



# Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible\*

## From the Concept of Traffic Engineering to Sustainable Urban Mobility

Julián-Rodrigo Quintero-González\*\*

*Recibido: 2016-08-10 // Aprobado: 2016-10-12 // Disponible en línea: 2017-01-30*

Cómo citar este artículo: Quintero-González, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57-72. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm>

doi:10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm

### Resumen

El estudio de la movilidad en las ciudades se ha valido de ciencias aplicadas como la Ingeniería de Tránsito que, con base en estudios especializados de variables como el volumen del tráfico, la velocidad y la densidad, además de inventarios de infraestructuras, la generación de modelos de pronóstico y la modelación con el empleo de *software*, han facilitado la caracterización del comportamiento del tráfico, así como el diseño de medidas para su mejoramiento, orientadas a la planeación de la operación del tránsito y la intervención física de la infraestructura del transporte. No obstante, en la práctica, dichos estudios han dejado de lado el análisis de factores esenciales como la equidad social, el ambiente y el valor económico, propios de la concepción del problema de movilidad urbana en el marco de la sostenibilidad de los sistemas de transporte. El presente artículo pretende proveer una perspectiva de la inclusión de estos aspectos en las etapas de diagnóstico de la movilidad, así como en el diseño y la planificación de medidas para su mejoramiento, y que pueden redundar en la obtención de resultados efectivos por parte de expertos, funcionarios y entidades competentes, concordantes con las verdaderas necesidades de movilidad urbana de los individuos y su sostenibilidad.

**Palabras clave:** ingeniería de tránsito; enfoque técnico; movilidad urbana sostenible; accesibilidad; sociedad y cultura; medio ambiente; valor económico; política pública

---

\* Este artículo es el resultado de los procesos de investigación desarrollados en el marco del Grupo de Investigación y Desarrollo en Operación del Tránsito (GIDOT), perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sede Tunja.

\*\* Ingeniero en Transporte y Vías, especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos, magíster en Ingeniería Ambiental, magíster (c) en Derecho con énfasis en Transporte, Logística e Infraestructura, Universidad Externado de Colombia, Sede Bogotá D. C. Docente e investigador de la Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sede Tunja. Av. Central del Norte No. 39-115 Tunja-Boyacá-Colombia. Correo electrónico: [julian.quintero@uptc.edu.co](mailto:julian.quintero@uptc.edu.co), [jqinterog.itv@gmail.com](mailto:jrqinterog.itv@gmail.com)

**Abstract**

The study of mobility in cities has made use of applied sciences such as Traffic Engineering which have facilitated the characterization of traffic behavior and the design of measures for its improvement. Based on specialized studies of variables such as traffic volume, speed, and density, additional to infrastructure inventories, prediction model generation, and software modeling, this science aims towards the planning of the transport operation and the physical intervention of the transportation infrastructure. In practice, however, these studies have neglected the analysis of essential factors such as social equity, environment, and economic value, which are characteristic of the notion of urban mobility problems within the framework of the sustainability of transportation systems. This article intends to provide an exploratory vision of the inclusion of these aspects in the mobility assessment stages, as well as in the design and planning of measures for its improvement. It can also lead to practical results from experts, officials, and qualified entities, consistent with the real urban mobility needs of individuals and their sustainability.

**Keywords:** traffic engineering; technical approach; sustainable urban mobility; accessibility; society and culture; environment; economic value; public policy

## Introducción

La ingeniería de tránsito, como una ciencia definida y estructurada, ha permitido el estudio de las variables propias del tráfico en las ciudades. Se deriva de la ingeniería de transporte y se ha enfocado, principalmente, en el estudio de los elementos del tránsito: conductor, peatón, vehículo, vía, señalización y dispositivos de control del tráfico, y la caracterización y estudio del comportamiento de las llamadas variables macroscópicas del tránsito: volumen vehicular, velocidad y densidad, así como la relación existente entre elementos y variables. Del estudio de estos componentes, tanto en flujos vehiculares como en flujos peatonales, en áreas urbanas y rurales, se desprende la mayoría de las soluciones empleadas hoy en día para el tratamiento de problemas de tráfico como la congestión, las demoras, los tiempos de viaje, el nivel de servicio y la accidentalidad.

En la actualidad se cuenta con modelos matemáticos probados y se han logrado importantes avances en la modelación del tránsito con *software* especializado. Los resultados han permitido entender mejor el comportamiento de los flujos vehiculares y peatonales en áreas urbanas, a la vez que se ha facilitado la gestión de la movilidad urbana mediante la calibración y mejora de dispositivos de control y el rediseño geométrico de elementos, así como la implementación de nuevos dispositivos e infraestructuras. Sin embargo, se ha desestimado el estudio de aspectos propios de la movilidad urbana sostenible: medio ambiente, equidad social, valor económico, lo que en algunos casos ha derivado en la implementación de medidas de tráfico ineficientes, cuyos resultados han sido contrarios a lo deseado.

Por tal razón, se desea realizar una crítica de los métodos tradicionales para la planificación del transporte, así como de los problemas que resultaron explícitos para ciudades latinoamericanas, luego de varias décadas de una planificación basada en metodologías que tuvieron como eje central la ingeniería de tránsito y dejaron de lado aspectos fundamentales en el estudio de la movilidad urbana como el ambiente, la inclusión social, la accesibilidad, el valor económico y la política pública, además del estudio de modos de transporte alternativo. También se desea profundizar en los aspectos metodológicos y proponer nuevas herramientas para alcanzar una planificación de la movilidad sostenible.

## La ingeniería de tránsito y su enfoque

La ingeniería de tránsito o ingeniería de tráfico, conceptualizada como “la fase de la Ingeniería de Transporte que se ocupa de la planificación, diseño geométrico, y las operaciones de tráfico en calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras colindantes, y las relaciones con otros modos de transporte” (Institute of Transportation Engineers, 2009, p. 1), ha permitido la caracterización del tráfico mediante la realización de estudios de ingeniería de tránsito (McShane y Roess, 1990; Jiménez y Quintero, 2007). Se han logrado establecer relaciones matemáticas basadas en modelos de regresión lineal, logarítmica y exponencial, entre el volumen de tránsito (flujo vehicular), la velocidad (específicamente velocidad espacial) y la densidad. Dichos modelos han facilitado realizar pronósticos del comportamiento de cada variable respecto a las demás, así como identificar la afectación o influencia que tienen sobre estas, las características propias de algunos de los elementos del tránsito, como la vía, el vehículo y la señalización, y dispositivos de control de tráfico. En forma complementaria, se han estudiado las características físicas y geométricas de la infraestructura a través de la realización de inventarios (Quintero, 2011).

La información obtenida a través de este conjunto de estudios ha permitido evaluar en forma eficiente la capacidad y los niveles de servicio de calles y carreteras, así como del servicio de transporte público, incorporando al análisis de resultados el uso de *software* especializado empleado para la modelación, con buenos resultados. No obstante, todos estos análisis proporcionan diagnósticos y pronósticos basados, implícitamente, en el principio de distribución de demanda, para lo cual buscan predecir la demanda futura, en la gran mayoría de los casos, sin prestar atención a otros aspectos fundamentales para el desarrollo sostenible, como la justicia social (Martens, 2006). Así, los modelos de

planificación del transporte se enfocan en la determinación de medidas cuantitativas de eficiencia y capacidad de los sistemas de transporte y dejan en un segundo plano el análisis de otros aspectos, tan o incluso más importantes, como las medidas cualitativas atribuidas a las expectativas y las necesidades de los usuarios con respecto a un sistema de transporte y sus impactos sociales, culturales y ambientales, considerados pilares en el desarrollo de la movilidad urbana sostenible.

## Movilidad urbana y su estudio técnico a partir de la ingeniería de tránsito

El modelo general de desarrollo urbano está dado por la configuración de las ciudades en los lugares donde las personas realizan sus actividades cotidianas, algunas de las cuales se desarrollan fuera de sus viviendas y para las que requieren el uso de diversos medios para desplazarse, tales como la caminata, el uso de bicicleta, automóviles, autobuses, motocicletas, ferrocarriles y el metro (Alcántara, 2010). Estudios recientes señalan que los problemas de movilidad urbana son el resultado de la rápida urbanización y tienen múltiples efectos en las economías urbanas. Entre dichos problemas se encuentra la congestión urbana, el exceso de demanda de viajes sobre su oferta (Alam y Ahmed, 2013), la accidentalidad, la contaminación del medio ambiente y la tarifa que se debe pagar por un servicio de transporte. De esta manera, y como punto de partida para atender la problemática de movilidad en las ciudades, se ha recurrido a la aplicación de los estudios de tránsito y transporte, los cuales han permitido obtener indicadores efectivos para las tres variables objeto de la ingeniería de tránsito.

Así, en el caso del flujo vehicular, se encuentran el volumen horario, la hora de máxima demanda (HMD), el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el factor de hora pico (FHP). Para la velocidad espacial se obtienen la velocidad de operación, la velocidad a flujo libre, la velocidad de diseño y la velocidad crítica o de congestión. Por último, para la densidad se cuenta con la cantidad de vehículos por longitud de vía, generalmente de un kilómetro. Estos indicadores han permitido la caracterización de las variables del tráfico, las cuales incorporadas a *software* especializado para la modelación del tránsito, también han facilitado el diseño de medidas de gestión y control de su operación, entre estas la disposición de señalización y dispositivos de control de tráfico, el diseño y rediseño geométrico, la intervención física de componentes en calles, carreteras e intersecciones, la calibración y programación de tiempos en redes semafóricas, además del diseño de programas de mantenimiento vial, control de accidentalidad y estrategias para la seguridad vial.

Las metodologías y técnicas de estudio también han proporcionado medidas cuantitativas de la funcionalidad, la operación, la capacidad y el nivel de servicio de infraestructuras del transporte, además de estimadores de la capacidad y el nivel de servicio de los medios de transporte urbano, tales como el tiempo de recorrido, demoras, frecuencia e intervalo de paso y ocupación vehicular. Dichos indicadores, metodologías y técnicas, junto con el empleo de nuevos paquetes de *software* robustos para la modelación del transporte, han servido como herramienta para la administración del tránsito y el transporte, generando un conjunto de mecanismos adecuados para el ajuste de la forma en que se presta el servicio de transporte en las ciudades, así como en la planeación e implementación de sistemas de transporte urbano.

## Falencias en el estudio de la movilidad urbana y sus efectos

Hoy por hoy, y en un gran número de ciudades alrededor de todo el mundo, la implementación de medidas para el control de tráfico y el mejoramiento de la operación de los sistemas de transporte, ha arrojado resultados no deseados, los cuales en algunos casos no han mejorado de forma significativa la movilidad, y en otros, por el contrario, han agravado los problemas de movilidad urbana. Atendiendo a lo anterior, a continuación se presentan algunos ejemplos de los resultados no satisfactorios de

algunas medidas aplicadas en áreas urbanas, como resultado de estudios de movilidad que tuvieron como eje central únicamente el enfoque de la ingeniería de tránsito.

### Inadecuada gestión del tráfico

Con respecto al tema específico de las medidas de control de tráfico, se pueden encontrar situaciones claras en las cuales su implementación, a partir únicamente de estudios de ingeniería de tránsito, ha mostrado su eficiencia, solo temporal en algunos casos, así como su inconveniencia inmediata en otros. Para sustentar esta apreciación, se considerará el caso de la conocida medida de control de tráfico denominada *restricción vehicular*, consistente en restringir el paso de una proporción de vehículos del parque automotor de una ciudad en zonas específicas de esta, con el objetivo de reducir los impactos de las externalidades negativas del transporte, entre ellas la congestión, la accidentalidad y la contaminación ambiental.

El caso más claro de esta situación es el de algunas ciudades de Latinoamérica, las cuales han implementado dentro de sus políticas de movilidad urbana, medidas de restricción vehicular. Ciudades como Sao Paulo, Ciudad de México y Santiago de Chile en Chile lo han hecho, con el objeto de atenuar la problemática de contaminación ambiental en sus áreas urbanas; otras, como Bogotá, han buscado mitigar los problemas de congestión (Bocarejo, 2008; Cantillo y Ortúzar, 2009). En los dos casos, esta medida ha consistido en la restricción del desplazamiento de vehículos a partir de sus números de placa de matrícula, práctica que se ha extendido a otras ciudades como Quito, Medellín y Cali. En el caso de Colombia, en ciudades con poblaciones inferiores al millón de habitantes como Bucaramanga y Armenia (Cantillo y Ortúzar, 2009), además de ciudades con poblaciones inferiores a quinientos mil habitantes, como es el caso de Tunja.

Esta medida enfrenta una fuerte oposición por parte de los usuarios, pero debido a su aparente éxito terminan por aceptarla. Sin embargo, su eficiencia se ve comprometida en la medida que aumentan las tasas de motorización en las ciudades, en las cuales, por supuesto, el principal factor impulsor del aumento del parque automotor es el grupo de usuarios con poder de adquisición que compran un segundo vehículo para evitar la medida. Otros agravantes son el aumento del uso de taxis y la falsificación de placas de estos, así como el laborioso manejo de excepciones a ciertos tipos de vehículos, personas con condiciones especiales, entidades o instituciones. Estos aspectos constituyen el principal ingrediente para que en el largo plazo la medida deje de ser efectiva y en cambio induzca el agravamiento de los problemas de congestión, contaminación ambiental y accidentalidad (Cantillo y Ortúzar, 2009).

Así, la inadecuada aplicación de estudios de tránsito para la implementación de esta medida, encuentra su raíz en la ausencia de estudios sociales y económicos complementarios que permitan anticipar y controlar la adquisición de vehículos para la realización de los viajes normales de los usuarios frente a la prohibición de circulación. En este caso, los estudios de tránsito en ocasiones se constituyen en instrumentos que no analizan en profundidad los problemas ambientales, sociales y económicos derivados de modelos de transporte basados en el uso de vehículo privado (Duque, 2014).

### Inaccesibilidad y exclusión social

Las situaciones más comunes plantean una inaccesibilidad para niños, adultos mayores y personas con discapacidad, quienes por diversas condiciones propias de su integridad presentan dificultades para acceder al transporte. Esto se deriva de la carencia de información relacionada con las condiciones físicas y geométricas de calles e intersecciones, así como de las necesidades de espacios para el adecuado desplazamiento de los transeúntes, que debieron ser consideradas en estudios de tránsito proyectados al análisis del espacio público y las condiciones de comodidad y seguridad de las tipologías de usuarios y sectores de la población. Se aprecia, entonces, una desarticulación absoluta entre el estudio social de las necesidades de los usuarios y la realización de estudios de ingeniería de tránsito.

Al querer ahondar en el tema social, pueden distinguirse infinidad de problemáticas en torno al tráfico, y este llega a afectar el dónde, el cuándo y el cómo se pueden mover los usuarios. Tomando como caso la ciudad de Bogotá, Colombia, puede apreciarse la intensidad en esta problemática, dado que se carece de una adecuada conexión entre y accesibilidad a los sistemas de transporte. Esto debido a que los estudios de tránsito se han enfocado más en la satisfacción de la demanda de los flujos vehiculares y la localización y programación del tráfico en horarios específicos para la población en general, y han desestimado las necesidades propias de sectores especiales de la población. Es el caso de las mujeres, quienes han visto comprometida su seguridad e integridad en un espacio público y una accesibilidad mal planeados, situación que incluso ha llegado a tomar matices aún más graves en casos de robo, exposición a comportamientos inapropiados por parte de otros usuarios y episodios inaceptables de agresiones de carácter sexual en el sistema de transporte masivo Transmilenio (Burbano, 2014).

### Afectación al ambiente

El diseño de las infraestructuras del transporte en muchos casos se ha limitado al cumplimiento de parámetros estándar para poder soportar las necesidades del tráfico. Este es el caso de la ciudad de Bogotá y sus calles e intersecciones, donde se evidencia una falta de planeación que, ignorando la problemática ambiental ligada al desarrollo del transporte y sus infraestructuras, y los efectos que estas generan sobre los recursos suelo, agua y aire, ha ocasionado impactos relacionados con la contaminación del aire, la contaminación por ruido, el deterioro del paisaje urbano y el detrimento en la libre movilización de las personas, lo cual afecta directamente la calidad de vida de sus habitantes, no solo en el área urbana, sino también en zonas periféricas y áreas rurales (Uribe, 2009).

Esta situación se ha extendido incluso al diseño del espacio público, tomando como protagonista al tráfico y no al peatón, como en el caso del eje ambiental en la Avenida Jiménez en la ciudad de Bogotá, donde la ausencia de mecanismos que aislen a los transeúntes de los grandes vehículos articulados del sistema de transporte público, además del deficiente estado de las infraestructuras para vehículos y peatones, se han conjugado para originar situaciones de incomodidad y peligro para los transeúntes, además de una falencia estética, en lo que puede señalarse existe una incongruencia entre los estudios de tránsito y la valoración de las necesidades de un entorno sano y seguro para el desarrollo de la libre locomoción de los usuarios (Gómez y Moyano, 2014).

### Efectos económicos

Los estudios de ingeniería de tránsito han estado inmersos incluso en errores sustanciales en la aplicación de modelos predictivos de tráfico, y por supuesto en las previsiones de tráfico en calles y carreteras que emplean fondos de financiación a partir de ingresos de peaje, situación que se ha presentado en múltiples proyectos viales bajo el esquema de concesión en el ámbito internacional (Bain, 2009). Esto, ciertamente, deja entrever la necesidad de no solo fijar la vista en el estudio meramente técnico del tránsito, sino además atender a la incorporación de criterios económicos y sociales propios de las zonas de influencia de dichos proyectos, y que permitan disminuir errores en predicciones, fundamentales en las etapas de planeación y diseño, para así contar con una estructura de financiación que proporcione alternativas que permitan alcanzar las expectativas de rendimiento económico.

Expuestos los anteriores casos y sus efectos en la gestión del tráfico, la equidad social, la accesibilidad y la economía, puede afirmarse que el enfoque técnico tal vez rígido que la ingeniería de tránsito ha dado al estudio de la movilidad urbana, ha desencadenado en el diseño de medidas de control de tráfico orientadas únicamente a la intervención de las infraestructuras viales y de control de tráfico que sirven a los vehículos, mas no a las necesidades propias de los peatones, personas discapacitadas, ciclistas, motociclistas y usuarios del servicio de transporte. Esta problemática puede evidenciarse en la ampliación de las capacidades de avenidas y autopistas que potencian la congestión futura, a la vez que se pretende privilegiar al transporte masivo. Esto sugiere falta de uniformidad en las políticas públicas de movilidad (Lupano y Sánchez, 2009), pero además falencias importantes en la orientación de estudios de ingeniería de tránsito y transporte, que al final se toman como punto de partida para el diseño de dichas políticas.

Esta inadecuada planeación y la disfuncional aplicación de las políticas creadas por el Estado, y en ocasiones implementadas por este mismo, han ocasionado la fragmentación de las ciudades, la carencia de articulación social, económica y funcional, así como desigualdad de los servicios de transporte en áreas urbanas, lo que ahonda en los problemas de movilidad (Dangond, Monteoliva y Rojas, 2011). Se requiere, entonces, romper el esquema tradicional de ingeniería de tránsito, en el cual los resultados de estudios para caracterizar la movilidad urbana y su comportamiento, llevan el diseño de infraestructuras de transporte y la planeación de la operación del tránsito a un enfoque de eficacia, el cual en muchos casos conduce al abismo de querer diseñar infraestructuras físicas y sistemas de control solo para elementos físicos de la ingeniería de tránsito, como el vehículo, y no para sus elementos humanos: el peatón y el conductor.

## **Concepto de sostenibilidad del transporte y movilidad urbana sostenible**

### Sostenibilidad del transporte

La claridad del significado de transporte sostenible es la herramienta fundamental que permite a los funcionarios con poder de decisión, hacer posible su promoción, así como el progreso de políticas y programas consistentes y decisivos para su desarrollo (Zhou, 2012). El concepto debe ser comprendido en forma precisa por los administradores del tránsito, así como por todos aquellos profesionales que se encargan de la planificación de estudios para la caracterización del tráfico, gracias a lo cual va a ser posible mejorar los procesos de recolección y tratamiento de información. De esta manera, se obtendrán mejores resultados, representados por un conjunto de soluciones coherentes, no solo con criterios técnicos como el tiempo de viaje, la velocidad, la capacidad y el nivel de servicio, sino además con factores ambientales y socioeconómicos esenciales.

Es así como se requiere una definición de transporte sostenible, sin la cual simplemente no se tendría una base sólida para formular los lineamientos necesarios para concebir la movilidad urbana sostenible. Actualmente, y de acuerdo con el Centro de Transporte Sostenible de la Universidad de Winnipeg, Canadá, un sistema de transporte sostenible es aquel que persigue los siguientes objetivos (Awasthi, Chauhan y Omrani, 2011; Haghshenas, Vaziri y Gholiamialam, 2015):

- Permitir las necesidades básicas de acceso de los individuos y la sociedad, de manera segura y compatible con la salud humana y del ecosistema, y en forma equitativa entre generaciones.
- Ser asequible, operar con eficiencia, ofrecer alternativas de modo de transporte y apoyar una economía dinámica.
- Limitar las emisiones y los residuos dentro de la capacidad del planeta para absorberlos.
- Minimizar el consumo de recursos no renovables.
- Contener el consumo de recursos renovables al grado de rendimiento sostenible, reutilizar y reciclar sus componentes.
- Reducir al mínimo el uso de la tierra y la producción de ruido.

Esta definición es acogida además por otras autoridades expertas en el tema, entre las cuales se incluyen el Consejo de Investigación de Transporte y el Consejo Europeo de Ministros de Transporte (Litman, 2015).

### Movilidad urbana sostenible

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 (Banister, 2008). A diferencia de la precisión en la definición del concepto de sostenibilidad del transporte, en el caso de la movilidad urbana sostenible, más allá de una definición formal, se debe considerar el conjunto de acciones que se constituyen en un marco de lineamientos que propendan por su adecuado desarrollo.

De esta manera, para conceptualizar la movilidad urbana sostenible y entenderla mejor, en la tabla 1 se presenta una comparación entre el enfoque convencional para la planeación del transporte propio de la ingeniería de tránsito y el enfoque de acuerdo con la movilidad urbana sostenible.

**Tabla 1.** Contraste de enfoques para planificación del transporte

<i>Enfoque convencional: planificación del transporte e ingeniería de tránsito</i>	<i>Un enfoque alternativo: movilidad urbana sostenible</i>
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 en la cual los peatones y los bicisuarios se encuentran en la parte superior y los usuarios de vehículos motorizados 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 confiables
Segregación de las personas y el tráfico	Integración de las personas y el tráfico

Fuente: adaptado de Banister (2008)

## Propuesta de aspectos por analizar como complemento de estudios de tránsito

A partir del análisis de las falencias en el estudio de la movilidad urbana y sus efectos, de la definición formal de transporte sostenible, pero sobre todo del enfoque de la movilidad urbana sostenible, expuestos en los acápite precedentes, a continuación se hace una propuesta acerca de los aspectos que, con el objeto de mejorar la gestión, el diseño y la implementación de medidas relacionadas con la movilidad urbana, deben tenerse en cuenta en forma complementaria a los estudios propios del enfoque de la ingeniería de tránsito.

## Estudio de la accesibilidad

Aunque la importancia del estudio de variables del tránsito es evidente, existen otras variables que permiten lograr la caracterización de aspectos que hacen posible entender mejor las condiciones de tráfico, entre estos la accesibilidad, que puede ser de tipo macro o micro, el nivel de servicio y la calidad ambiental. Desde el punto de vista de la macroaccesibilidad, se deben considerar las facilidades que posibiliten el acceso a los espacios físicos urbanos y de transporte, a la vez que se debe estudiar la facilidad relativa de acceso a medios de transporte deseados (acceso a estacionamientos y paraderos), aspecto fundamental de la microaccesibilidad. Por otra parte, el nivel de servicio proporciona información relevante acerca de las condiciones de la vía y la señalización, determinantes para la comodidad del usuario (Alcántara, 2010).

A la accesibilidad le es inherente el tema de factores geométricos y de infraestructura, los cuales deben ser estudiados en detalle, más allá de la simple determinación de variables del tránsito, pues desestimarlos conlleva problemas importantes para el desarrollo adecuado del tráfico, desde la perspectiva de la disposición de una adecuada infraestructura de transporte (Martínez y Olivares, 2012). En la tabla 2 se establece un paralelo entre los aspectos que deben ser considerados en la realización de estudios de tránsito y que permiten el diseño de medidas físicas adecuadas a partir de las cuales tratar problemas en la accesibilidad.

**Tabla 2.** Estudio de aspectos aplicables al mejoramiento de la accesibilidad

<i>Aspectos geométricos y de infraestructura que considerar</i>	<i>Aplicación</i>
Sección transversal y zonas laterales de calles, carreteras e intersecciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño de zonas para desarrollo de flujos peatonales y vehiculares, adecuadas para el control de la interacción entre flujos que genera accidentes de tránsito.</li> <li>- Diseño de infraestructuras del transporte orientadas a la recuperación del espacio público y la disposición de estructuras verdes y arquitectura viva.</li> </ul>
Señalización vertical y horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diagnóstico del estado de señalización o de necesidades de implementación o diseño de señalización especial para los usuarios permite que las medidas que se tomen después de hacer estudios de tránsito, tengan mejores efectos al tratar la desorientación del usuario, lo que siempre propiciará el caos en el tráfico.</li> </ul>
Infraestructuras para peatones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el diseño de espacios peatonales coherentes con las necesidades de peatones y personas en condición de discapacidad, lo que conlleva la reducción del número de conflictos peatón-vehículo y el tratamiento justo y equitativo de espacios para los usuarios.</li> </ul>
Características de ortogonalidad en intersecciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En el diseño de alternativas en intersecciones o cruces rectos que en ocasiones imposibilitan la visibilidad de los peatones y vehículos en intersecciones.</li> <li>- Análisis desde la perspectiva arquitectónica y de urbanismo que permita tratar problemas de visibilidad.</li> </ul>

<i>Aspectos geométricos y de infraestructura que considerar</i>	<i>Aplicación</i>
Visibilidad e iluminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pocos estudios consideran este aspecto en sus análisis de la operatividad en calles e intersecciones. Sin una adecuada visibilidad el riesgo de accidente es mayor, razón por la cual deben hacerse análisis y estudios a este respecto que estén orientados a la seguridad de todos los usuarios que hagan uso del espacio público, en espacial peatones y ciclistas.</li> </ul>
Inspección del estado de pavimento, daños en infraestructuras, necesidades de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los daños y deterioros en la infraestructura de pavimento son uno de los aspectos que más accidentes ocasionan en vías urbanas, en los cuales suelen verse afectados usuarios vulnerables como ciclistas y motociclistas.</li> <li>- La existencia de un inventario detallado de infraestructura vial permite el diseño de medidas efectivas de gestión y operación de tráfico en calles y carreteras.</li> <li>- El conocimiento de las necesidades de mantenimiento de infraestructuras primarias permite a los administradores de tráfico establecer otras consecuencias de problemas de movilidad.</li> </ul>

Fuente: adaptado de Martínez y Olivares (2012)

En términos generales, el conocimiento de estos aspectos propios de la infraestructura y el espacio público permite establecer una relación de causalidad entre la accesibilidad al medio físico y al transporte y los problemas de movilidad. Esto mediante la realización obligatoria de inventarios viales, simultáneos a estudios de ingeniería de tránsito, en la búsqueda de medidas para el mejoramiento de la movilidad, así como la categorización de las vías (Quintero, 2011), con el ánimo de determinar la responsabilidad de administración y acciones que tomar por parte de las entidades involucradas, lo cual redundará en una mejor interacción entre entes y efectividad en la implementación de medidas. Se deben garantizar aspectos técnicos o físicos relacionados con los conceptos de funcionalidad y habitualidad de los espacios, fundamentados en el aprovechamiento de la topografía del terreno y el estudio de suelos, geología y geotecnia, en el diseño vertical y geométrico de intersecciones, con especial atención a sus restricciones de espacio, amplitud de curvas y manejo de aguas (Uribe, 2009).

#### Análisis social y cultural

Desde el punto de vista del entorno social y cultural, el modelo de transporte basado en el uso del vehículo particular ha generado una interacción parcial entre los individuos, ergo relaciones sociales disgregadas y transformaciones en aquellas personas que están inmersas en una vida social en grandes ciudades como Los Ángeles, Moscú o Bogotá, personas que muestran comportamientos menos solidarios, de superficialidad e individualidad, que al final confluyen en relaciones sociales conflictivas entre estratos sociales derivadas de un modelo desigual de acceso al medio físico y al transporte (Lange, 2011; Quintero y Quintero, 2015). En atención a lo anterior, es razonable afirmar que los estudios de tránsito deben ir acompañados del estudio de aspectos sociales, considerando al individuo y a grupos que se verán afectados por la implementación de cualquier proyecto de infraestructura o sus modificaciones con objeto de servir al tráfico, para lo cual se debe caracterizar la zona de influencia,

además de la importancia de los desplazamientos peatonales propios de áreas con presencia de centros comerciales, colegios, hospitales, centros deportivos y culturales, así como de los flujos de ciclistas y de las zonas exclusivas residenciales (Uribe, 2009).

En consecuencia, se debe incorporar la valoración de la equidad, con el objeto de lograr un sistema de transporte con capacidad para todos los usuarios, incluidas las personas con discapacidad, con bajos ingresos u otras limitaciones. La seguridad, la protección y la salud pública deben ser analizadas, con el fin de minimizar el riesgo de accidentes y asaltos y apoyar la aptitud física. Se debe propender por el desarrollo comunitario, a fin de contribuir a crear comunidades inclusivas y atractivas, apoyadas en la cohesión comunitaria. Por último, es necesario estudiar en detalle el patrimonio cultural, para su protección, además de apoyar el desarrollo de actividades culturales. Lo anterior debe evaluarse a través de indicadores sociales y culturales, entre ellos: la diversidad del sistema de transporte, los destinos accesibles para personas con discapacidad y de bajos ingresos, accidentes de tráfico per cápita (tasas de lesiones y muerte), tasas de asalto a viajeros, exposición humana a contaminantes dañinos, viajes a pie o en bicicleta, combinaciones de uso de suelo, calidad de los entornos de carreteras y calles y preservación de los recursos culturales y tradiciones (Litman, 2015).

### Valoración del entorno ambiental

Desde la perspectiva ambiental, las actividades de transporte, además de dar lugar a accidentes y congestión, también generan deterioro de la infraestructura y del ambiente por el uso. Aunque el transporte contribuye de manera significativa al crecimiento económico y permite el ingreso a un mercado global, la mayoría de los modos de transporte no afectan a la sociedad solo de una manera positiva, sino también negativa (Korzhenevych *et al.*, 2014). El ruido, la contaminación atmosférica, los riesgos de cambio climático, los costos para la naturaleza, el paisaje y áreas urbanas, al igual que la congestión, plantean un claro problema de sostenibilidad ambiental y energética que a la vez enmarca la insostenibilidad de los modelos de transporte urbano convencionales (Lizárraga, 2006).

De esta manera, la valoración de la calidad ambiental resulta ser un aspecto de suma importancia al querer establecer la compatibilidad entre el tipo de tráfico y su entorno ambiental, primordial en la fase de planeación urbana, del transporte y del tráfico (Alcántara, 2010). La tendencia a la concienciación sobre la necesidad de proteger el ambiente ha derivado en su inclusión en las fases de estudio y planeación de proyectos de infraestructuras del transporte y zonas para el desarrollo del tráfico.

Así, se deben considerar aspectos ecológicos que propendan por el respeto a las condiciones naturales y ambientales preexistentes, así como proponer medidas para el mejoramiento ambiental y paisajístico del entorno de los proyectos de infraestructura de transporte (Uribe, 2009), así como de todos aquellos relacionados con el proyecto geométrico y los elementos físicos del tránsito: vía, señalización y dispositivos de control de tráfico.

### Valoración económica

El desarrollo de la actividad del transporte, como cualquier otra actividad, trae consigo externalidades que pueden ser positivas o negativas. Las primeras se atribuyen a que el transporte permite la movilidad de las personas, la conectividad entre asentamientos humanos y el desarrollo de su zona de influencia, tanto en áreas urbanas como en áreas rurales. Además, estimula la generación de empleo y mejora la productividad de las naciones, a la vez que contribuye a su crecimiento económico. No obstante, las externalidades de tipo negativo, atribuidas a problemas de movilidad urbana, efectos en el ambiente y efectos sociales, generan diferentes costos de los recursos que se pueden expresar en términos monetarios: los costos de tiempo de los retrasos, los costos de salud causados por la contaminación del aire, las pérdidas de productividad debido a la pérdida de vidas en accidentes de tráfico y los costos de reducción debido a los impactos climáticos del transporte, entre otros (Korzhenevych *et al.*, 2014). De esta manera, resulta preponderante realizar una valoración económica comparativa que permita establecer los costos económicos derivados, en primer lugar, de las pérdidas ocasionadas por

los problemas de movilidad urbana y, en segundo lugar, como parte de un mecanismo de selección de las medidas que más se ajusten a cada caso y las problemáticas presentes en su área de influencia, y del cual los resultados permitan establecer las mejores medidas que puedan implementarse, con el objeto de garantizar una movilidad urbana adecuada y sostenible.

### Evaluación de la política pública

Desde el punto de vista de Estado y las políticas públicas, la movilidad debe considerarse un derecho que, al ser garantizado, contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos, con o sin limitaciones, en un marco definido por la igualdad, el ambiente sano y el desarrollo sostenible (Dangond *et al.*, 2011). Es así como el estudio de la movilidad urbana debe desarrollarse en el marco de una política de transporte. A este efecto, en el caso de Colombia se debe atender a lo dispuesto en la Ley 336 de 1996 del Ministerio de Transporte, específicamente en sus artículos 1.º, 2.º y 3.º, de los cuales se puede extractar una definición concreta de la política de transporte como el conjunto de “principios y criterios que sirvan de fundamento para la regulación y reglamentación del transporte público”. Esto por supuesto para permitir la vigilancia y el control de la seguridad, la comodidad y la accesibilidad de los usuarios como esencia de los sistemas de transporte.

En relación con la promoción y el desarrollo de la movilidad urbana sostenible, los artículos 1.º y 2.º de la Ley 1083 del 2006 proponen priorizar la movilización en modos de transporte alternativos, a propósito de lo cual señala que dichos modos de transporte pueden ser el desplazamiento peatonal y la bicicleta, además de sistemas de transporte público que funcionen con combustibles limpios generados a partir de energía eólica, solar, mecánica, gas natural vehicular, así como cualquier otro modo no contaminante. Adicionalmente, establece la obligatoriedad de formular planes de ordenamiento territorial y planes de movilidad articulados que propendan por un esquema de movilidad urbana sostenible, con base en seis factores, a saber:

1. Identificación de componentes de la movilidad
2. Articulación de los sistemas de movilidad con la estructura urbana
3. Reorganización de rutas de transporte público y tráfico
4. Disposición de zonas sin tráfico vehicular
5. Disposición de zonas con emisiones bajas
6. La inclusión de un plan maestro de parqueaderos.

La evolución del concepto de ingeniería de tránsito, al incorporar a sus estudios el enfoque propuesto, permite además el perfeccionamiento de las políticas públicas en materia de movilidad urbana sostenible, a partir de una comparación entre factores como las políticas y los planes, la regulación, los programas y los proyectos de inversión e instrumentos económicos, y aspectos como la toma de decisiones, las medidas para lograr una infraestructura de transporte resiliente y baja en carbono, aspectos político-institucionales, cambio climático, otros aspectos ambientales, aspectos sociales y aspectos económicos (Blanco, 2011). Todo esto conforma una herramienta interesante para los actores e instituciones que toman las decisiones sobre la operación y la infraestructura de transporte urbano, amparados en un esquema de transporte alternativo sostenible y movilidad urbana sostenible.

## Orientación hacia el desarrollo de medios de transporte alternativos

La satisfacción de las necesidades de movilidad de los usuarios en el marco de una adecuada relación transporte-territorio, así como las tendencias en materia de movilidad urbana sostenible, demandan, además del examen de los aspectos antes propuestos, más allá de los estudios propios de la ingeniería de tránsito, el desarrollo de un enfoque prospectivo que se extienda a proyectar y planear

la implementación de medios de transporte alternativo, como, por ejemplo, el tren ligero, el tranvía, los cables aéreos y la bicicleta. A este respecto, puede señalarse que el enfoque técnico, casi tradicional, propuesto por la ingeniería de tránsito, no puede ser óbice para la introducción del análisis de elementos sociales, ambientales y económicos que, ciertamente, distinguen el desempeño de sistemas de transporte público alternativo urbano como los ya mencionados, en el contexto de una verdadera movilidad urbana sostenible.

Para dar un ejemplo de lo que supone la necesidad y la aplicabilidad de incluir dichos elementos, basta con analizar el uso de la bicicleta como principal referente de la movilidad urbana sostenible. La bicicleta representa un medio de transporte urbano individual muy popular en ciudades intermedias en todo el mundo, así como una estrategia para el desarrollo de la movilidad urbana sostenible en los países desarrollados. Según lo indican Quintero y Quintero (2015), en cuanto al transporte individual, la bicicleta, en muchas ciudades alrededor del mundo, ha dejado de ser un medio de transporte de uso particular y ha sido implementada como transporte público, para lo cual, la dinámica del sistema consiste básicamente en el alquiler de bicicletas a los usuarios para viajes cortos o, como medios alimentadores de sistemas masivos de transporte existentes como autobuses o ferrovías, entre otros, de manera que se maximiza la utilidad de estos últimos y se minimiza la inversión en infraestructura para sistemas alimentadores.

De acuerdo con Quintero y Quintero, 2015 (citando a Kisner) una de las tantas ventajas del uso masivo de la bicicleta como transporte público es el evidente descenso en la congestión de las vías, lo que conlleva la disminución en el consumo de combustibles fósiles por parte del parque automotor. Esto, a su vez, contribuye a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y a la mejora en la calidad del aire, además de la innegable ayuda a la salud de las personas, debido a la actividad física realizada por el uso de la bicicleta. Entonces, pueden identificarse beneficios sobre los tres lineamientos fundamentales de la sostenibilidad del transporte, como lo son la protección del ambiente, la equidad social y el valor económico.

Según SWQ Group (2007) y Belter, Von Harten y Sorof (2016), protección al ambiente, al ser la bicicleta una manera limpia de moverse, reducir las emisiones de gases contaminantes en áreas urbanas, y no consumir tanto espacio como un vehículo. Equidad social, al traer consigo beneficios para la salud pública, a la vez que beneficios para el sistema de salud, reducción del tráfico y mayor retorno de la inversión. Y valor económico, al considerar que los bicisuarios requieren menos espacio para parquear, lo cual conlleva ahorrar costos considerables. Asimismo, los bicisuarios tienen alto poder adquisitivo, quienes usan la bicicleta son los mejores empleados, y el apoyo al uso de la bicicleta también es apoyo al turismo. Este ejemplo se constituye en tan solo uno de los muchos que pueden darse en torno al concepto de movilidad urbana sostenible, pero, sobre todo, que hacen insoslayable la necesidad de dar un enfoque nuevo a la ingeniería de tránsito, que bien puede tomar como punto de partida el enfoque propuesto en el presente trabajo.

## Conclusiones

La ingeniería de tránsito es una disciplina que se ocupa de la caracterización del tráfico y sus variables. El análisis de la problemática de la movilidad urbana, desde el punto de vista técnico proporcionado por la ingeniería de tránsito, se enfoca principalmente en la determinación de indicadores de eficiencia de la infraestructura vial y la prestación del servicio de transporte, lo que en algunos casos ha derivado en la gestión e implementación equívoca de medidas cuyos resultados se han mostrado exitosos al inicio y solo en forma temporal en algunos casos, e inconvenientes en el corto plazo en otros. Así, la evolución del concepto de ingeniería de tránsito a los principios propios de la concepción de movilidad urbana sostenible, plantea la inclusión de estudios complementarios con el ánimo de obtener mejores caracterizaciones de las necesidades de movilidad de los usuarios y los impactos en el entorno por la operación del tránsito.

Es recomendable, en consecuencia, la evaluación del uso adecuado y la suficiencia del espacio público para peatones, ciclistas, personas discapacitadas y sectores especiales de la población, como elementos que deben ser incluidos al conocimiento práctico de la ingeniería de tránsito en la adopción de medidas para el mejoramiento de la accesibilidad. Adicionalmente, la concepción social, cultural, ambiental, económica y política del problema de la movilidad urbana en su conjunto, se muestra como una herramienta fundamental, apropiada y confiable que proporciona una mejor perspectiva acerca de los factores que pueden contribuir al origen de problemas de movilidad en áreas urbanas, lo que redundará en la obtención de mejores estrategias para su tratamiento y una mayor aproximación al concepto aplicado de movilidad urbana sostenible.

La movilidad urbana sostenible se enfoca en el fomento de las dimensiones sociales, la accesibilidad, la integración de las personas y el tráfico, la preservación del ambiente y el desarrollo económico en torno a los sistemas de transporte. Es así como en las etapas de toma y análisis de la información en el desarrollo de los estudios enmarcados dentro de la práctica de la ingeniería de tránsito, así como en etapas posteriores como el diseño y la planificación de la infraestructura y la operación del transporte, la introducción de aspectos sociales, culturales, ambientales, económicos y políticos puede contribuir a la obtención de mejores resultados, toda vez que brinda instrumentos idóneos a aquellos profesionales en el estudio de la movilidad y la administración del tráfico, así como a los tomadores de decisiones cuando deseen proyectar medidas coherentes con las necesidades de los individuos, quienes, en un esquema de mejoramiento de su calidad de vida, permitan lograr una verdadera movilidad urbana sostenible.

Al final, los aspectos planteados en este escrito son los que se propone que la perspectiva técnica de la ingeniería de tránsito involucre en el desarrollo de sus estudios para la gestión, el diseño y la implementación de medidas para el mejoramiento de la movilidad urbana, como primer acercamiento a su sostenibilidad. Para esto, debe considerarse que sin importar la extensión o envergadura de un estudio de ingeniería de tránsito, siempre debe realizarse un análisis de la accesibilidad, de lo social, cultural, ambiental, económico y político en el área de influencia de la problemática, que permita diseñar medidas orientadas a obtener una movilidad urbana sostenible, enmarcada en los principios de inclusión social, accesibilidad, protección del ambiente y valor económico.

## Referencias

- Alam, M. A. y Ahmed, F. (2013). Urban transport systems and congestion: a case study of indian cities. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*, (82), 33-43.
- Alcántara, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá D.C.: Corporación Andina de Fomento.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S. y Omrani, H. (2011) Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems. *Expert Systems with Applications*, (38), 12270-122780.
- Bain, R. (2009). Error and optimism bias in toll road traffic forecasts. *Transportation*, 36(5), 469-482.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, (15), 73-80.
- Belter, T., Von Harten, M. y Sorof, S. (2016). *Costs and benefits of cycling. Sustainable transports for managing mobility Sustramm, European networks experience and recommendations helping cities and citizens to become Energy Efficient Enercitee, European Regional Development Fund, European Union. Växjö, Sweden: Sustramm*. 39 p. Recuperado de <http://enercitee.eu/Sub-Projects/SUSTRAMM---Sustainable-transport-for-managing-mobility,54/?sp=en>
- Blanco, H. (2011). *Metodología de evaluación de políticas públicas de vivienda y transporte urbano bajos en carbono*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), Naciones Unidas.

- Bocarejo, J. P. (2008). *Evaluation économique de l'impact des politiques publiques liées à la mobilité, les cas de Paris, Londres, Bogota et Santiago* (tesis de doctorado). Université Paris Est. Marne-la-Vallée, Champs-sur-Marne.
- Burbano, A. M. (2014). La movilidad de la mujer en el espacio público: inequidades espaciales. *Papeles de Coyuntura*, (38), 59-65.
- Cantillo, V. M. y Ortúzar, J. D. (2009). Restricción vehicular según número de patente: réquiem para una política errónea. *Revista Ingeniería de Sistemas*, (26), 7-22.
- Dangond, C., Jolly, J. F., Monteoliva, A. y Rojas, F. (2011). Algunas reflexiones sobre la movilidad urbana en Colombia desde la perspectiva del desarrollo humano. *Papel Político*, 16(2), 485-514.
- Duque, G. (2014). *Un pico y placa inconveniente para Manizales*. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/43629/1/gonzaloduqueescobar.201443.pdf>
- Gómez, C. I. y Moyano, C. A. (2014). La calidad en el espacio público: en el eje ambiental y el parque de los periodistas. *Papeles de Coyuntura*, (38), 66-80.
- Haghshenas, H., Vaziri, M. y Gholamialam, A. (2015). Evaluation of sustainable policy in urban transportation using system dynamics and world cities data: A case study in Isfahan. *Cities*, (45), 104-115.
- Institute of Transportation Engineers. (2009). *Traffic engineering handbook* (6.ª ed.). Washington D.C.: autor.
- Jiménez, M. C. y Quintero, J. R. (2007). *Manual de estudios de ingeniería de tránsito y transporte* (trabajo de grado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Korzhenevych, A., Dehnen, N., Bröcker, J., Holtkamp, M., Meier, H., Gibson, G., Varma, A. y Cox, V. (2014). *Update of the handbook on external costs of transport*. Oxfordshire: Ricardo-AEA, European Commission, DG Mobility and Transport.
- Lange, C. (2011). Dimensiones culturales de la movilidad urbana. *Revista Invi*, 26(71), 87-106.
- Ley 336 del 20 de diciembre de 1996: por la cual se adopta el estatuto nacional de transporte. Bogotá D.C.: Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Transporte.
- Ley 1083 del 31 de julio del 2006: por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente.
- Litman, T. (2015). *Well measured. Developing indicators for sustainable and livable transport planning*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.
- Lizárraga, C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(22), 1-35.
- Lupano, J. A. y Sánchez, R. J. (2009). *Políticas de movilidad urbana e infraestructura urbana del transporte*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), Organización de Naciones Unidas (ONU).
- Martens, K. (2006). Basing transport planning on principles of social justice. *Berkeley Planning Journal*, 19(1), 1-17.
- Martínez, R. y Olivares, E. R. (2012). *Metodología para la atención de puntos críticos para garantizar la seguridad vial en carreteras*. Monografía. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.
- McShane, W. R. y Roess, R. P. (1990). *Traffic engineering* (4.ª ed.). New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Quintero, J. R. (2011). Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de ingeniería de tránsito y transporte. *Revista Facultad de Ingeniería*, 20(30), 65-77.
- Quintero, J. R. y Quintero, L. E. (2015). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *Revista Ingeniería y Región*, 14(2), 87-97.

- SQW Group. (2007). *Valuing the benefits of cycling. A report to cycling England*. Oxford: SQW.
- Uribe, S. (2009). Propuesta metodológica para el diseño de intersecciones urbanas. *Inventum*, (7), 46-54.
- Zhou, J. (2012). Sustainable transportation in the US: A review of proposals, policies, and programs since 2000. *Frontiers of Architectural Research*, (1), 150-165.