin embargo, la reducción en la sección transversal de la vía en la intersección de la Carrera 7ª con Calle 182 y hasta la Calle 193, que pasa a ser solo una calzada con dos sentidos de circulación; esto supone la necesidad de ampliar la vía en este sector, para lo cual se cuenta con disponibilidad aceptable de espacio para tal fin, con las implicaciones prediales correspondientes.



Figura 10. Concepto de sección transversal línea de tren ligero Avenida Carrera 7ª. Fuente: http://www.tautonline.com/wp-content/uploads/2016/12/12809D27.img_.jpg

Expertos en el tema de sistemas de tren ligero y su operación señalan que por lo general, proporcionan un servicio regional que conecta a las comunidades suburbanas con distritos comerciales centrales, típicamente en el rango de 15 a 20 millas (24,14 a 32,19 kilómetros respectivamente), con estaciones espaciadas entre media milla y una milla de distancia (804 a 1.609 metros aproximadamente) (Furmaniak y Schumann, 2010), con capacidad de atender un promedio de 12.000 pasajeros/hora/sentido (Wilkie y Petersen, 2010:3), con posibilidad de extenderse a 40.000 pasajeros/hora/sentido (Viana, 2015). Con base en los referentes mencionados, y específicamente lo relacionado con la distribución de estaciones, en el Cuadro 5

se presenta la propuesta de estaciones para la línea de tren ligero sobre la Avenida Carrera 7ª, y que se constituyen en un conjunto de quince (15) estaciones, espaciadas entre 700 metros y 1.600 metros aproximadamente.

Cuadro 5. Estaciones propuestas línea de tren ligero Avenida Carrera 7ª. Fuente: el autor.

No.	Nombre de estación	Ubicación	Distancia a estación anterior (km)	Distancia acumulada trazado (km)
1	Portal Parque de la Independencia	Avenida 7ª con Calle 26	0,0	0,0
2	Parque Nacional	Avenida 7ª con Calle 37	1,5	1,5
3	Calle 50	Avenida 7ª con Calle 50	1,4	2,9
4	Sagrado Corazón	Avenida 7ª con Calle 66	1,6	4,5
5	Calle 80	Avenida 7ª con Calle 79	1,6	6,1
6	Calle 92	Avenida 7ª con Calle 92	1,4	7,5
7	Avenida Calle 100	Avenida 7ª con Avenida 100	1,1	8,6
8	Santa Bárbara	Avenida 7ª con Calle 116	1,6	10,2
9	Avenida 127	Avenida 7ª con Avenida 127	1,1	11,3
10	C.C. Palatino	Avenida 7ª con Calle 140	1,6	12,9
11	Canal Cedro	Avenida 7ª con Calle 153	1,4	14,3
12	Calle 165	Avenida 7ª con Calle 165	1,6	15,9
13	Avenida Calle 170	Avenida 7ª con Calle 170	0,7	16,6
14	Naumann	Avenida 7ª con Calle 183	1,3	17,9
15	Terminal Satélite y Patio-taller	Bodegas Acerías Paz del Río Calle 193 con Carrera 7ª	1,3	19,2

Por último, se realiza un contraste entre las características de operación del SITP actual y las del escenario en el cual estaría presente el tren ligero sobre la Carrera 7ª. Para tal fin, se considera el estimado mencionado de pasajeros/hora/sentido transportados, así como los datos obtenidos de Viana (2015) –acerca de las características de los sistemas de tren ligero en el marco español–, quien señala que el tren ligero por lo general, presenta una capacidad de entre 6.000 a 20.000 pasajeros/hora/sentido, una velocidad máxima de operación de entre 60 y 90 km/h, con separación entre estaciones de 300 a 1.500 metros, una longitud de entre 25 y 45 metros para cada vehículo-unidad transportadora, la cual puede estar compuesta por una cantidad de 2 a 3 chasis (vagón), cada uno de los cuales tiene capacidad para 25 a 80 asientos, con un total de entre 110 a 250 pasajeros. Bajo las anteriores consideraciones, y al tomar como referencia las características de operación ya mencionadas sobre el Sistema Integrado de Transporte Público –SITP–, en el Cuadro 6 se presenta un comparativo de los dos sistemas, que permite apreciar la viabilidad operativa del sistema de tren ligero.

Cuadro 6. Contraste de características de operación de SITP y de tren ligero sobre la Avenida Carrera 7ª.
Fuente: el autor.

Características de operación	SITP	Tren Ligero
Longitud unidad transportadora	6 a 7 metros (microbús) 7 a 10 metros (busea) 10 a 11 metros (busetón) 11 a 15 metros (bus)	25 - 45 metros
Capacidad por unidad transportadora	19 pasajeros (microbús) 40 pasajeros (busea) 50 pasajeros (busetón) 80 pasajeros (bus)	110 a 250 pasajeros
Volumen máximo de viajes servidos conjunto	16.000 pasajeros/hora/sentido	6.000 a 20.000 pasajeros/hora/ sentido
Velocidad máxima (velocidad comercial)	40 a 80 km/h (26 km/h)	60 a 90 km/h (20 a 40 km/h)
Distancia entre paraderos o estaciones	119 a 630 metros (bastante irregular)	700 a 1600 metros (regularizada)
Combustible empleado	Diesel	Energía eléctrica
Regularidad	Baja-media	Alta
Longitud media de viaje	Corta/media/larga	Media/larga
Interrelaciones con otros modos	Puede alimentar otros modos de mayor capacidad	Estacionamiento de disuasión, alimentado por autobuses
Control de acceso de usuarios en las estaciones	Ninguno	Total
Control de recaudo	En el vehículo	En la estación

En términos generales, son apreciables las mejores condiciones de operación y del servicio de transporte que ofrece el sistema de tren ligero, desde su capacidad por vehículo-unidad transportadora, volumen de pasajeros transportados por hora por sentido, velocidad de viaje, regularidad del servicio, distribución espacial de estaciones, sistema de recaudo, facilidad de intercambio modal, así como fuente de energía con menores impactos en el ambiente. No obstante lo anterior, y aunque el tren ligero por sí mismo puede satisfacer de diversas maneras las necesidades de movilidad sobre la Avenida Carrera 7ª; en un escenario de implementación de aquel, es fundamental considerar su integración con los medios de transporte existentes, a fin de no generar traumatismos sociales y económicos; la integración del transporte, tal como lo explica Solecka y Žak (2014:260), puede incluir:

- » Integración de los diferentes modos de transporte público.
- » Integración del transporte público e individual.
- » Integración de la política de transporte con otras políticas relativas al ordenamiento territorial y la gestión de la ciudad.
- » Integración espacial basada en la aplicación de estrategias eficientes de uso de la tierra (por ejemplo, terminales multimodales y plataformas de intercambio, vías compartidas para medios de transporte público).
- » Integración de infraestructura basada en el desarrollo de diferentes soluciones técnicas en infraestructura de transporte (por ejemplo, pasadizos que conectan paradas de transporte público, pasos elevados, pasos inferiores, paradas compartidas para el transporte público).
- » Integración organizacional (por ejemplo, horarios coordinados, boletos metropolitanos para diferentes modos de transporte).
- » Integración económica centrada en la introducción de diferentes medidas que apoyan la sostenibilidad y la eficiencia de los sistemas de transporte público (por ejemplo, tarifas integradas).
- » Integración de información (por ejemplo, sistemas de información de pasajeros, páginas web, planificadores electrónicos de viajes).

De la eficiencia energética

Un tema de gran interés e incertidumbre es aquel relacionado con la sostenibilidad desde la óptica del consumo de energía, derivado de la implementación de un sistema de transporte como el tranvía o el tren ligero, en contraste con las ventajas operativas que aquel ofrece, y de allí su eficiencia energética; la mayor preocupación resulta de los costos que suponen los consumos de energía eléctrica y las capacidades instaladas de las ciudades. A este respecto, y aunque el objeto del presente trabajo se orienta más al análisis de aspectos operativos y de movilidad, lo relativo al tipo de combustible es un tema que debe mencionarse. Para el caso en estudio, la falta de información sobre el sistema eléctrico de la ciudad, su capacidad instala, y costos, limitan la realización de un análisis comparativo entre el sistema de transporte convencional SITP –que emplea para su operación combustible diesel–, frente al tren ligero –alimentado por electricidad–, en el escenario de su implementación. No obstante, sobre la base de la literatura, pueden identificarse casos claros en los que se evidencian las diferencias de consumo de energía eléctrica, entre sistemas de transporte público colectivo urbano mediante el empleo de buses convencionales y los sistemas de transporte por medio de tranvía o tren ligero.

Uno de estos casos es el expuesto por Riol (2012:15), quien realiza un análisis comparativo del consumo medio energético de diversos medios de transporte en España, que para el mencionado autor, se constituye en el país de toda Europa con el mayor consumo de energía final en el sector transporte. Riol (2012) estima los consumos energéticos medios y finales, medidos en kilovatios por hora por kilómetro, referidos al tipo de vehículo, tonelaje, plazas y asientos. Los resultados –que se presentan en el Cuadro 7–, dejan ver claramente como el consumo energético final del tranvía es inferior –y bajo ciertos criterios significativamente inferior– al consumo energético final de sistemas de transporte que emplean buses urbanos, tal como puede entenderse está compuesto el parque automotor del SITP en la ciudad de Bogotá D.C.

Cuadro 7. Consumo energético medio relativo por tipo de vehículo, masa, superficie, plazas y asientos. Fuente: adaptado de Riol (2012:15).

Valores medios	Asientos	Consumo energético final					
		Por vehículo (kWh/km)			Por masa (kWh/km/ton)		
		Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.
Bus urbano	29	4,50	-	-	0,375	-	-
Tranvía	56,67	3,86	5,25	1,84	0,105	0,131	0,071
Valores medios	Asientos	Por plazas (kWh/km/plazas)			Por asiento (kWh/km/asiento)		
		Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.
		Bus urbano	29	0,060	-	-	0,155
Tranvía	56,67	0,019	0,024	0,012	0,065	0,082	0,044

Riol (2012:17) presenta un análisis similar para el cual toma como referencia el caso de Alemania; los resultados –que se muestran en el Cuadro 8– nuevamente permiten inferir el menor consumo energético de los sistemas tranviarios frente a los sistemas de transporte convencionales mediante la utilización de buses.

Cuadro 8. Consumo energético de los medios de transporte en Alemania. Fuente: adaptado de Riol (2012:17).

Medio de transporte	Ocupación media	Consumo por vehículo (kWh/veh/km)	Consumo por viajero (kWh/viajero/km)
Bus urbano	21	4,7	0,22
Metro/tranvía	21	2,96	0,14

Amén de lo anterior, y ya en el contexto del caso propuesto, es dable suponer que la implementación de un sistema de tren ligero sobre la Avenida Carrera 7ª, sin duda puede traer beneficios desde la reducción del consumo energético, el cual se percibe va en aumento a nivel nacional y distrital, independientemente del sector productivo y administrativo al que se haga referencia; así las cosas, el debate no debe centrarse en la sostenibilidad energética inmediata del sistema de tren ligero, sino en la inclusión de este medio de transporte dentro de la matriz de desarrollo del sector, como mecanismo para fomentar la reducción de consumo energético a nivel nacional, de cara a lograr una sostenibilidad energética futura desde el sector transporte en particular. Si bien es cierto que la implementación de un sistema tranviario supone un costo por consumo de energía en el corto plazo, sea como sea, por el aumento de la demanda de transporte convencional que incrementará el consumo de energía significativamente, o por el agotamiento de las fuentes de energía convencionales, el mejor camino es la proyección a reducir el consumo a través de la implementación de sistemas de transporte limpios.

Situaciones como el Fenómeno del Niño y las afectaciones en los precios del petróleo, que perturban el suministro de energía en el sector transporte en Colombia, y por consiguiente en Bogotá D.C. –su ciudad más grande–, obligan a poner en marcha las ya establecidas políticas públicas nacionales en torno a la movilidad eléctrica –en especial en el transporte masivo– (República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación, 2015:231), y tal como lo señalan los instrumentos legales y normativos en el marco jurídico colombiano, el “Uso de electricidad en las categorías: flota sector oficial, taxis en las principales ciudades del país, motos y automóviles y transporte público de pasajeros de las principales ciudades del país” (República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017:3). En otras palabras, puede resultar más costoso en el presente, y con mayor severidad en el futuro, continuar con el modelo de transporte convencional que emplea fuentes de energía no renovable, que realizar la conversión gradual del modelo a uno basado en medios de transporte que utilicen las energías alternativas y limpias, en consonancia con los actuales lineamientos de la sostenibilidad del sector transporte, y de allí en coherencia a lo que en el futuro será la sostenibilidad económica de las naciones.

Conclusiones

La notable capacidad de los aspectos operativos del tranvía y del tren ligero frente a otros medios de transporte convencionales, así como los beneficios ambientales y socioeconómicos que la implementación de los sistemas tranviarios exhibe; permiten señalar una vez más y de manera definitiva, la necesidad de que los gobiernos nacionales, departamentales, distritales y municipales –las tres últimas denominaciones para el caso colombiano–, los organismos administradores del tránsito y del transporte de las ciudades de América Latina, la academia, y los profesionales y expertos en materia de movilidad urbana sostenible, giren su mirada al estudio e implementación de este tipo de sistemas con un mayor esfuerzo. Debe entenderse así, que la inclusión del desarrollo de sistemas tranviarios en los planes, proyectos y programas nacionales de cara al avance del sector transporte, se constituye en la piedra angular en el desarrollo de una idónea planificación urbana y gestión de las ciudades, entendiendo además

al transporte como un subsistema estructurante de aquellas; el propósito primigenio de dichos sistemas debe ser mitigar los efectos nocivos que modelos de transporte anacrónicos, han generado en la calidad de vida urbana en las ciudades de la región, y asimismo mejorarla.

Se considera que el caso objeto de discusión, desarrollado sobre la base de un análisis de los aspectos técnicos y operativos relativos a la distribución de viajes, la caracterización del tráfico, la operación del transporte público, y la eficiencia energética, y que toma como referente a una de las ciudades más grandes de América Latina como lo es la ciudad de Bogotá D.C., Colombia; cimenta el argumento que señala a la implementación de los sistemas de tren ligero y tranvía, no como una moda en la ciudades de la región, o como un modelo quimérico en contraste con los mayores desarrollos en infraestructura y tecnologías en las regiones de Europa, Eurasia, Asia y Norteamérica, sino como un modelo ampliamente aplicable en ciudades de América Latina con diversas características y problemáticas urbanas, sociales y espaciales, en torno al transporte y a la movilidad. Si bien el análisis desarrollado se constituye en una síntesis argumentativa para conceptualizar un proyecto de tren ligero y su viabilidad operativa preliminar en un caso concreto, la metodología se considera replicable en diversos contextos urbanos, tanto en puntos específicos en ciudades intermedias como en unidades morfológicas más extensas en ciudades de tamaño medio y/o las localidades en grandes ciudades y sus áreas metropolitanas; no obstante, debe entenderse que la valoración de la prefactibilidad de un proyecto tranviario supone un mayor detalle y profundidad en el análisis de los aspectos técnicos derivados del estudio de los diversos subsistemas particulares involucrados, y que componen una ciudad.

ACLARACIÓN: Este artículo presenta el resultado del trabajo de investigación independiente realizado por el autor; orientado al estudio y análisis de los sistemas y medios de transporte en Colombia, sus características, problemáticas, y potencialidades de desarrollo.

Agradecimientos

El autor agradece a la Ingeniera Ambiental Laura Estefanía Quintero González, Especialista en Planeación Urbana y Especialista en Gestión de Ciudad y Territorio; Profesional Experto Asociado de AHCTTUM Quintero-G Ingeniería S.A.S., Colombia, y Técnico de Conservación, Restauración y Manejo de Ecosistemas y Biodiversidad de la Subdirección de Ecosistemas y Gestión Ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ), Colombia; por compartir su entendimiento respecto de la relación existente entre los sistemas de transporte y la gestión de ciudades, el cual permitió enriquecer el presente trabajo.

Bibliografía

- » Acharya, S. R., Parumog-Pernia, M., Morichi, S. (2013). Evolving concepts in urban transport. En Morichi, S.; Acharya, S.R. (Eds.), *Transport Development in Asian Megacities. A New Perspective* (pp. 15-31). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- » Aggelakakis, A., Bernardino, J., Boile, M., Christidis, P., Condeço, A., Krail, M., Papanikolaou, A., Reichenbach, M., Schippl, J. y Vieira, J. (2014). *Future prospects on transport evolution and innovation challenges for the competitiveness of Europe*. Seventh Framework Programme, FUTRE Project, European Union. Editing Support: Brands Communication. 60 p.
- » Alcalde Fernández, O. (2012). *La nueva era del tranvía como modo de transporte: ¿necesidad o moda?*, Tesis de Especialidad, Departament Infraestructura del Transport i del Territori, Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Cnals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya. 107 p.
- » Alcántara Vasconcellos, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá D.C.: Corporación Andina de Fomento CAF. 204 p.
- » ALSTOM (2014). *Citadis on the move. The tram solution for each city*. Paris, France: Alstom. 16 p.
- » Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy* 15 (2), 73-80.
- » Carradice, P. (2011, Thursday 24 March). The Mumbles Railway. *British Broadcasting Corporation BBC*. Recuperado de: <http://www.bbc.co.uk/blogs/wales/entries/9301805e-7330-35bc-8701-ebbba7ec945c>
- » Cascajo Jiménez, R. (2004). *Metodología de evaluación de efectos económicos, sociales y ambientales de proyectos de transporte guiado en ciudades*, Tesis de Doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 356 p.
- » Chaudhry, A. G. (2012). Evolution of the transportation system in Dubai. *Network Industries Quarterly* 14 (1), 7-11.
- » Consorcio Transconsult – Infométrika (2016). *Informe final tomo v matrices origen destino (EODH) versión 4*. Contrato de Consultoría No. SDM-2014-1485, Secretaría de Movilidad. Bogotá D.C.: Transconsult – Infométrika. 66 p.
- » Furmaniak, T. y Schumann, J. (2010). *Light rail & streetcar systems how they differ; how they overlap*. American Public Transportation Association APTA. Washington D.C.: LTK Engineering Services. 20 p.
- » Gaggi, S.; Fluhrer, T. y Janitzek, T. (2013). *Innovation in urban mobility: policy making and planning*. Transport Research and Innovation Portal TRIP, Directorate-General for Mobility and Transport DG MOVE, European Commission, Bulgaria. 28 p.
- » González, M. (2007). *Los medios de transporte en la ciudad. Un análisis comparativo*. Madrid, España: Ecologistas en acción, Ministerio de Medio Ambiente. 36 p.
- » International Association Of Public Transport (2015). *Light rail in figures: statistics brief*. Brussels: UITP. 4 p.
- » Mesa Sánchez, O. (2017, mayo 17). El cielo que perdimos en Medellín. *El Espectador*. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/antioquia/el-cielo-que-perdimos-en-medellin-articulo-693981>

- » Miralles-Guasch, C. (2017, s/f). El transporte, una actividad altamente contaminante. *Revista Ambient@*. Recuperado de: <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Miralles.htm>
- » Moré Jaramillo, R. A. y Giret, M. (2013). Movilidad sostenible en Bogotá D.C. – caso metro Bogotá. *Revista de Tecnología* 12 (2), 52-59.
- » Quintero González, J. R. (2017a). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Revista Ambiente y Desarrollo* 21 (40), 57-72.
- » Quintero González, J. R. (2017b). *Valoración de las políticas públicas para la promoción y desarrollo de sistemas de transporte alternativo urbano en Colombia*, Trabajo de Grado de Maestría, Maestría en Derecho Privado, Persona y Sociedad con énfasis en Transporte, Logística e Infraestructura, Departamento de Derecho del Transporte, Facultad de Derecho, Universidad Externado de Colombia. Bogotá D.C. 113 p.
- » Quintero González, J. R. (2017c). Beneficios ambientales, sociales y económicos del tranvía y el tren ligero: valoración de las políticas públicas en Colombia. *Revista Transporte y Territorio*, 17, 203-228.
- » Quintero González, J. R. y Prieto Vaca, L. F. (2015). Sistemas inteligentes de transporte y nuevas tecnologías en el control y administración del transporte. *Puente Revista Científica* 9 (1), 53-62.
- » Quintero González, J. R. y Quintero González, L. E. (2015). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *Revista Ingeniería y Región* 12 (2), 87-97.
- » Quintero González, L. E. (2018). *El tranvía y la gestión de ciudades*. Manuscrito no publicado. AHCTTUM Quintero-G Ingeniería S.A.S., Colombia. Tunja, Colombia. 2 p.
- » República de Colombia. Ministerio de Transporte. (2015). *Decreto 1.008 del 15 de mayo de 2015: por el cual se reglamenta el servicio de transporte público masivo de pasajeros por metro ligero, tren ligero, tranvía y tren-tram*. Bogotá D.C., Colombia.
- » República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Plan nacional de desarrollo 2014-2018: 'Todos por un nuevo país'*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación, 2015. 546 p.
- » República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 1.988 del 28 de septiembre 2017: por la cual se adoptan metas ambientales y se establecen otras disposiciones*. Bogotá D.C., Colombia: 2017. 5 p.
- » Riol Jurado, R. (2012). *Ferrocarril y energía para todos los públicos: revisión crítica de datos sobre consumo de energía y emisiones de los medios públicos de transporte*. Primera Edición. Documentos de Explotación Técnica y Económica del Transporte. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 63 p. Recuperado de: https://www.vialibre-ffe.com/pdf/Consumo_energ%C3%ADa%20y%20emisiones_transporte.pdf
- » Rode, P., Floater, G., Thomopoulos, N., Docherty, J., Schwinger, P., Mahendra, A. y Fang, W. (2014). *Accessibility in cities: transport and urban form*. NCE Cities Paper 03. LSE Cities. London School of Economics and Political Science. 61 p.
- » Romero, M. (2008, agosto 29). Sería viable un tranvía por la carrera Séptima de Bogotá como alternativa a Transmilenio. *El Tiempo*. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4489158>
- » Romero, O., Becerra, M., Herrera, M. y Trujillo, J. (2011). Simulación del tráfico de la carrera séptima en Bogotá D.C. Colombia, entre calles 34 y 72 utilizando

dinámica de sistemas. 9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas “La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento” (14 al 16 de septiembre del 2011), Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Bogotá D.C., Colombia. 9 p.

- » SITP (2016, septiembre 16). Administración de Peñalosa lanza carril preferencial de buses en la calle 19. *Transmilenio*. Recuperado de: http://www.sitp.gov.co/Publicaciones/administracion_de_penalosa_lanza_carril_preferencial_de_buses_en_la_calle_19
- » SITP (2016, junio 30). Servicios. *Transmilenio*. Recuperado de: http://www.sitp.gov.co/Publicaciones/el_sistema/Servicios
- » Solecka, K. y Žak, J. (2014). Integration of the urban public transportation system with the application of traffic simulation. *Transportation Research Procedia*, 3, 259-268. DOI: 10.1016/j.trpro.2014.10.005 p. 260.
- » Unión Temporal Steer Davies & Gleave y Centro Nacional de Consultoría (2011). *Informe de indicadores encuesta de movilidad de Bogotá 2011*. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Movilidad, Alcaldía Mayor de Bogotá. 128 p.
- » Universidad Pontificia Bolivariana (2017). *Actualización inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá – Año 2015*. Informe Final Convenio de Asociación No. CA 335. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana – Área Metropolitana Valle de Aburrá. 86 p.
- » Viana Suberviola, E. (2015). Definición y tipología de los sistemas ferro-viarios, aspectos generales. El caso español. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, XX(1.136).
- » Wilkie, C. y Petersen, K. (2010). *The benefits of light rail*. TTF transport position paper. Sydney: Tourism and Transport Forum. 10 p.
- » Zelezny, R. (2014). Tramway-oriented development: what results in what context? Comparative approach between France and the Czech Republic, *Transportation Research Arena (TRA) 2014, April 2014, Paris - La Défense, France*. 11 p.

**Julián Rodrigo Quintero González / jrquinterog.itv@gmail.com;
investigacion@ahcttum.com**

Ingeniero en Transporte y Vías (UPTC, Tunja, Colombia); Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos (USTA, Tunja, Colombia); Especialista en Planeación Urbana (COLMAYOR, Medellín, Colombia); Magíster en Ingeniería Ambiental (UPTC, Tunja, Colombia); Magíster en Derecho Privado, Persona y Sociedad con Énfasis en Derecho del Transporte, Logística e Infraestructura (UEC, Bogotá D.C., Colombia). CEO y Director de Proyectos de AHCTTUM Quintero-G Ingeniería S.A.S., Colombia (www.ahcttum.com); Investigador del Grupo de Estudios e Investigación en Recursos Ambientales y Urbanos [RAU], Ahcttum, Tunja, Colombia. Líneas de investigación: Transporte y Ambiente, Derecho del Transporte, Planeación Urbana, Movilidad Urbana Sostenible, Gestión de Ciudades.