

Seguridad y control en Buses de Tránsito Rápido: el TransMilenio

Yefer Asprilla Lara
Mario Guadalupe González Pérez
Mario Córdova España



INSTITUCIÓN
UNIVERSITARIA
DE ENVIGADO

Ciencia, educación y desarrollo
Vigilada Mineducación



Fondo Editorial
Institución Universitaria de Envigado

Seguridad y control en Buses de Tránsito Rápido: el TransMilenio

Yefer Asprilla Lara

Mario Guadalupe González Pérez

Mario Córdova España

 **Fondo Editorial**
Institución Universitaria de Envigado



Seguridad y control en Buses de Tránsito Rápido: el TransMilenio

© **Yefer Asprilla Lara**
© **Mario Guadalupe González Pérez**
© **Mario Córdova España**
© Institución Universitaria de Envigado, (IUE)

Colección Científica

Fecha de edición: junio 2022

Publicación electrónica: junio 2022

Hecho los depósitos legales

Rectora

Blanca Libia Echeverri Londoño

Director de Publicaciones

Jorge Hernando Restrepo Quirós

Coordinadora de Publicaciones

Lina Marcela Patiño Olarte

Asistente editorial

Nube Úsuga Cifuentes

Corrección de texto

Diseño y Diagramación

Leonardo Sánchez Perea

Edición

Sello Editorial Institución Universitaria de Envigado

Fondo Editorial IUE

publicaciones@iue.edu.co

Institución Universitaria de Envigado

Carrera 27 B # 39 A Sur 57 - Envigado Colombia

www.iue.edu.co

Tel: (+4) 604 339 10 10 ext. 1524

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

Los autores son moral y legalmente responsables de la información expresada en este libro, así como del respeto a los derechos de autor. Por lo tanto, no comprometen en ningún sentido a la Institución Universitaria de Envigado.

Prohibida la reproducción total o parcial del libro, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización escrita del autor(es) o del Fondo Editorial IUE.

Contenido

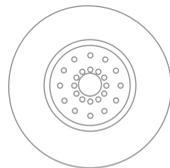
Prólogo	8
Introducción	11
1. Estado del arte de la seguridad vial	18
1.1. Paradigmas de la seguridad vial	18
1.2. Teorías relacionadas con la seguridad vial	21
1.2.1. Teoría de la propensión a accidentes	21
1.2.2. Teoría de la causalidad de accidentes	22
1.2.3. Teoría general de sistemas	23
1.2.4. Teoría de la construcción social del riesgo	26
1.2.5. Teoría homeostática del riesgo	27
1.3. Enfoques filosóficos de la seguridad vial	29
1.3.1. Enfoque sistémico integral o matriz de Haddon	29
1.3.2. Enfoque de la seguridad vial sostenible de Holanda	30
1.3.3. Enfoque de la Visión Cero de Suecia	32
1.3.4. Enfoque de las medidas preventivas en seguridad vial	33
1.3.5. Enfoque de sistemas seguros para la seguridad vial de la OMS	34
1.3.6. Enfoque de sistemas seguros de la OCDE	36
1.4. Panorama global y regional de la seguridad vial	43
2. Gestión y control de la seguridad en los Buses de Tránsito Rápido (BRT)	46
2.1. Los BRT en el contexto global	46
2.2. Los sistemas BRT en Latinoamérica	50
2.3. La seguridad en los sistemas de transporte tipo BRT	57
2.4. Investigaciones sobre seguridad vial en sistemas BRT	60

3. Caracterización del sistema TransMilenio	64
3.1. Antecedentes del TransMilenio	64
3.2. Planeación y diseño	66
3.3. Elementos contractuales	69
3.4. Agentes del sistema	70
3.5. Gestión y organización institucional	71
3.6. Componentes del sistema TransMilenio	73
3.6.1. Componente humano	73
3.6.2. Componente de infraestructura y equipamiento	74
3.6.3. Componente tecnológico	77
3.6.4. Recaudo, control, información y servicio al usuario	79
3.7. Marco normativo, institucional y operacional de la seguridad vial en TransMilenio	80
3.7.1. Aspectos normativos	80
3.7.2. Aspectos institucionales	83
3.7.3. Aspectos operacionales	85
4. La seguridad vial en el TransMilenio: una evaluación cualitativa	92
4.1. Variables de análisis	93
4.2. Componentes de las interacciones internas y externas	94
4.3. Nivel de control	95
4.4. Nivel de seguridad vial	96
4.5. Variables de interacciones analizadas entre componentes del sistema TransMilenio	96
4.5.1. Componente humano-infraestructura	96
4.5.2. Componente humano-tecnológico	101
4.5.3. Componente infraestructura-tecnología	102
4.5.4. Variables de control del análisis de la seguridad de TransMilenio	104
4.6. Nivel de control del sistema TransMilenio en la troncal de la avenida Caracas	106
4.6.1. Ponderación de las interacciones entre componentes	106

4.6.2. Evaluación de variables en la interacción humano-infraestructura	108
4.6.3. Evaluación de variables en la interacción humano-tecnología	117
4.6.4. Evaluación de variables en la interacción infraestructura-tecnología	119
4.6.5. Evaluación del componente institucional	122
4.7. Resultados del análisis de la seguridad vial del sistema TransMilenio	123
5. Expectativas del sistema TransMilenio	132
5.1. Expectativas a corto y mediano plazo	132
6. Conclusiones	136
Índice de tablas	140
Índice de figuras	141
Acrónimos y abreviaturas	143
Glosario	145
Referencias	146
Reseña autores	156

Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a las casas de estudios Universidad de Guadalajara en México, Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Colombia y a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de esta obra.





Prólogo

Cuando los autores me pidieron revisar esta obra y redactar su prólogo, consideré el impacto que, en las áreas de la ingeniería, y especialmente en las del transporte, pudieran llegar a tener sus aproximaciones teórico-prácticas sobre el fenómeno estudiado: los Buses de Tránsito Rápido (*BRT*, por sus siglas en inglés). No obstante, el trabajo va más allá de mostrar el caso del TransMilenio en Bogotá, y me consta que los autores analizaron casos similares en diferentes ciudades de México y Colombia, cuya información recopilada en la praxis cotidiana de la inspección *in situ* les permitió no solo ampliar su bagaje teórico-conceptual del tema, sino también la evidencia empírica en materia de seguridad y siniestralidad vial en un contexto donde la movilidad retoma fuerza en los discursos y planteamientos sobre el futuro de las ciudades.

Mi acercamiento con los autores data de mi experiencia en la maestría en Movilidad Urbana, Transporte y Territorio de la Universidad de Guadalajara, México. Mi trabajo de investigación fue dirigido por el Dr. Mario González Pérez; asimismo, tuve el privilegio de haber sido alumno del Dr. Mario Córdova España. En aquel entonces, ambos codirigían el trabajo de investigación del entonces maestro Yefer Asprilla Lara en el doctorado en Movilidad Urbana, Transporte y Territorio. Posteriormente, realizamos coinvestigaciones que se publicaron en forma de artículos y capítulos de libro sobre temas de movilidad urbana y transporte. En este sentido, fue una enorme satisfacción recibir la invitación de estos tres doctores para escribir el prólogo de este proyecto que desarrollaron en conjunto.

Ciertamente, el tema de la seguridad vial ha pasado por diferentes fases a lo largo de la historia de la movilidad; incluso, se puede constatar que esta se ha concebido desde una relación beneficio-costos, priorizando al vehículo y al camino, en detrimento del usuario. Lamentablemente, intervenciones en infraestructura y en sistemas de transporte, así como modificaciones a los

marcos normativos, se han caracterizado por ser correctivas, más que preventivas; es decir, la implementación de medidas por parte de la autoridad ha sido *a posteriori* de la ocurrencia de algún evento relacionado con el trinomio vehículo-usuario-camino (VUC). En este sentido, a partir de la revisión y análisis de este trabajo es posible preguntarse por qué vale la pena leer este libro y por qué puede ser de interés para los tomadores de decisiones en materia de seguridad vial

En realidad, esta obra es de interés general porque articula una serie de enfoques y paradigmas en materia de seguridad vial, que incluye un conjunto de variables en sus formulaciones, que permitan lograr el control en la operatividad de sistemas de tránsito rápido. De igual forma, el estudio muestra el escenario del TransMilenio de Bogotá, uno de los BRT de gran importancia en Latinoamérica. De ahí, la investigación cuestiona la movilidad en transporte público masivo y discute no solo la sostenibilidad y solvencia técnica de estos sistemas, sino que reflexiona sobre la política pública que escasamente es considerada en los proyectos de intervención. Además, la cultura vial sigue siendo un tema pendiente que se asocia con los índices de siniestralidad relativos al uso del BRT, concretamente en la interacción de este sistema con los demás actores de la movilidad cotidiana: vehículo privado, autotransporte público, bicicleta, motocicleta, peatón.

La formación de los autores (Ingeniería Civil y Arquitectura) ha conjuntado dos visiones en este trabajo. Por un lado, los aspectos técnicos y operativos y, por otro, los relativos a la planificación. Sus posicionamientos sobre las acciones que están acelerando, desde una concepción termodinámica, el desorden en los entornos urbanos se vuelve de interés general y actual. Este desorden relacionado con la materia y energía nos invita a la reflexión sobre los aspectos fundacionales de la teoría de los sistemas; de hecho, los autores han expresado en trabajos previos las ventajas del denominado enfoque sistémico para el análisis de los fenómenos urbanos y el proceso de planificación.

En función de lo anterior, los autores estructuran la obra en cinco capítulos. En el primer capítulo se abordan los diferentes paradigmas, teorías y

enfoques filosóficos sobre la seguridad vial. En el segundo se habla del tema de la gestión y seguridad de los sistemas BRT. En el tercero se analiza a profundidad la caracterización del sistema TransMilenio como objeto de estudio y en el cuarto se evalúa la seguridad de dicho sistema. Finalmente, en el quinto se comparten las expectativas del TransMilenio para los años próximos. Así pues, *Seguridad y control en Buses de Tránsito Rápido: el TransMilenio* es una obra que obligatoriamente plantea la pregunta sobre hacia dónde van estos sistemas de transporte y que, muy seguramente, dejará huella en quienes consideren una lectura detenida de este trabajo.

Los invito a leer esta obra y a sacar sus propias conclusiones.

Mauricio Camarena González



Introducción

La seguridad es un indicador fundamental de todo sistema de transporte público y, por lo tanto, debe brindarse y garantizarse al usuario independientemente del modo de transporte utilizado. Este indicador es el más importante de todos los que se consideran para evaluar el nivel de servicio en cualquier sistema de transporte público de pasajeros. Si se toman en cuenta las proyecciones de la ONU-Hábitat, según las cuales para el año 2030 el 60 % de la población global vivirá en entornos urbanos, se pueden anticipar diferentes retos en materia de movilidad para las ciudades. En Latinoamérica, por ejemplo, se ha optado por sistemas de transporte tipo buses de transporte rápido (BRT, por sus siglas en inglés), cuyo proceso de implementación es más flexible y más económico que los sistemas tipo metro, pero con limitaciones en términos de capacidad de pasajeros movilizadas por hora sentido (ph-s) y velocidad operacional por la interacción que estos tienen con otros actores viales.

En este contexto, el tema de la seguridad de los diferentes actores de la movilidad se aborda desde diferentes disciplinas, porque se facilita el análisis con enfoques multidisciplinarios e interdisciplinarios. Asimismo, diversos estudios de especialistas en la temática coinciden en que el factor humano, la tecnología (vehículo), la infraestructura y el control y gestión institucional, son elementos clave para determinar dónde podrían tener origen los siniestros viales. Los traumatismos causados por la siniestralidad vial son considerados como una pandemia mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), cada año mueren alrededor de 1.35 millones de personas y alrededor de 50 millones más quedan lesionadas en las calles urbanas y carreteras interurbanas de todos los países del mundo, convirtiéndose en una de las diez principales causas de muerte en el planeta y la primera en el grupo etario entre los 15 a los 29 años. Advierte también que, de no tomarse acciones para

prevenir y mitigar este flagelo, los traumas por siniestros de tránsito pasarán a estar entre las primeras cinco causas de muerte en el 2030. En las Américas, la tasa de muertes por siniestros de tránsito es de 15.9 por cada cien mil (100 000) habitantes; 6.6 muertos por encima de la tasa de los países europeos, que es de 9.3 muertos por cada 100 000 habitantes (OMS, 2015, p. 6). Sin embargo, estos países tienen tasas de motorización superior a las registradas en países latinoamericanos.

Los eventos de tránsito son una problemática creciente de salud pública que afecta a todos los países del mundo, en especial a los de ingresos medios y bajos (OMS, 2011). Otras de las consecuencias devastadoras que generan los siniestros viales son los traumatismos psicológicos y sociales para las familias y los costos económicos que representan entre el 3 y 5 % del PIB (Producto Interno Bruto) de cada país, en especial los que se encuentran en desarrollo (ONU, 2016, p. 2). La mayoría de los propósitos establecidos en los planes de acción por la seguridad vial fueron incorporados en los objetivos 3 y 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), donde uno de los propósitos, según el objetivo 3.6, es “Reducir a la mitad el número de muertes y lesionados por accidentes o hechos viales a nivel global en el año 2030” (ONU, 2018, p. 24), y el objetivo 11.2 que considera que:

Para el año 2030 se debe proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos, mejorando la seguridad vial, especialmente mediante la expansión del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas vulnerables, mujeres, niños, personas con discapacidad y adultos mayores (ONU, 2015, p. 51).

Dichos objetivos son compromisos prioritarios que requieren ser atendidos con urgencia por todos los países miembros. Por ello, la ONU reafirmó su compromiso el 15 abril de 2016 a través de la resolución 70/260 que pretende el “Mejoramiento de la seguridad vial en el mundo” (ONU, 2016, p. 1). Dentro de este contexto, todos los modos de transporte deben garantizar la seguridad para los diferentes actores viales de zonas urbanas e interurbanas en cada uno de los países miembros de la ONU. El transporte público y en especial los

sistemas masivos son, sin duda, uno de los modos que más pasajeros movilizan en una ciudad y sobre el cual se debe hacer mayor énfasis y control en la seguridad vial debido a los efectos devastadores que dejan estos hechos viales en la movilidad urbana.

En función de lo anterior, los sistemas masivos de transporte basados en Buses de Tránsito Rápido o BRT nacieron como una solución a los problemas del transporte público colectivo y a la escasez de recursos económicos para construir sistemas férreos de alta capacidad en algunas urbes; así pues, desde sus orígenes en la ciudad de Curitiba, a mediados de la década de los 70 y luego de su implementación en Bogotá a finales del año 2000, donde se ha denominado TransMilenio, con un gran éxito en sus primeros diez años de funcionamiento, este modelo se convirtió rápidamente en referente para más de 170 ciudades en el mundo que hoy cuentan con sistemas BRT, aunque, en algunos casos, tuvieron dificultades en su implementación y operación en asuntos como financiación, frecuencia, aglomeración en horas pico, siniestralidad vial, entre otros.

En el caso particular de la siniestralidad vial, los enfoques teóricos aplicados a estos sistemas se han basado en la Visión Cero de los suecos, filosofía que se fundamenta en el hecho de que todas las personas son falibles, en la construcción de infraestructuras perdonadoras y en el principio de que “Ninguna muerte en el tránsito es aceptable, todas son evitables”, lineamientos que han sido acogidos por el Institute for Transportation and Development Policy, ITDP (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo) y el World Resources Institute, WRI (Instituto de Recursos Mundiales), entre otras organizaciones que han liderado la asistencia y asesoría técnica en la implementación de este modo de transporte masivo alrededor del mundo.

Este estudio se enfoca exclusivamente en la investigación sobre la seguridad operacional, profundizando en el análisis del nivel de control y de seguridad vial del sistema, elementos fundamentales en la seguridad vial de los usuarios del sistema y demás actores viales que puedan ser afectados por los siniestros viales. En este sentido, la seguridad vial de los sistemas de transporte tipo BRT

depende, en gran medida, del control a las interacciones de componentes internos y externos; es decir, que cuando ese control es deficiente se puede presentar un mayor riesgo de hechos viales conflictivos que incrementen la siniestralidad.

Metodológicamente, se acudió a la estrategia o enfoque del estudio de caso instrumental a nivel auscultación y retrospectivo (Stake, 1995; Creswell, 2009). El estudio tipo instrumental permite centrarse en el fenómeno de un problema o una inquietud, para tener un análisis detallado del caso a investigar. Por otro lado, el análisis exploratorio o auscultación proporciona una visión general del caso que poco se ha estudiado, permitiendo identificar posibles relaciones entre las variables analizadas y explorar el fenómeno para tener un conocimiento más amplio; y lo retrospectivo, el mirar hacia atrás, se debe a que el estudio se realiza posterior a los hechos ocurridos, acudiendo a recolección de la información por medio de diálogos abiertos, entrevistas, documentos y bases de datos históricos (Stake, 1995; Yin 2003). El estudio se enmarca en una cosmovisión filosófica del pragmatismo, el cual se sustenta por métodos mixtos de estudio, cuyo elemento central es la observación y análisis de las consecuencias resultantes de las acciones del mundo real (Tashakkori y Teddlie, 1998; Morgan, 2007). Según Creswell (2009), el pragmatismo se basa en la consideración de que “la investigación siempre se produce en la vida social, histórica, política y otros contextos”.

La investigación se realizó en el sistema TransMilenio de Bogotá, principal modo de transporte público de pasajeros de la capital colombiana, tomando como referencia el corredor más importante del sistema, que es la Troncal Avenida Caracas, a partir de datos históricos de la siniestralidad del periodo comprendido entre 2010-2016, suministrados por la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM). En este lapso, el sistema logra poner en operación la fase 3, extendiendo sus servicios al municipio conurbano de Soacha (Cundinamarca). Cabe resaltar que el 2016 fue el año previsto para la implementación de todas las fases proyectadas, de acuerdo con la planeación establecida en el

2000 por el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), según instrumento 3093 Sistema TransMilenio.

En el desarrollo de la revisión documental, se acudió a diferentes fuentes de información secundaria generada por instituciones distritales y nacionales, destacando los informes de gestión y manuales de operación publicados por el ente gestor TransMilenio, así como investigaciones realizadas por diferentes organismos nacionales, internacionales y multilaterales, complementado con revisión y consultas de libros, artículos científicos en bases de datos como Redalyc, ScienceDirect, Scielo, Latindex, entre otras. Este proceso permitió recabar estudios relacionados con la temática objeto de investigación en revistas multidisciplinarias y especializadas. A partir de la recopilación de la bibliografía se procedió a depurar la información encontrada a través de técnicas documentales. Por otro lado, se recabaron las bases de datos estadísticas de la siniestralidad en el sistema TransMilenio durante el período 2010-2016, que reposan en la empresa TransMilenio, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF) y SDM; asimismo, se consultó la regulación y normatividad que permite ejercer control a la operación de los buses articulados por parte de TransMilenio y entidades de control distritales y nacionales. Además, se realizaron diálogos abiertos con diferentes actores y usuarios del sistema (organismos institucionales, ente gestor, operadores privados y usuarios), y con expertos e investigadores nacionales e internacionales concedores de los sistemas BRT. Este proceso fue documentado por medio grabaciones en dispositivos móviles y analizadas posteriormente.

Asimismo, se observó *in situ* la operación del sistema, lo que permitió registrar datos de las variables analizadas, hechos de interés, comportamientos y actuaciones de los diferentes actores de la movilidad y la interacción entre componentes del sistema en el corredor de estudio del sistema TransMilenio S.A. Este proceso fue documentado con registros fotográficos, videos y notas de campo. En este sentido, la inspección *in situ* permitió realizar una revisión a los diferentes componentes infraestructurales durante la operación del sistema, para identificar deficiencias en el corredor troncal, como señalización

horizontal y vertical, portales, estaciones, accesos, intersecciones o cruces, pasos peatonales a nivel y desnivel, estado del pavimento, equipamientos del entorno urbanístico, entre otros. Adicionalmente, se comparó lo que inicialmente se había planificado, diseñado y prospectado con lo que al final se ejecutó y existe en la actualidad.

En la determinación del nivel de control y seguridad vial del sistema TransMilenio, el proceder metodológico consistió en definir las interacciones entre los componentes humano, infraestructura y tecnología (vehículo); a partir de ahí, se analizaron las variables que más incidieron en los siniestros viales que se presentaron en el sistema durante el periodo de estudio. En la estimación del nivel de control se acudió a una evaluación cualitativa propuesta por De la Peña et al. (2016) y utilizada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en la evaluación de seguridad en las vías de Latinoamérica y el Caribe, donde se tuvieron en cuenta las variables que incidían en cada una de las interacciones, las cuales tenían cada una ponderación respectiva, lo cual permitió la calificación del nivel de control en una escala de 1 a 5, donde la calificación más baja correspondía a *malo* y la más alta a *muy bueno*. Para el caso del nivel de seguridad vial se estimaron con la aplicación de una fórmula utilizada por TransMilenio para evaluar los índices de siniestralidad en la operación del sistema por cada diez mil (10 000) kilómetros de vías troncales recorridos; así a partir del cálculo de los índices de siniestralidad se establecieron niveles de seguridad que van desde la letra A a la E, donde la A corresponde a una calificación de 5, que indica bajos índices de siniestralidad, y la E a una calificación de 1, que indica altos índices de siniestralidad. Los resultados del estudio dan cuenta de que entre 2013 y 2015 el nivel de control disminuyó y los índices de siniestralidad aumentaron en promedio 41 %, con respecto a 2010 y 2011. Estos datos permitieron concluir que existe una correlación entre el control que se haga desde la institucionalidad y la ocurrencia de siniestros viales en el corredor troncal Avenida Caracas del sistema TransMilenio.

En este contexto, esta obra consta de 5 capítulos. El primero trata sobre el estado del arte de la seguridad vial, donde se abordan los diferentes

paradigmas, teorías y enfoques filosóficos que han incidido en materia seguridad vial; el segundo aborda la gestión y el control de la seguridad en buses de tránsito rápido, en el cual se referencian los sistemas BRT a nivel global y latinoamericano, la seguridad y las investigaciones en seguridad vial de estos sistemas; posteriormente, el tercer capítulo se enfoca en la caracterización del sistema TransMilenio, se describen los antecedentes y su concepción, sus diferentes componentes, el marco normativo, institucional y operacional; el capítulo cuarto aborda el estudio de caso donde se evalúa la seguridad vial del sistema TransMilenio en el corredor troncal de la avenida Caracas, a partir de un análisis cualitativo de diferentes variables que permite evaluar el nivel de control y de seguridad vial del sistema; y finalmente en el capítulo cinco se exponen las expectativas a corto y mediano plazo de este sistema de transporte masivo.



1. Estado del arte de la seguridad vial

1.1. Paradigmas de la seguridad vial

Según Norton (2015), puede hablarse de cuatro paradigmas de la seguridad vial. El primero surge entre 1900-1920, llamado *Safety First* (seguridad primero) o Modelo I, que reflejaba la percepción del automóvil como máquina o instrumento novedoso y peligroso. Posteriormente en el período 1920-1960, a raíz del incremento de los siniestros viales, emerge el paradigma del *Control* o Modelo II, el cual se fundamentó en la aplicación de la estrategia de las 3E, *Education, Engineering, Enforcement* o educación, ingeniería y aplicación estricta de la ley. Este paradigma fue apropiado principalmente por las escuelas de formación profesional en ingeniería de tránsito y transporte y ampliamente difundido en países de la región de América Latina por el ingeniero Rafael Cal y Mayor, quien llegó a llamarlo 'La catedral' de la seguridad vial, por la solidez que debían tener estos tres pilares. En aquel periodo, el automóvil no se veía como una máquina peligrosa, las carreteras se construían con mejores estándares para garantizar mayor velocidad, la educación vial se enfocaba en los nuevos conductores, dejando de lado el resto de los actores de la movilidad, y la ley se aplicaba de manera rigurosa y severa a todos los conductores que incumplieran las normatividades de circulación.

Años más tarde, entre 1960-1980 surge en la industria automotriz el *diseño seguro* o Modelo III, conocido como *Crashworthiness* (protección contra choques), cuyo enfoque en el hecho de que las colisiones son inevitables, condujo a la preocupación por diseñar vehículos más seguros, de tal manera que en una posible colisión los ocupantes no sufrieran lesiones graves, y, por eso, se dotaron con dispositivos de seguridad como la faja o cinturón, la bolsa de aire o *airbag*, entre otros. El último paradigma al que de alguna manera se

le han ido sumado nuevos enfoques de análisis para entender los fenómenos estudiados desde la seguridad vial inicia entre 1980 y los primeros años del siglo XXI, llamado *Responsabilidad (Responsibility)* o Modelo IV. Este paradigma devuelve la responsabilidad a los conductores de vehículos. En este sentido, Hatakka et al. (2002) consideran que el comportamiento que deben tener los conductores requiere de una educación que les permita conocer el contexto de la conducción, dominar las variadas situaciones que comúnmente se presentan en las vías y sus entornos urbanos e interurbanos, y saber maniobrar con el vehículo.

Si bien los cuatro paradigmas descritos por Norton surgieron en los EE. UU. durante el siglo XX, algunos de los cuales siguen vigentes en muchos países del mundo, especialmente los denominados *en desarrollo*, en la construcción de los paradigmas que han permitido el análisis inter y transdisciplinar del pensamiento sobre la seguridad vial y en la comprensión de las complejidades que se necesitan para abordar las soluciones al fenómeno de los siniestros viales, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), recoge también cuatro concepciones paradigmáticas de la seguridad en carreteras y vías urbanas, que a lo largo del siglo XX y las dos primeras décadas del XXI han estado en el imaginario de la comunidad científica, e incluso algunos de ellos coinciden con los que predominaron en los EE.UU. (Tabasso, 2002, p. 6).

En la Tabla 1., se hace una síntesis y descripción de los diferentes aspectos en que se soportaron estos paradigmas, los cuales enfatizan el paradigma de la movilidad basada en la *Automovilidad* (carros y motos).

Tabla 1.

Modelos relacionados con la seguridad vial en los siglos XX-XXI

Elementos relevantes	Modelo I	Modelo II	Modelo III	Modelo IV
Temporalidad	1900 - 1935	1935-1970	1970-1980	1980-
Descripción	Dominio de los Vehículos	Manejo de las situaciones al transitar	Gestión del sistema de tránsito	Gestión del sistema de transporte
Enfoque e idea principal	Uso de los vehículos motorizados como carruajes	Acomodo del conductor a las eventualidades en el tránsito	Eliminación de los riesgos del sistema	Tener presente la exposición al riesgo y las normas de regulación en la movilidad
Principales disciplinas involucradas	Aplicación de la ley o <i>enforcement</i>	Ingenierías vial y automotriz	Ingenierías Medicina Estadística	Tecnología Análisis de sistemas Sociología Comunicación
Términos para los eventos indeseables	Colisión	Accidente	Victima	Costo Sufrimiento
Ideas sobre la inseguridad vial	Problema de transición Etapa de ajuste	Dificultad personal para adquirir habilidades y ausencia de respeto por las normas.	Defectos del sistema en el tránsito.	Exposición al riesgo
Contra medidas típicas	Inspección técnica de los vehículos Patrulla escolar	Enfoques de las 3E Auscultar la propensión a sufrir siniestros	Medidas combinadas para reducir los riesgos.	Invencción de redes. Análisis de costos y fuentes de financiación.
Efectos	Incremento gradual del número de vehículos y riesgo de sufrir lesiones.	Vertiginoso incremento del riesgo a sufrir lesiones y reducción de riesgos viales.	Ciclos sucesivos en disminución de riesgos en las vías y de lesión.	Reducción continua de siniestros graves.

Fuente: elaboración propia con base en Tabasso, 2002.

Como dichos paradigmas han propiciado el surgimiento de teorías en torno a la problemática de la inseguridad vial, a continuación referenciamos algunas que, de una u otra manera, han aportado al desarrollo de estudios académicos y científicos en el área de la seguridad, donde, para entender el fenómeno de los siniestros viales, cada día se involucran diferentes disciplinas del saber, tales como ingeniería, estadística, matemática, física, ciencias políticas, derecho, psicología, pedagogía, sociología, salud pública, entre otras.

1.2. Teorías relacionadas con la seguridad vial

En el último siglo, el fenómeno de la inseguridad vial urbana e interurbana se ha abordado con una diversidad de teorías que obedecen a diferentes momentos del desarrollo de la investigación científica sobre este tema (Norton, 2015; Tabasso, 2002). Investigadores, instituciones y organizaciones especializadas y filantrópicas alrededor del mundo trabajan para mitigar un problema que la OMS ha catalogado de *pandemia*, y que afecta a la mayoría de los países de medianos y bajos ingresos. En este apartado se abordarán las teorías y enfoques filosóficos sobre la seguridad vial que más relación y proximidad tienen con las garantías que deben brindar los sistemas BRT en sus líneas troncales.

1.2.1. Teoría de la propensión a accidentes

El economista y estadístico ruso Ladislaus Bortkiewicz, finalizando el siglo XIX y empezando el XX, demostró, a través del modelo de distribución de Poisson, que los siniestros eran sucesos aleatorios y que los seres humanos no tenían ningún tipo de control sobre ellos (Rune et al., 2013, p. 82). Sin embargo, esta idea fue cuestionada en 1920 por el médico epidemiólogo inglés Major Greenwood y el estadista escocés George Yule (como se citó en Rune et al., 2013), quienes, al analizar los accidentes de algunos trabajadores en las fábricas de munición, a través del modelo de distribución binomial negativa, encontraron que los accidentes no eran puramente aleatorios, sino que algunas personas eran más

propensas a sufrir accidentes que otras. Esto permitió que, a través de tests de inteligencia y personalidad, se determinaran las conductas e se identificaran las personas que sufrían algún tipo de desorden de la personalidad, las cuales eran especialmente proclives a tener accidentes. Esta concepción fue aceptada por gran parte de los investigadores de accidentes hasta mediados de siglo XX.

Como consecuencia, en el imaginario colectivo tomó fuerza la idea de que los accidentes se debían a los trastornos de personalidad o conductas de algunas personas; sin embargo, a finales de los 50, con el aumento exponencial de la motorización y el incremento de los accidentes en la movilidad, se evidenció que los siniestros viales no eran exclusividad de unos pocos conductores con comportamientos riesgosos o propensos a sufrir accidentes, sino que podían sucederle a cualquier conductor normal; por lo anterior, la teoría de la propensión ya no era suficiente para explicar la complejidad del fenómeno de la ocurrencia de accidentes o hechos viales (Rune et al., 2013).

1.2.2. Teoría de la causalidad de accidentes

Las primeras conceptualizaciones en el origen de la teoría de la causalidad se deben a los hallazgos en 1931 del ingeniero estadounidense Herbert William Heinrich y a su continuación en 1976 por el científico Frank Bird (Tabasso, 2002, p. 21). Estos investigadores consideraron que la causalidad de los accidentes o siniestros viales se debía a actos inseguros o “fallas humanas”, que se daban de manera secuencial y en un cierto orden temporal y que denominaron el *efecto dominó*. En efecto, diferentes estudios e investigaciones han concluido que la causalidad de los accidentes son los errores humanos. Así, por ejemplo, en 1994 el ingeniero civil estadounidense Henry Petroski concluye que “los accidentes se producen debido a errores en el proceso de diseño, cualquiera sea su etapa” (Godoy et al., 2001, p. 131).

A partir de esta concepción, el esfuerzo se centró en eliminar los errores humanos, independientemente del modo de transporte. Lo anterior llevó a que el objetivo primordial fuera modificar las actitudes y comportamientos en

el espacio vial; sin embargo, esto no fue suficiente para prevenir los accidentes, ya que las personas son falibles y por naturaleza cometen errores (Rune et al., 2013). La teoría de la causalidad basada en los errores humanos condujo a preguntarse a qué se debían o por qué se generaban. El intento por resolver estos cuestionamientos llevó a la búsqueda de respuestas en otras teorías que profundizaran en el análisis de las causas de los siniestros viales, dejando de lado el foco en el error.

1.2.3. Teoría general de sistemas

Cuando finalizaba la Segunda Guerra Mundial, a mediados de la década de 1940, surge la Teoría general de sistemas (TGS), concebida por el filósofo y biólogo austriaco Karl Ludwig von Bertalanffy. Según Bertalanffy (1976, p. 38) un sistema se define como “conjuntos de elementos en interacción”, puesto que “las propiedades de los sistemas no pueden describirse significativamente en términos de sus elementos separados”. Dicho concepto se fue ampliando con los enfoques y aportes metodológicos de las teorías de la información de Weaver, de redes de Rapoport, la cibernética de Wiener, la de autómatas de Turing, la de juegos de Von Neumann, entre otras (González Pérez, 2013; Arnold Cathalifaud y Osorio González, 1998). Lo anterior indica que para comprender un sistema hay que estudiarlo de manera integral y holística, analizando cada una de las características, funciones y comportamientos de las partes o componentes que estructuran el sistema, en donde lo fundamental son “las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas surjan” (Arnold Cathalifaud y Osorio González, 1998, p. 40).

Arnold Cathalifaud y Osorio González (1998) recogen tres maneras de clasificar los sistemas: cerrados, abiertos y su combinación, que origina los mixtos.

Los sistemas cerrados son *un estado de completo desorden*, es decir que “estos sistemas están irremediabilmente condenados a la desorganización; estos sistemas se dan cuando ningún elemento de afuera entra y ninguno de adentro sale fuera del él, se comportan de una manera estática o

sin variaciones” (Bertalanffy, 1976, p. 39), son herméticos y no tienen influencia del entorno medio ambiental, no reciben recurso externo, ni tampoco generan transferencias hacia el exterior (Arnold Cathalifaud y Osorio González, 1998; Coronado Céspedes, 2001).

Por su parte, los sistemas abiertos procesan e importan elementos del ambiente que los rodea, lo cual es una propiedad de todos los sistemas que tienen vida y que requieren de intercambios permanentes con su entorno, lo que le permite de alguna manera mantenerse en equilibrio y continuidad (Johansen Bertoglio, 1993, p. 69). No obstante, Ida R. Hoos, entre otros investigadores, considera que los sistemas abiertos tienen grandes limitaciones en cuanto a su capacidad para hacer pronósticos sociales, económicos y políticos, porque, en la mayoría de los casos, su análisis de modelado matemático-estadístico utiliza variables y parámetros de supuestos basados en ideologías, obsesiones y prejuicios del diseñador o constructor del modelo (Hoos, 1973, como se cita en Coronado Céspedes, 2001, p.70).

Según González (2020, p. 29), los sistemas mixtos también se pueden llamar semiabiertos o semicerrados. Estos sistemas permiten un intercambio de energía, restringido a un intercambio de materia, y tienen propiedades híbridas que permiten cierta flexibilidad. En el caso de los BRT se evidencian en la infraestructura vial que, en caso de algún siniestro o emergencia, permite que los buses pueden desviarse y salirse de los carriles exclusivos.

En la mayoría de los casos, el diseño operacional y funcional de los sistemas BRT se ha basado en sistemas cerrados con vehículos articulados que circulan en carriles exclusivos o calzadas segregadas, buscando brindar un servicio seguro, eficiente y confiable debido al control que se puede tener de cada uno de sus componentes internos (Romero Pérez y Díaz Padilla, 2009). Sin embargo, se observa que también son abiertos, porque en su proceso de operación interactúan componentes externos, tales como los otros actores de la movilidad (automovilistas, ciclistas, peatones, motociclistas, entre otros) que inciden, de alguna manera, en el funcionamiento y seguridad de estos sistemas de transporte. En ese sentido, Buckley (1973), argumenta que “las

interrelaciones que se mantienen más o menos estables entre los componentes, y en un momento determinado, constituyen la estructura del sistema”; sin embargo, cuando se presentan desajustes en la interacción de los diferentes componentes de la estructura del sistema se producen accidentes siniestros o hechos viales. Asimismo, el sociólogo estadounidense Charles Perrow señala que la ocurrencia de siniestros se debe a la complejidad y propiedades del sistema en sí, cuando sus componentes interactúan y producen fallas no esperadas (Perrow, 1984, como se cita en Godoy et al., 2001, p. 129).

Para Rune et al. (2013, p. 83) la teoría de sistemas considera que cuando el sistema funciona adecuadamente, aunque haya desajustes, no será posible atribuir una mayor importancia a ninguna de las partes del componente técnico en el sistema vial (ingeniería-carretera, tecnología-vehículos), dejando de lado los errores que se producen por las limitaciones humanas, con el argumento de que el sistema no había sido diseñado de manera adecuada. Dentro de la estructura propia del sistema aparecen fuerzas de desorden conocidas como *fuerzas entrópicas* (González Pérez y Asprilla Lara, 2017), que influyen de alguna manera en el funcionamiento y que generan inestabilidad o desequilibrio en el sistema de seguridad vial. Como tales fuerzas (que aquí llamamos *lobby de proveedores de tecnología e intereses particulares de diferentes sectores*) ejercen presión para su propio beneficio, se les debe hacer control y regulación por parte de las instituciones o entidades responsables de la gerencia, planificación y puesta en operación del sistema de transporte, para garantizar la prestación de un buen servicio.

Es en este contexto **que** el psicólogo alemán Dietrich Dörner, en su postulado *inteligencia operativa*, manifiesta que “las causas de los accidentes radican en el proceso racional de la toma de decisiones por parte de los agentes que controlan el funcionamiento del sistema en sus diferentes etapas de diseño, ejecución y operación” (Dörner, 1989, citado en Godoy et al., 2001, p. 132). Lo anterior indica que la institucionalidad debe mantener un control para lograr una mejor seguridad operacional en un sistema de transporte masivo soportado en BRT para garantizar, en lo posible, la estabilidad de las relaciones

entre los diferentes componentes internos y externos (infraestructura, tecnología, actuación humana, entre otros) que interactúan en la operación del sistema, de manera que los usuarios tengan un transporte seguro y confiable. Estos resultados no se obtienen por la suma de los comportamientos individuales de cada elemento del sistema, sino que son la consecuencia de un proceso dinámico de relaciones entre dichos componentes (González Pérez, 2016, p. 29).

1.2.4. Teoría de la construcción social del riesgo

El concepto de la construcción social del riesgo fue introducido por Ulrich Beck en su libro de 1986 *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Más adelante, en otra obra argumenta que “El riesgo es entendido como daño futuro derivado de decisiones presentes” (2008, p. 20), haciendo énfasis en el hecho de que actualmente se vive en una sociedad que está en permanente riesgo, debido a las posibles consecuencias no esperadas por la acción de cada individuo o grupo social. En este sentido, se presentan resultados colaterales a las acciones u omisiones del comportamiento humano, sea cual sea el área de conocimiento o campo de la ciencia donde se desarrolle y se lleve a cabo dicha actuación. En este contexto, analizar el riesgo implica referirse a eventualidades que todavía no acontecen y que son susceptibles de suceder si no se toman las precauciones, regulaciones y controles apropiados (Galindo, 2015). Por su parte, Niklas Luhmann considera que el riesgo está ligado a los posibles daños ocasionados por la decisión que toma el individuo y, en ese sentido, el riesgo se atribuye a la decisión que se toma en un momento determinado, en tanto que los daños están asociados a lo externo, o sea, al entorno, lo que Luhmann llama *peligro* (Galindo, 2015, p. 154).

Estas consideraciones permiten inferir que la mitigación del peligro de un accidente, siniestro o hecho vial estaría en manos de las autoridades e instituciones del sector, encargadas de la gestión, planificación, diseño, regulación y control de la movilidad cotidiana, sea cual sea el modo utilizado por las personas en su desplazamiento. Los riesgos a los que se expone la sociedad

en el ejercicio de la movilidad, especialmente en las vías urbanas e interurbanas, y cuya concreción deja millones de personas fallecidas y lesionadas cada año en el mundo, deben ser visibilizados en diferentes escenarios y medios de comunicación, para que la gente demande el diseño e implementación de políticas públicas que conlleven a la eliminación o, al menos a la mitigación del riesgo de accidentes, siniestros o hechos viales.

1.2.5. Teoría homeostática del riesgo

En el marco del análisis del riesgo, la *teoría homeostática del riesgo o teoría de compensación*, formulada en 1988 por el psicólogo canadiense Gerald Wilde, explica paso a paso la manera en que los individuos toman sus decisiones en cualquier situación de tránsito, independientemente del instrumento o modo de transporte utilizado. Esta teoría considera que la elección de alternativas que hace el peatón, ciclista, motociclista o conductor viene determinada por su percepción (subjetiva) del riesgo de siniestro o hecho vial, pues “Cuando los beneficios esperados de un comportamiento arriesgado son altos y los costos esperados se perciben como relativamente bajos, el nivel de riesgo objetivo será alto” (Wilde, 2014, p. 31).

Wilde (2014) clasifica el nivel de riesgo de accidente objetivo en cuatro categorías de componentes motivadores o “utilidad subjetiva”:

- a. Las ventajas esperadas de alternativas de comportamiento comparativamente riesgosos: por ejemplo, ganando tiempo acelerando, haciendo una maniobra arriesgada para combatir el aburrimiento.
- b. Los costos esperados de alternativas de comportamiento comparativamente riesgosos: por ejemplo, gastos de reparación de automóviles, recargos por fallas en un hecho vial.
- c. Los beneficios esperados de alternativas de comportamiento comparativamente seguros: por ejemplo, descuento del seguro obligatorio para conducir sin accidentes o hechos viales.
- d. Los costos esperados de alternativas de comportamiento comparativamente seguros: por ejemplo, la incomodidad de usar un cinturón de seguridad, ser llamado cobarde por los compañeros. [traducción de los autores] (p. 31).

En el análisis de las 4 categorías anteriores:

Cuanto más altos sean los valores en las categorías a) y d), mayor será el nivel de riesgo objetivo. El nivel de riesgo objetivo será menor a medida que aumenten los valores en las categorías b) y c). Algunos de los factores motivadores en las cuatro categorías son de naturaleza económica; otros son de tipo cultural, social o psicológico. Por lo general, están tan profundamente internalizados que la mayoría de las personas, la mayoría de las veces, no son conscientes de ellos [traducción de los autores] (Wilde, 2014, p. 32).

Así pues, el nivel de riesgo aceptado por la persona sigue un modelo de utilidad subjetiva deseada, que estaría basado en los costos y los beneficios que espera obtener de las diferentes conductas humanas adoptadas en la movilidad cotidiana (prudente, precavida, arriesgada o temeraria). Según Rune et al. (2013), Wilde considera que “cada sociedad tiene el número de accidentes o siniestros viales que quiere tener, y la única manera de reducir permanentemente este número es cambiando el nivel de seguridad deseado” (p. 84).

Como se ha visto, la mayoría de las teorías sobre la seguridad vial están basadas y se enfocan en el paradigma de la *automovilidad*, relegando a un análisis tangencial los modos sostenibles de movilidad, tales como el caminar, la bicicleta y el transporte público; en ese escenario, se debe hacer hincapié en que la responsabilidad de la seguridad en el tránsito debe verse de manera holística, incluyendo todos los actores involucrados en el ejercicio de la movilidad cotidiana, como lo plantea el paradigma de la *gestión de sistemas de transporte*, que entiende la movilidad como un sistema que involucra diferentes aspectos, lo que lo hace complejo por la confluencia de varios modos de transporte (Tabasso, 2002, p. 9). Estas teorías, sin embargo, han servido de soporte a los diferentes enfoques filosóficos, destacándose la teoría de sistemas sobre la cual se apoyan la mayoría de los enfoques que se abordaran a continuación y cimienta teórico de la investigación sobre la seguridad en los sistemas masivos de transporte de pasajeros, como los BRT.

1.3. Enfoques filosóficos de la seguridad vial

Desde finales del siglo anterior y lo transcurrido del nuevo, han surgido varios enfoques teóricos y prácticos, que le han permitido a los gobiernos actuar para atender la *pandemia* de siniestros en calles y carreteras de todos los países del mundo. A continuación, se listan los enfoques que mayor difusión han tenido en las últimas décadas.

1.3.1. Enfoque sistémico integral o matriz de Haddon

El enfoque sistémico integral fue propuesto en 1970 por el médico estadounidense William Haddon Jr., por lo cual se conoce también como la matriz de Haddon. Dicha matriz está compuesta por nueve celdas y tiene una visión sistémica, ya que analiza cada una de las fases de la ocurrencia de un accidente, siniestro o hecho vial (antes, durante y después), combinándolas con los tres factores de riesgo involucrados en un accidente como son lo humano, lo tecnológico (que incluye los vehículos y su equipamiento), y la infraestructura o entorno medioambiental (OMS, 2004). Adicionalmente, propone las acciones que se deben implementar para afrontar cada una de las fases descritas, de manera que se puedan prevenir o mitigar las defunciones y heridos graves ocasionados por siniestros de tránsito en calles y carreteras de entornos urbanos e interurbanos.

Este enfoque fue acogido por diferentes instituciones y organismos que trabajan por una mejor seguridad vial, como la OMS, la cual lo difundió ampliamente por sus aportes y contribuciones para la solución de la compleja situación de salud pública que dejan los siniestros o hechos viales (Tabla 2).

Tabla 2.
Matriz de Haddon

FACTORES		FASES	
Influyentes	Antes del siniestro	Durante el siniestro	Después del siniestro
Humano	Actitudes Habilidades de conducción Alcohol/drogas Visión Educación	Uso del cinturón Condición física-reflejo Protección lateral Errores de conducción	Edad y características Acceso a servicios de Salud Entrenamiento en primeros auxilios
Tecnológico (vehículos y equipamiento)	Equipo de seguridad Mantenimiento Diseño vehicular seguro	Tamaño de los Vehículos Peso del vehículo Cinturones de seguridad Air bags	Sistema de integridad de combustible (riesgo incendio) Manejo del vehículo dañado o afectado Facilidad acceso
Infraestructura (entorno y medioambiente)	Diseño vial Mantenimiento vial Operación vial Iluminación Señalización Condiciones climáticas	Objetos fijos Bermas-separadores Trabajos en la vía Refugio central	Respuesta emergencias Hospitales Disponibilidad de servicios médicos y de rescate Limpieza después del accidente.

Fuente: elaboración propia con base en el informe de la OMS, 2004.

Si bien la matriz ha servido de base para las investigaciones y trazar políticas públicas en torno a la seguridad vial, también es cierto que deja de lado otros factores que hoy son de suma importancia para poner en marcha las acciones para prevenir los hechos viales en la movilidad urbana, como los componentes institucionales, de información, de control y de vigilancia.

1.3.2. Enfoque de la seguridad vial sostenible de Holanda

Introducido en 1990, este enfoque se basa en la *Sustainable Road Safety* o seguridad vial sostenible y se fundamenta especialmente en la disminución de la probabilidad de que ocurran siniestros en las vías, por medio de la mejora de

los diseños y construcción de las infraestructuras para la movilidad, implementando medidas de mejoramiento en los sitios o tramos donde suceden con frecuencia los accidentes, para mitigar su severidad con el tiempo. El programa de *seguridad vial sostenible* se basa en tres principios clave: funcionalidad, homogeneidad y predictibilidad (Beltrán Rodat, 2009).

El principio de la *funcionalidad* busca definir una estructura jerárquica, especificando la función que cada vía debe cumplir, eliminando la multifuncionalidad de las calles y carreteras como generalmente ocurre. La *homogeneidad*, partiendo del concepto de que los segmentos que tienen cierta homogeneidad generalmente tienden a brindar mayor seguridad en una red viaria con relación al número de accidentes por kilómetro recorrido (Beltrán Rodat, 2009), permite un mejor control de los movimientos del tráfico, separa los distintos actores de la infraestructura vial (ciclistas, peatones y vehículos motorizados) y, adicionalmente, facilita la implementación de medidas que propicien la reducción de la velocidad en tramos críticos. La *predictibilidad*, por su parte, contempla que cada elemento de la infraestructura vial debe ser construido y señalado de manera que sea de fácil entendimiento y cumplimiento para todos los actores en el corredor vial, lo que permite que las vías sean autoexplicativas.

Según Beltrán Rodat (2009), las autopistas o carreteras autoexplicativas deben tener “un diseño característico que las haga reconocibles de manera que el conductor sepa instintivamente cómo debe comportarse” (p. 12). Atributos como ancho de carriles, señalización horizontal y vertical, iluminación, separadores, entre otros, son características que dependen principalmente del tipo de vía por donde se realiza el desplazamiento, bien sea una calle, troncal, avenida o carretera y estarán en función de los flujos peatonales, ciclistas o vehiculares. En este sentido, los diseños de cada uno de estos atributos deben ser coherentes y brindar seguridad a todos los usuarios de la vía.

1.3.3. Enfoque de la Visión Cero de Suecia

Suecia se ha convertido en el referente mundial que más viene trabajando por sus programas y esfuerzos dedicados a evitar las muertes y heridos en accidentes de tránsito. Por eso, el parlamento sueco aprobó en 1997 el programa Visión Cero, como un enfoque filosófico en el cual se basaría la política de seguridad vial del país. Esta filosofía de bases éticas y morales sostiene que es inaceptable que alguien pierda la vida o sufra lesiones de gravedad en las vías suecas mientras **que** ejerce su derecho a moverse (Beltrán Rodat, 2009; Johansson, 2009, Rune et al., 2013; LA Network, 2017). Esta filosofía “solo puede llevarse a cabo si entre los responsables del diseño de las carreteras se tiene en cuenta que los humanos cometen errores” (Belin et al., 1997, p. 10) y que la consecuencia de estos errores no debe llevar a la pérdida de la vida, cualquiera que sea el modo de transporte utilizado en su desplazamiento; en este sentido, este enfoque fomenta el diseño y construcción de infraestructuras perdonadoras de los errores que cometan las personas (Beltrán Rodat, 2009; Johansson, 2009, Rune et al., 2013; LA Network, 2017)

El principio filosófico del programa Visión Cero de que “Ninguna muerte en el tránsito es aceptable, todas son evitables” ha sido acogido por diferentes organismos internacionales, países y ciudades del mundo, convirtiéndolo en soporte guía para formular políticas, planes, estrategias, y normatividad para mejorar la seguridad de todos los actores en la movilidad cotidiana en lugares como ciudad de México, Sao Paulo y Bogotá. Lo anterior implica que las infraestructuras de movilidad urbana deben rediseñarse y que las nuevas deben serlo en función de la protección de las personas, especialmente las menos protegidas en las vías, garantizando en todo momento la seguridad en sus desplazamientos.

Según Belin et al. (1997), la Visión Cero contempla que la responsabilidad por los accidentes debe ser compartida entre el equipo planificador o diseñador de todo el sistema y los usuarios de la vía. La responsabilidad se ha evaluado teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Que los planificadores del sistema, como última instancia del diseño, gestión y uso del sistema de transporte por carretera son solidariamente responsables de los niveles de seguridad de todo el sistema.
2. Que los usuarios de la vía están obligados y son responsables de acatar las normas de movilidad que los planificadores o diseñadores del sistema determinen.
3. Si los usuarios del espacio vial no cumplen con las reglas o normas de circulación (señalización) debido a la falta de conocimiento u otra situación que produzca un accidente, los diseñadores del sistema deberán tomar medidas adicionales para evitar que la gente muera o sufra heridas de gravedad [traducción de los autores] (p. 5).

En este contexto, el enfoque promueve la educación de todos los actores de la movilidad, la planeación, diseño y construcción de infraestructuras perdonadoras y sistemas inteligentes de tráfico para hacer monitoreo, vigilancia y control (LA Network, 2017). La distribución de la responsabilidad introducida por el enfoque filosófico de la Visión Cero puede ser una herramienta eficaz para acercarse a la consecución del objetivo de reducir sustancialmente los accidentes de tráfico. Sin embargo, para que esto tenga efectos a largo plazo es importante que la industria automotriz también haga parte integral del sistema (Nihlén Fahlquist, 2006). Este enfoque ha sido utilizado en algunas publicaciones sobre seguridad vial de instituciones como ITDP y WRI-CTSEmbarq, que han liderado la asistencia y asesoría técnica en el diseño de infraestructuras seguras para carriles exclusivos de sistemas BRT en diferentes países del mundo.

1.3.4. Enfoque de las medidas preventivas en seguridad vial

Esta visión, introducida por Rune et al. (2013), se basa en medidas de prevención compiladas en el *Manual de medidas en seguridad vial*, que trata sobre lo que se puede hacer para luchar contra los accidentes o hechos viales, aplicando la metodología de metaanálisis y constituye una auténtica *escuela de pensamiento* sobre investigaciones que conlleven a tomar las mejores decisiones relacionadas con políticas, programas y medidas de seguridad vial.

Asimismo, ofrece una revisión sistemática de más de 2000 estudios en temas de seguridad vial a partir de finales de 1960 y analiza un total de 128 medidas en seguridad vial agrupadas en 10 áreas diferentes (diseño y equipamiento vial, vehículos, control, supervisión, educación, atención a víctimas, entre otras), y 20 factores sobre los cuales se debe trabajar para evitar o reducir los accidentes viales.

Existen algunas medidas de control del tráfico (señales) que permiten la reducción de accidentes, como los cruces peatonales semaforizados, el control semafórico en las intersecciones, las señales de pare (STOP) en las intersecciones y las señales de información a los conductores (Rune et al., 2013, p. 368). Estas medidas son indispensables en los corredores de los BRT, debido a que la mayoría de los hechos viales suceden en las intersecciones con otros ejes viales y cruces peatonales.

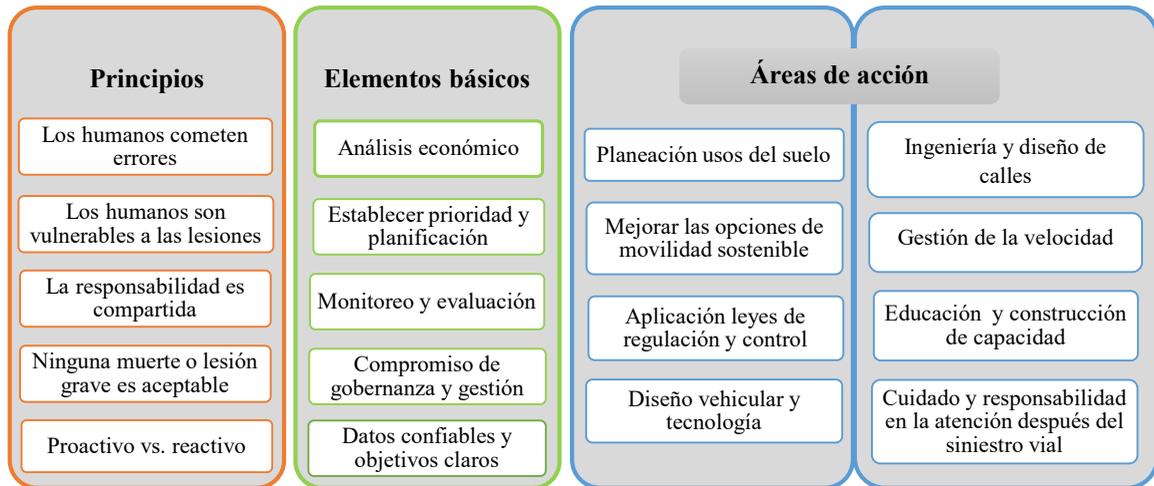
1.3.5. Enfoque de sistemas seguros para la seguridad vial de la OMS

La OMS (2017, p. 4) establece que el enfoque sistémico de seguridad vial parte del principio de que los seres humanos somos altamente vulnerables a las lesiones por el impacto de un choque y de que cometemos errores. Por ello, el trabajo debe enfocarse en la prevención de los siniestros, junto con comportamientos más seguros de todos los actores viales, con vehículos y motos que tengan más elementos de seguridad y que transiten a velocidades seguras, con carreteras y calles más seguras, de tal manera que, si alguno de los componentes del sistema falla, otras partes deberán proteger la vida de la persona.

Pero estos propósitos solo se lograrán si se da articulación y sinergia entre diferentes sectores: gobierno, políticas, transporte, salud, medios de comunicación, policía, industria, educación y sociedad civil, enfatizando en la aplicación de normas de circulación, licencias y registros, análisis de datos, investigación y evaluación, innovación, dirección, coordinación, vigilancia y control, como también información y educación. Este enfoque se ha enmarcado el propuesto por Duduta et al. (2015, p. 6), el cual hace énfasis sobre

los principios orientadores, los elementos en el cual se basa el enfoque y las áreas de acción en las cuales se debe enfocar el trabajo de un sistema seguro en la movilidad urbana e interurbana (Figura 1).

Figura 1.
Enfoque de los sistemas seguros



Fuente: elaboración propia con base en Welle et al., 2018.

Los principios en que se fundamenta este enfoque son tomados del modelo sueco, que parte del hecho de que los seres humanos cometen errores, que son vulnerables a las lesiones, que la responsabilidad es compartida entre todos los componentes del sistema, que es inaceptable la muerte o heridas graves en el ejercicio de la movilidad cotidiana y **que hay** actuar de manera proactiva antes que reactiva. En este sentido, se debe tener en cuenta la materialización de elementos básicos como el análisis económico, el establecimiento de prioridades y la planificación, el monitoreo y la evaluación, el compromiso de gobernanza y gestión y objetivos claros y datos confiables para la toma de decisiones. Los elementos centrales de este enfoque permiten definir las áreas en las cuales se debe actuar como, por ejemplo, la planeación en el uso de suelo, ingeniería y diseño de calles, mejorar las opciones de movilidad sostenible, gestión de la velocidad, aplicación leyes de regulación y control, educación y construcción de capacidad, tecnología y

diseño vehicular, cuidado y responsabilidad en la atención de emergencias después de un hecho vial.

1.3.6. Enfoque de sistemas seguros de la OCDE

En 2017, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), a través del Foro Internacional del Transporte (FIT), y con base en el enfoque de Visión Cero, planteó algunos de los principios de los sistemas seguros, haciendo énfasis en que la seguridad es una responsabilidad compartida entre todos los que intervienen en el sistema de movilidad: usuarios, constructores, diseñadores, operadores, legisladores, actores influyentes, defensores de la causa, empresas, responsables del cumplimiento y educadores.

Este enfoque de los sistemas seguros requiere la comprensión holística de las complejas interacciones entre comportamiento humano, infraestructura, vehículos y velocidades de operación. Por eso, se busca una combinación entre las partes individuales del sistema para alcanzar una seguridad mayor, de tal manera que, si falla una de las partes, entren a funcionar las otras para evitar los traumatismos que dejan los siniestros. En este sentido el FIT, hace una diferenciación entre la perspectiva tradicional en el abordaje del problema de la seguridad vial y el enfoque de los sistemas seguros. Así, mientras que el primero trata de comprender todos los factores que intervienen en un siniestro vial para luego proponer medidas y acciones para evitar su repetición, el segundo busca identificar las medidas para evitar dichos accidentes y que si llegasen a pasar no haya muertes o heridos graves. La Tabla 3 describe cada uno de estos enfoques.

Tabla 3.

Diferencias clave entre la visión tradicional y los sistemas seguros

Elementos relevantes	Enfoque tradicional	Enfoque de sistemas seguros
¿Cuál es el problema?	Tratar de prevenir todos los accidentes de tránsito	Evitar que los accidentes dejen víctimas fatales y heridos graves
¿Cuál es el objetivo adecuado?	Reducir el número de víctimas fatales y heridos graves	Cero víctimas fatales y heridos graves
¿Cuáles son los principales enfoques de planeación?	Reactivos a los incidentes y gradual para reducir el problema	Focalizar y tratar el riesgo proactivamente con enfoque sistémico, para construir un sistema vial seguro.
¿Qué causa el problema?	Usuarios de la movilidad no respetuosos de las normas.	Las personas cometen errores y son vulnerables en los accidentes. La variabilidad existente en la calidad y diseño de la infraestructura vial y las velocidades operacionales hace que los usuarios reciban orientación contradictoria sobre comportamientos seguros.
¿Quién es el responsable último?	El usuario individual de la vía pública	Responsabilidad compartida entre los individuos y los diseñadores del sistema de movilidad
¿Cómo funciona el sistema?	Con intervenciones aisladas (parche) no integral.	Los elementos del sistema se combinan para producir un efecto global mayor que la suma de los tratamientos individuales, de manera que si una parte del sistema falla, las otras partes entran a proporcionar protección.

Fuente: OECD; FIT, 2017

Con este enfoque podrán establecerse las acciones para diferentes áreas y componentes del sistema, principalmente en la planeación y usos del suelo, ingeniería y diseño del espacio vial, gestión de la velocidad, aplicación de las normas, control y regulación de las autoridades, creación de capacidades y educación, tecnología y diseño vehicular, cuidado y respuesta a la atención de emergencia posterior al accidente. En este contexto, Johnston (2010, p. 1178) argumenta que la clave de estos enfoques está en asegurar un compromiso *sociopolítico* de alto nivel, con mucha sinergia entre todos los actores y componentes del sistema, donde las instituciones puedan fijar objetivos ambiciosos de seguridad vial y adoptar una nueva filosofía de diseño, operación y control en el funcionamiento del sistema.

La OMS (2017), por su parte, considera que los eventos viales se pueden reducir ostensiblemente si hay voluntad política de los gobiernos para implementar medidas de control que, al mismo tiempo, se hagan respetar y sean acatadas por todos los actores de la movilidad cotidiana. Implementar un sistema seguro requiere de políticas públicas integrales e incluyentes que no solo se queden en el premio y castigo o enfoque conductual del actor humano, sino que contemple la exposición social al riesgo, la estructura urbana en el nuevo paradigma de movilidad sostenible, el entorno ambiental y la cultura ciudadana (Pico Merchán et al., 2011, p. 190). En suma, la característica primordial de un sistema así debe ser el de una dinámica libre de conflictos, donde “prevalece la vida de las personas y los elementos materiales se mantengan en estados adecuados, para que el sistema funcione de forma óptima es indispensable que los actores involucrados interactúen de manera coordinada” (Nazif, 2011, p. 11).

Por su parte, Nancy Leveson (como se citó en Tabasso, 2002) considera, que “Uno de los aspectos más importantes del diseño seguro es su simplicidad; un diseño simple tiende a minimizar el número de partes, modos funcionales e interfaces” (p. 43). Estas reflexiones de Leveson implican que una de las alternativas efectivas que puede reducir los riesgos de siniestros o hechos viales y tener cero muertes y heridos graves es que los sistemas seguros funcionen de manera simple y sencilla.

Algunos conceptos clave

La palabra «seguridad» proviene del latín *securitas* y se refiere a la inexistencia de amenazas en cualquier situación que no representa peligro, daños ni riesgo (RAE, 2021). En este sentido, se debe proteger a las personas para que estén menos expuestas a los peligros, y por ello las instituciones deben implementar medidas de control y regulación para prevenir conductas riesgosas que pongan en peligro la vida e integridad física de los individuos (Montero Bagatella, 2013; TransMilenio y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014b). Por otra parte, Maslow (1943) consideró a la seguridad en la segunda escala en la pirámide de jerarquía de las necesidades humanas. Según el autor, todo ser humano, después de satisfacer sus necesidades fisiológicas, quiere sentirse protegido en todas las circunstancias de su vida diaria, incluyendo seguridad personal, salud física y mental, trabajo, ingresos económicos, derecho a la propiedad privada, seguridad familiar, etc. Sin embargo, esta necesidad de seguridad descrita por Maslow ha venido sufriendo transformaciones en una *sociedad de riesgo* de un mundo globalizado, como lo argumenta Beck (2008), al considerar que “la seguridad es, como el agua y la electricidad, un bien de consumo administrado tanto pública como privadamente para obtener beneficios” (p. 26). De ahí que el paradigma liberal o idealista considere que la seguridad debe ser “un derecho humano universal” (Montero Bagatella, 2013, p. 213).

El concepto toma mayor relevancia cuando el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 1994) acuñó el término de *seguridad humana*, el cual busca que se le garantice al individuo seguridad personal, alimentaria, económica, medioambiental, comunitaria y política (p. 28). La seguridad vial debe ser vista, entonces, como parte de la seguridad humana, debido a que sus componentes se relacionan directa o indirectamente con cada una de las seguridades consideradas para el desarrollo humano. En este contexto, *El manual de operaciones del componente zonal del SITP* (TransMilenio y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014b) define los siguientes conceptos:

- a. *Seguridad industrial y salud ocupacional*: es aquella que busca garantizar la seguridad y salud de todos los trabajadores del sistema, propendiendo por reducir la exposición a los diferentes riesgos físicos, químicos, biológicos o

- psicosociales de las actividades administrativas, operacionales, de regulación y control propias de la prestación del servicio de transporte masivo.
- b. *Seguridad física*: se refiere a procedimientos y control de acceso a las instalaciones físicas como oficinas administrativas, centros de control y monitoreo, patios, zonas de mantenimiento y reparación de flota, entre otras, cuyo ingreso está restringido solo para personal o concesionario autorizado por la empresa.
 - c. *Seguridad pública*: es aquella que busca garantizar la convivencia y seguridad de la ciudadanía, de tal manera que no afecte la prestación del servicio a los usuarios del sistema por situaciones ajenas o de orden público, en las cuales no tiene control el sistema, tales como manifestaciones, bloqueos, actos delincuenciales, vandalismo, entre otras situaciones de orden público. La responsabilidad de esta seguridad está a cargo de la policía metropolitana de la ciudad o cualquier otra fuerza pública.
 - d. *Seguridad operacional*: está enfocada en la seguridad vial, la cual busca la prevención de cualquier tipo de accidente o siniestro vial para los diferentes usuarios y actores de la movilidad que interactúan con el sistema.

Para la OMS (2015), la seguridad vial son las acciones que se aplican para salvar vidas en las carreteras, en las que participan diferentes actores de la comunidad internacional, gobiernos y organizaciones de la sociedad civil. Por su parte, el Banco Mundial (BM), a través del *Fondo mundial para seguridad vial* (GRSF, por sus siglas en inglés) considera que la seguridad vial es un conjunto de medidas que se aplican haciendo hincapié

en el diseño y las infraestructuras de seguridad vial, la capacidad institucional, la legislación, la vigilancia policial y la aplicación de la ley, y el cambio de conducta de automovilistas y peatones, así como en automóviles más seguros y respuestas efectivas tras los accidentes (BM, 2015).

El Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP) define la seguridad vial como aquella que involucra el diseño vial (intersecciones seguras, calles completas y pacificación del tránsito), la regulación y aplicación de normas que protejan a los usuarios más vulnerables, así como el refuerzo en

la aplicación de la ley para incentivar la conducción adecuada de vehículos mediante mejores dispositivos y capacidades de las autoridades responsables; también promueve la cultura de la movilidad mediante la intermodalidad y el uso cordial de las calles, fortaleciendo la gestión de las instituciones responsables y el mejoramiento de la recolección de datos para detectar causas de eventos de tránsito que permitan elaborar estrategias de prevención (Institute for Transportation and Development Policy [ITDP], 2015).

Por otro lado, Sustainable Mobility for All (2017) considera que

la seguridad vial se relaciona con la prevención de muertes, pero también incluye la prevención de lesiones graves y daños a la propiedad. El alcance del objetivo de seguridad abarca los diferentes medios de transporte, aéreo, fluvial, marítimo y terrestre (carreteras, férreo), para todos los usuarios, incluidos el transporte de pasajeros y mercancías. Debido a que la mayoría de las muertes y lesiones graves en los accidentes de tránsito se dan en las vías urbanas e interurbanas, las cuales superan ampliamente a los otros medios, es inaplazable destinar los esfuerzos por reducir las grandes variaciones en el riesgo entre los usuarios de las vías, especialmente peatones, ciclistas y motociclistas de dos ruedas, que son los más vulnerables y que tienen mayor riesgo de todos [traducción de los autores] (p. 68).

Pico Merchán et al. (2011) también exponen sus planteamientos sobre la seguridad vial. Para ellas

La seguridad vial debe ser concebida como un sistema social que se caracteriza de manera holística, el cual comprende una variedad de actividades o procesos en los que participan diferentes actores que interactúan entre sí en ambientes físicos, mediante la utilización de medios de transporte motorizados o no motorizados (p. 192).

Como se evidencia, las conceptualizaciones de seguridad vial utilizan diferentes terminologías o posturas epistemológicas para referirse a los sucesos y efectos devastadores de los fallecidos y heridos que deja el ejercicio de la movilidad cotidiana en los entornos urbanos, periurbanos, rurales, de las carreteras y calles del mundo y que se ha convertido en epidemia global. Para entender las diferentes acepciones, la Tabla 4 describe cada uno de los términos utilizados en la literatura y por las organizaciones que trabajan por mejorar la seguridad vial.

Tabla 4.
Conceptos epistemológicos en seguridad vial

Elementos clave	Conceptos epistemológicos	Accidentes de tránsito	Hechos de tránsito	Eventos viales	Siniestros viales	Colisión o choque (crash)	Suceso lesivo
Definiciones	<p>“Es un suceso eventual que altera el orden regular de las cosas” (RAEL, 2016).</p> <p>Colisión de tráfico que incluye una connotación de aleatoriedad (Rune et al., 2013, p. 5).</p> <p>Es un suceso no previsto que tiene como resultado un daño (OMS, 1957).</p>	<p>Cosa que sucede (RAEL, 2016).</p> <p>Son aquellos que pueden prevenirse.</p>	<p>Eventualidad, hecho imprevisto o que puede acaecer (RAEL, 2016).</p> <p>Sucesos que pueden tener orígenes en factores deterministas o causales probabil</p>	<p>Suceso que produce un daño o una pérdida material considerables (RAEL, 2016)</p> <p>Daño provocado por un hecho de tránsito que se pudo haber evitado y prevenido en el marco de la responsabilidad y la autorregulación (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017)</p>	<p>Es un hecho que se observa o sucesos prevenibles y predecibles. (NHTSA, 1997)</p>	<p>Circunstancias que rodean la aparición de una lesión (Ruiz, 2011, p. 84)</p>	
Referencias teóricas que soportan el concepto	<p>(ONU, 2011)</p> <p>(Rune et al., 2013)</p> <p>(OECD, 2016)</p> <p>(Duduta et al., 2015)</p>	<p>Visión Zero de Suecia</p>	<p>(ITDP, 2015)</p>	<p>Tabasso (2002) (BD, 2016).</p> <p>OISEVI (2016).</p>	<p>(OMS-OPS, 2001)</p>	<p>Ruiz (201, p.84)</p>	
Áreas de las ciencias en que se utilizan	<p>Ingeniería de tránsito, Estadística, salud pública, entre otras.</p>	<p>Estadística, movilidad sostenible, entre otras.</p>	<p>Matemática, Estadística, movilidad sostenible.</p>	<p>Medicina forense, economía, transporte, entre otras.</p>	<p>Matemática, estadísticas, física, entre otras.</p>	<p>Epidemiología, medicina, física, entre otras.</p>	

Fuente: elaboración propia.

Al examinar los conceptos y posturas epistemológicas de la Tabla 4, no se debe perder de vista que todos los acontecimientos que a diario dejan miles de lesionados y fallecidos alrededor del mundo podrían evitarse o prevenirse si se actúa de manera coordinada entre todos los componentes del sistema de seguridad en las vías, para lo cual se requiere una visión holística y sistémica, con la promoción de una cultura de movilidad compartida e intermodal, el uso cordial de las calles, diseño de infraestructuras incluyentes que protejan a los más vulnerables, con regulación, control institucional y mejor recolección de datos para elaborar estrategias de prevención (ITDP, 2015). Estos lineamientos deben servir de orientadores para trazar políticas públicas en torno a la situación de inseguridad vial en las calles. En el siguiente apartado se hace una revisión general del panorama regional y mundial de la seguridad vial, la otra pandemia silenciosa que no tiene tanto cubrimiento en los medios de comunicación, pero que cada año cobra la vida de más de 1.35 millones de personas y deja entre 40 y 50 millones más lesionadas alrededor del mundo.

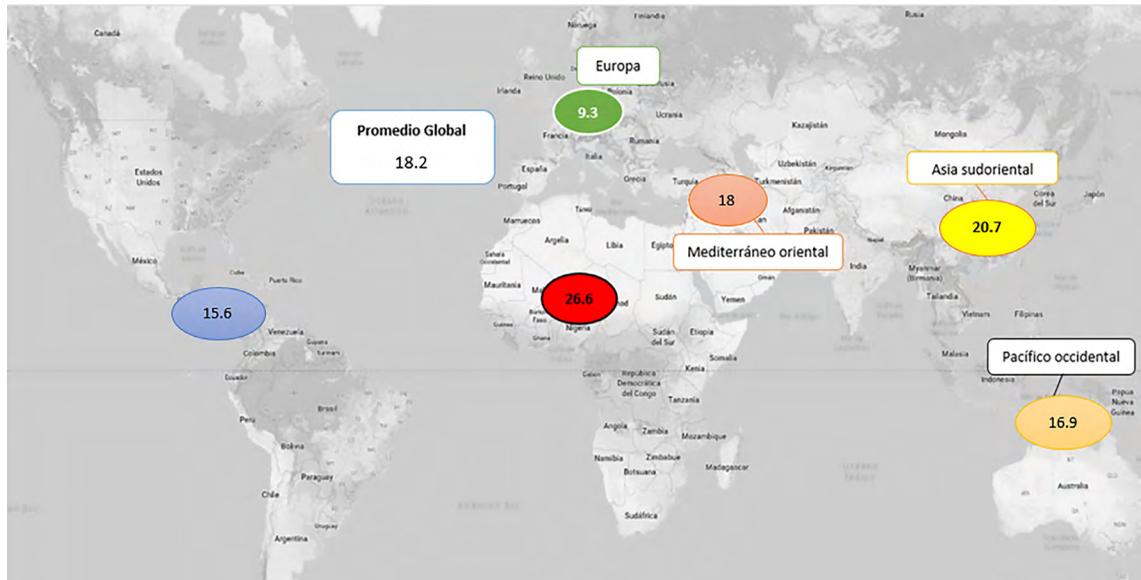
1.4. Panorama global y regional de la seguridad vial

El último informe de la OMS (2018) sobre los efectos de los siniestros viales da cuenta de la problemática de la siniestralidad que se ha convertido en una pandemia global, dejando cada año cerca de 1.35 millones de personas fallecidas en las vías y convirtiéndose en la primera causa de muerte de la población entre 5 y 29 años. Asimismo, los actores más vulnerables de la movilidad, como peatones, ciclistas y motociclistas son los más afectados por esta pandemia, por lo que se requiere que todos los países tomen acciones para cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODS) de reducir a la mitad las muertes en las calles y carreteras al 2030 (OMS, 2018).

En la Figura 2 se muestran las tasas de mortalidad, donde se evidencia que la región africana tiene la mortalidad más alta con 26.6 /100 000 habitantes, en comparación con las otras cinco regiones, pese a que tiene las tasas de motorización más bajas; por el lado de las Américas, la tasa de fallecidos por hechos de tránsito está por debajo del promedio mundial, pero 6.3 muertos por encima de la tasa de los países europeos (OMS, 2018, p. 6).

Figura 2.

Tasas de fallecidos por cada 100 000 habitantes por regiones



Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps y OMS, 2018.

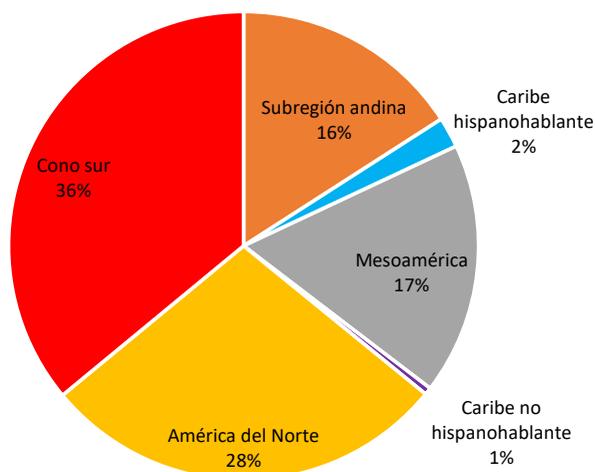
Por su parte, en el continente americano los siniestros o hechos viales se han convertido en una de las principales causas de muerte en el grupo etario comprendido entre los 15 y los 24 años. Si bien las tasas de mortalidad están por debajo de la media mundial, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2015, p. 3) están por encima de la región de África. Así, en países como Guayana la cifra es de 39.8 por cada 100 000 habitantes, en República Dominicana de 38.5, en Ecuador 30.6 y en Paraguay de 27.7. En tanto que en Canadá la cifra es de 5.8 y en Estados Unidos de 9.9, una diferencia muy grande, teniendo en cuenta que estos países tienen tasas de motorización comparables con los de la región europea.

Esta situación no deja de ser preocupante para los gobiernos locales y organismos internacionales, ya que es inadmisibles e intolerable que se pierdan vidas humanas en siniestros viales que se pueden evitar. De las 150 000 defunciones que en promedio dejan los siniestros viales cada año en las seis subregiones en las que la OPS ha dividido el continente americano, los resultados muestran que la zona sur (Argentina, Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay)

es donde hay mayor cantidad de muertes con el 36 % del total, seguido por Norte América (Estados Unidos y Canadá) con el 28 %, luego Mesoamérica (México, Belice, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) con el 17 % y la subregión Andina (Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, Bolivia) aporta el 16 % de las defunciones (Figura 3).

Figura 3.

Proporción de defunciones registradas por subregión en América



Fuente: elaboración propia con datos de OPS, 2015.

La siniestralidad en las vías urbanas e interurbanas llevó a que en el 2010 la ONU lanzara el programa “Decenio por la seguridad vial 2011-2020” y recientemente se promulgó la resolución A/74/L.86, la cual establece un segundo Decenio 2021-2030 que busca la implementación de sistemas seguros en la movilidad para reducir a la mitad las muertes y heridos graves por siniestros viales. Estos lineamientos buscan contribuir a la implementación de planes de seguridad vial a nivel municipal, departamental y nacional, para mitigar este flagelo en todos los modos de transporte y favorecer actividades coordinadas a nivel mundial, soportadas y orientadas bajo cinco pilares: “Gestión de la seguridad vial, vías de tránsito y movilidad más seguras, vehículos más seguros, usuarios de vías de tránsito más seguros y respuesta tras la ocurrencia de los accidentes” (ONU, 2010, p. 12).

2. Gestión y control de la seguridad en los Buses de Tránsito Rápido (BRT)

2.1. Los BRT en el contexto global

El transporte público de pasajeros es un servicio esencial que debe garantizarse diariamente a todos los habitantes de las zonas urbanas y suburbanas, con sistemas de transporte sostenibles, seguros, asequibles, eficientes, accesibles e incluyentes, para que puedan satisfacer su deseo de moverse y cumplir con sus actividades de trabajo, estudio, negocios, ocio, entre otras. Bajo esta premisa deben concebirse las soluciones más apropiadas para atender las demandas de los pasajeros y su crecimiento en el futuro. Como respuesta a esta necesidad surgen los sistemas BRT, para posibilitar que millones de personas alrededor del mundo puedan viajar, especialmente en países con bajos ingresos per cápita, ubicados en su mayoría en las regiones de las Américas (Figura 4) y Europa, Asia, África y Oceanía (Figura 5).

Figura 4. 

Panorama mundial de los sistemas BRT por regiones: las Américas

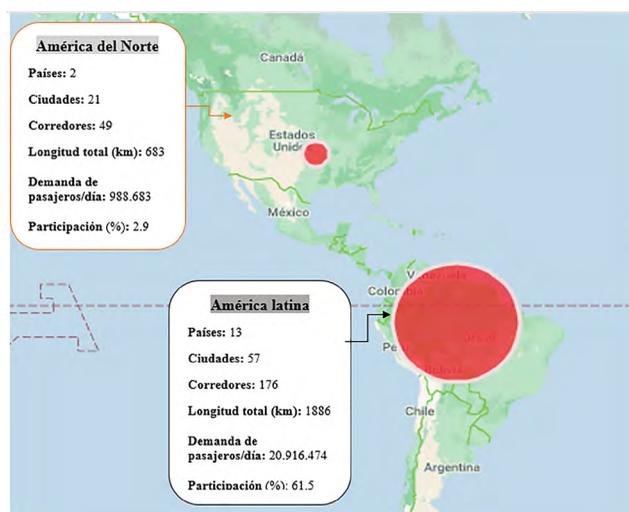
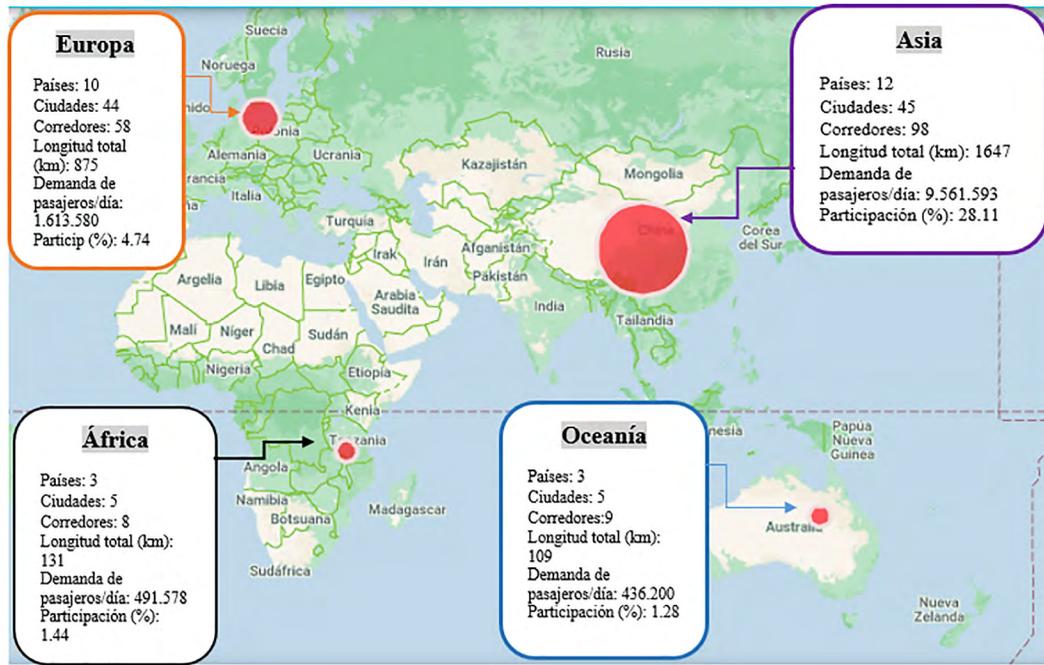


Figura 5.

Panorama mundial de los sistemas BRT por regiones: Europa, África, Asia y Oceanía



Fuente: elaboración propia con datos de BRT: Centre of Excellence: EMBARQ. Versión 3.58. 23 de marzo de 2021

Los BRT se han convertido en los últimos años en una de las soluciones más implementadas en diferentes ciudades del mundo, especialmente en países latinos y asiáticos, gracias a sus bondades y beneficios sociales, económicos, así como por su eficiencia y rápida implementación (Asprilla Lara et al., 2017). Sin embargo, la prestación de este servicio público se ve afectado por fenómenos como ingresos sin el pago del pasaje o “colados”, baja frecuencias de rutas, siniestralidad vial, déficits financieros por la pandemia del COVID-19, entre otras (Tabla 5).

Tabla 5.

Características de algunos sistemas BRT en Latinoamérica

Ciudad o área metropolitana / Sistema BRT	Población metrópolis en miles	Longitud línea (km)	Líneas	Cantidad estaciones	Pasajeros/día	Flota vehicular	Tarifa pasaje en dólares
URBS Curitiba-Brasil	3175	84	7	113	561 000	Total 193 buses Biarticulado 160 Articulado 33	0.86
TransMilenio Bogotá-Colombia	9600	113	13	144	2 200 000	Total 1760 buses Biarticulado 260 Articulado 1500	0.69
Metrobús Ciudad de México	20138	125	6	177	1 065 000	Total 548 buses Biarticulado 41 Articulado 507	0.36
Macrobus Guadalajara-México	4500	16	1	27	127 000	Total buses articulados 41	0.42

Fuente: elaboración propia con base en BRT; Centre of Excellence; EMBARQ. Versión 3.18. 4 de octubre de 2016.

Las primeras soluciones de transporte público masivo urbano se dieron con los sistemas ferroviarios (metros y trenes ligeros) a mediados del siglo XIX, cuando en 1863 entró en servicio la primera línea de metro con locomotoras de vapor en Londres. Desde entonces, Nueva York, Berlín y París (Islas Rivera y Zaragoza, 2007) han sido pioneras en la implementación de estos sistemas que desde comienzos del siglo XX se fueron introduciendo en Asia, África, Oceanía y Latinoamérica. Sin embargo, la imposición a mediados del siglo XX del modelo de desarrollo urbano del paradigma de la *modernidad*, que se basa en la teoría del funcionalismo, en **que** cada espacio o zona de la ciudad debe tener una función o debe servir para una actividad específica (industria, comercio, vivienda, entre otros), separando las funciones cotidianas, generó el nacimiento de grandes aglomeraciones en el mundo a las que hoy se les llama áreas metropolitanas y a su vez “ciudades lejanas” (Miralles-Guasch y Marquet Sardà, 2013).

El funcionalismo contribuyó al surgimiento de ciudades dispersas, segregadas, excluyentes, con baja conectividad en movilidad y basadas en el incremento del uso del vehículo particular. La industrialización automotriz iniciada por Henry Ford en 1908 cambia la historia moderna con la instalación de procesos de producción de vehículos en serie, con lo cual varias ciudades, como Los Ángeles y Houston, entre otras, priorizaron la motorización individual sin considerar las consecuencias negativas. En este sentido, Miralles-Guasch y Cebollada i Frontera (2003) consideran que “El coche es altamente selectivo en su uso, mientras que los medios alternativos tienen un carácter más igualitario” (p. 15).

En efecto, en medio de los grandes desafíos que enfrentaba la movilidad urbana por el crecimiento desmedido del automóvil, aunado al desabastecimiento energético por la escasez del petróleo a finales de los años 70 (Preciado, 2011), y de la convulsionada situación de aquella época, la administración municipal de Curitiba, Brasil, sorprendió en 1974 al mundo con la creación del primer sistema masivo de transporte público basado en buses de alta capacidad, a los que se les llamó BRT. La idea fue del exalcalde y urbanista Jaime Lerner, cuando a comienzos de la década de 70 la ciudad debatía la implementación de un sistema basado en rieles denominado Tren ligero (LRT, por sus siglas en inglés) como única alternativa de solución a la problemática de transporte y movilidad, pero que no fue posible implementar porque no se consiguió el aval financiero de las instituciones multilaterales de crédito.

Curitiba empezó entonces a buscar “alternativas que cumplieran las mismas funciones de los sistemas férreos en términos de eficiencia y rapidez, pero a menores costos por kilómetro y tiempo de construcción” (Lindau et al., 2010, p. 274). Es así como nacen los sistemas tipo BRT con carriles exclusivos y segregados de los demás modos de transporte, que solucionaron la problemática del transporte público en la ciudad, a pesar de la poca disposición de recursos. Según Lindau et al. (2010, p. 274), la exitosa implementación de este sistema por la planeación integrada en el territorio y al buen uso del suelo en los cuatro decenios anteriores, permitió que la ciudad se convirtiera en uno de

los referentes mundiales por el diseño de la Red Integrada de Transporte (RIT), basada en sistemas tipo BRT para el transporte de pasajeros. Lo anterior sirvió de inspiración para que otras urbes de la región y del mundo adoptaran este modelo y lo imitaran con algunos cambios (Duarte y Rojas, 2012, p. 1).

La BRT es una tecnología híbrida de movilidad que ha permitido el transporte masivo de pasajeros con las ventajas de los sistemas férreos, pero a un costo considerablemente menor; es además un sistema flexible que combina autobuses de alta capacidad con estaciones, carriles exclusivos, plataformas de abordaje a nivel del bus y pago de la tarifa por fuera del bus. También ha propiciado el desarrollo urbanístico de las ciudades, transformando y revitalizando sectores deprimidos y abandonados, convirtiéndolos en espacios y áreas habitables, accesibles e incluyentes (Romero Pérez y Díaz Padilla, 2009, p. 33).

Los sistemas BRT han revolucionado la manera en que se planean los proyectos tradicionales de transporte público de pasajeros, obligando la migración hacia procesos de planeación integrales que tengan en cuenta el ordenamiento territorial, el uso mixto del espacio, la participación ciudadana o cocreación, la voluntad de los actores políticos y la disponibilidad de recursos para su financiación. Lo anterior hace que estos procesos de planeación sean complejos, ya que se requiere de estudios cuantitativos y cualitativos que permitan formular y evaluar con mayor certeza la concepción y puesta en operación de estos modelos de transporte masivo o semimasivo, los cuales tienen características particulares en cada ciudad (Romero Pérez y Díaz Padilla, 2009; ITDP, 2017).

2.2. Los sistemas BRT en Latinoamérica

Si bien los BRT continúan su evolución y desarrollo en todo el mundo, la región de América Latina cuenta con el mayor número de ciudades que han implementado estos sistemas, lo que la convierte en la zona del hemisferio con mayor demanda de viajes, llegando a movilizar más de 20 millones pasajeros por día, que corresponde al 61.5 % del total de pasajeros en el mundo; en seguida está Asia con el sistema en 45 ciudades de 12 países, con más de 98

corredores, con una longitud de 1647 km y que moviliza más de 9.5 millones de pasajeros diarios; en Europa, por su parte, el sistema se ha implementado en 44 ciudades de 10 países, aunque solo alcanza a movilizar un poco más de un millón 700 mil pasajeros por día, lo que equivale a solo el 4.74 % de las seis regiones, cuya demanda supera ya los 34 millones de pasajeros por día en 177 ciudades del mundo, a lo largo 398 corredores con una longitud de 5331 km (BRT; Centre of Excellence; EMBARQ. Versión 3.58. 23 de marzo de 2021).

Como ya se dijo, Latinoamérica es pionera en la implementación de la tecnología BRT y es referente mundial porque es donde más se han desarrollado los sistemas. En octubre de 2017, 54 ciudades de 13 países habían habilitado este modo de transporte, movilizandoo 19.7 millones de pasajeros diarios a lo largo de corredores troncales que sumaban 1757 km de longitud. Brasil encabezaba la lista con 21 ciudades y 752 km de corredores, la mayor longitud construida en el mundo. Después venía México con 11 ciudades y una longitud de 379 km. Es de resaltar que, tres años después, con corte en abril de 2021, los países de América Latina todavía mantenían el liderazgo en el uso de estos sistemas, superando los 20.9 millones diarios de pasajeros movilizadoss en unos corredores cuya longitud llegaba ya a 1886 km de vías exclusivas en 57 ciudades (tres más que en 2017) y con Brasil todavía liderando el ranking con 22 ciudades (una más que en 2017), mayor número de pasajeros movilizadoss y con la red más extensa (Tabla 6).

Tabla 6.
Panorama de los sistemas BRT en la región de Latinoamérica

País	Pasajeros transportados/día	Porcentaje pasajeros transportados/día	Cantidad de ciudades	Longitud (km)
Brasil	10 729 415	51.29 %	22	812
Colombia	3 071 541	14.68 %	7	225
México	2 659 137	12.71 %	12	416
Argentina	1 717 000	8.2 %	3	76
Ecuador	1 055 000	5.04 %	2	117
Perú	704 803	3.36 %	1	26
Chile	476 800	2.27 %	2	105

Pais	Pasajeros transportados/día	Porcentaje pasajeros transportados/día	Cantidad de ciudades	Longitud (km)
Venezuela	240 778	1.15 %	3	42
Guatemala	210 000	1.0 %	1	24
El Salvador	27 000	0.12 %	1	6
Uruguay	25 000	0.11 %	1	6
Panamá	Sin Reporte	Sin Reporte	1	5
Trinidad y Tobago	Sin Reporte	Sin Reporte	1	25
Total	20.916.474		57	1886

Fuente: BRT: Centre of Excellence; EMBARQ. Versión 3.58. 23 de marzo de 2021.

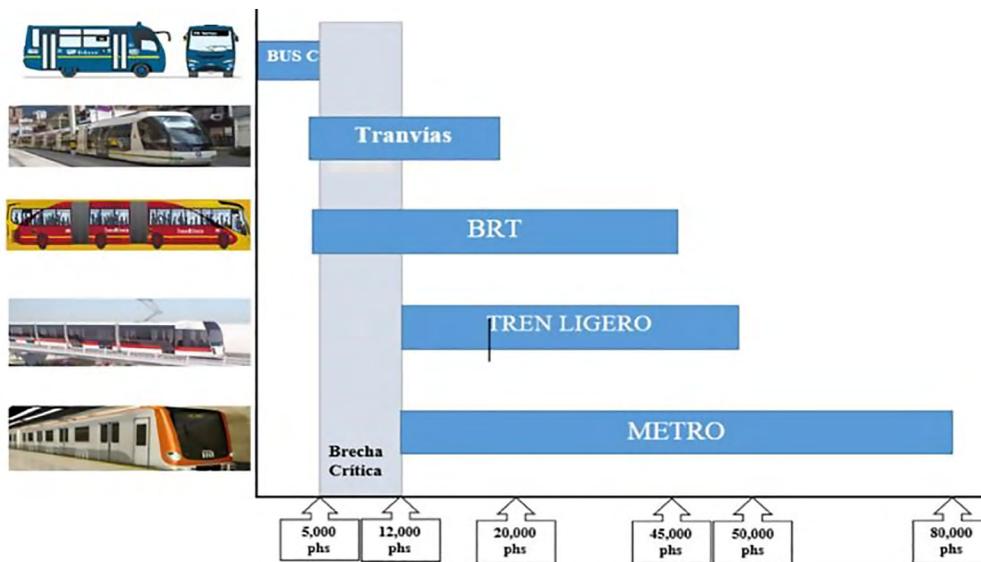
Cada país, región o ciudad ha implementado los sistemas BRT de acuerdo con sus características particulares y según sus propios procesos de planeación y estructuración de proyectos, teniendo en cuenta los aspectos económicos, técnicos, políticos, urbanísticos, ambientales, culturales y sociales, evaluando y analizando los componentes tanto internos como externos que interactúan en la puesta marcha del modelo de transporte, dentro de los cuales se destacan la coordinación interinstitucional, lo organizacional y administrativo, la infraestructura y el equipamiento lo operacional y lo tecnológico, la comunicación y atención al usuario, el control y recaudo, el entorno urbano y otros actores de la movilidad.

En este punto es importante mencionar que según las diferentes tecnologías en que Vuchic (2009) ha clasificado los sistemas para el transporte de pasajeros, se ha planteado un debate entre los sistemas BRT y los sistemas férreos, que históricamente habían sido la solución de transporte masivo y que, según la Union Internationale des Transports Publics (UITP, 2014), en 2013 cerca de 148 ciudades del mundo tenían un sistema de metro que transportaba alrededor de 150 millones de pasajeros por día. Además, los sistemas férreos tienen una mayor capacidad de movilización de pasajeros, aunque hay menos ciudades que cuentan con estos sistemas masivos, frente a las que tienen BRT, que solo alcanzan a movilizar una quinta parte de pasajeros/día de los que movilizan los metros y trenes ligeros.

En este debate existen muchos argumentos, desde posiciones políticas, pasando por aspectos técnicos, económicos y financieros hasta sociales, ambientales, operacionales y nivel de servicio, entre otros. En estas condiciones la capacidad relativa de los sistemas de movilidad masiva de personas por hora sentido-phs (Figura 6), oscila entre la máxima de los autobuses convencionales y la mínima requerida por los sistemas férreos (Díaz Padilla, 2009, p. 52).

Figura 6.

Capacidad de los sistemas de movilidad masiva de pasajeros hora-sentido (ph-s)



Fuente: elaboración propia con datos de Romero Pérez y Díaz Padilla, 2009.

La Figura 6 muestra que los sistemas BRT son una alternativa de movilidad masiva de pasajeros que llegan a transportar entre 3000 a 45000 phs, en diferentes condiciones de operación y utilización (ITDP, 2010); por su parte, los trenes ligeros o LRT (por sus siglas en inglés) llegan a mover entre 12 000 a 50 000 phs y los metros pesados hasta 80 000 phs (Romero Pérez y Díaz Padilla, 2009, p. 53). Estos sistemas férreos se justifican cuando se sobrepasa la “brecha crítica” y existan demandas por encima de los 12 000 phs. Por otro lado, al comparar la capacidad de pasajeros transportados por hora sen-

tido (phs) con los costos por kilómetros en la implementación de cada uno de estos sistemas masivos, encontramos que los sistemas BRT llegan a movilizar cantidades de pasajeros parecidas a las de los sistemas férreos, con una relación de costo mucho más favorable, la cual puede oscilar entre 4 a 10 veces menos que los sistemas de rieles, bien sea LRT o metros, lo que ha permitido que muchas ciudades en el mundo adopten los sistemas BRT, por las diferentes ventajas comparativas que tienen, especialmente de costos, estos sistemas de buses articulados, super articulados y biarticulados (Wright y Hook, 2010; Hidalgo y Muñoz, 2010).

Según Hidalgo (2005) si en un análisis beneficio/costo, en condiciones hipotéticas, se comparan las alternativas de transporte masivo, teniendo en cuenta aspectos como espacio requerido, flexibilidad, impacto en el tráfico, integración modal, nivel de servicio, seguridad, emisiones contaminantes y confiabilidad “la implantación de un tren ligero genera 1.78 veces de estos beneficios netos, un metro 1.80 veces y un sistema BRT 2.16 veces, [donde] los resultados del análisis arrojan que la mejor alternativa para las condiciones y supuestos utilizados es la organización de un sistema de transporte masivo de buses de tránsito rápido” (p. 97).

Sin embargo, no es posible perder de vista que la capacidad de transporte de los buses es limitada y en algún momento será necesario dar el salto tecnológico. Cuando la carga de alguno de los corredores de buses organizados, como el del Sistema TransMilenio, supere los 40 000 pasajeros/hora, y no sea posible generar capacidad adicional en corredores paralelos o con esquemas operativos que aprovechen tecnologías de información, será oportuno evaluar la introducción de una línea de metro sea elevada o subterránea (Hidalgo, 2005, p. 102).

Pero la pregunta es si los sistemas BRT pueden sustituir a los sistemas férreos (tren ligero, metro). Para Muñoz y Paget-Seekins (2016) “A veces sí, pero la mayoría de las veces, no” porque estos son modos que pueden complementarse perfectamente entre sí. Los metros, por ejemplo, pueden proveer viajes rápidos de distancias largas, debido a que las paradas son más limitadas o restringidas y permiten atender altos volúmenes de demanda de

pasajeros; con los BRT, por otro lado, se puede aprovechar la flexibilidad de los autobuses, los cuales pueden cambiar rutas entre la oferta de corredores, facilitando viajes sobre el corredor sin paradas (Winsted y Rogala, 2016). Lindau et al. (2014), por su parte, al comparar algunos modelos de sistemas de transporte masivos que operan actualmente en el mundo, y analizando las variables de productividad (pasajeros/día/km) y de velocidad operacional promedio (km/h), encuentran que algunos BRT son más productivos para transportar pasajeros que los metros, aunque a menores velocidades, y que, en muchos de los casos, los BRT son comparativamente más rápidos que los LRT.

Según Malouff (2011) es poco probable que los BRT lleguen a parecerse a los metros, porque se los considera inherentemente de menor valor y se necesitaría cumplir con muchas características para poder producir una línea de transporte de alta calidad. Por su parte, Suárez Montoya (2018), a partir de un análisis comparativo de costos de operación entre metro y TransMilenio, concluye que el costo de un tren por pasajero es inferior al costo del articulado y del biarticulado de TransMilenio y que el mantenimiento de la infraestructura es mucho más barato en un sistema metro.

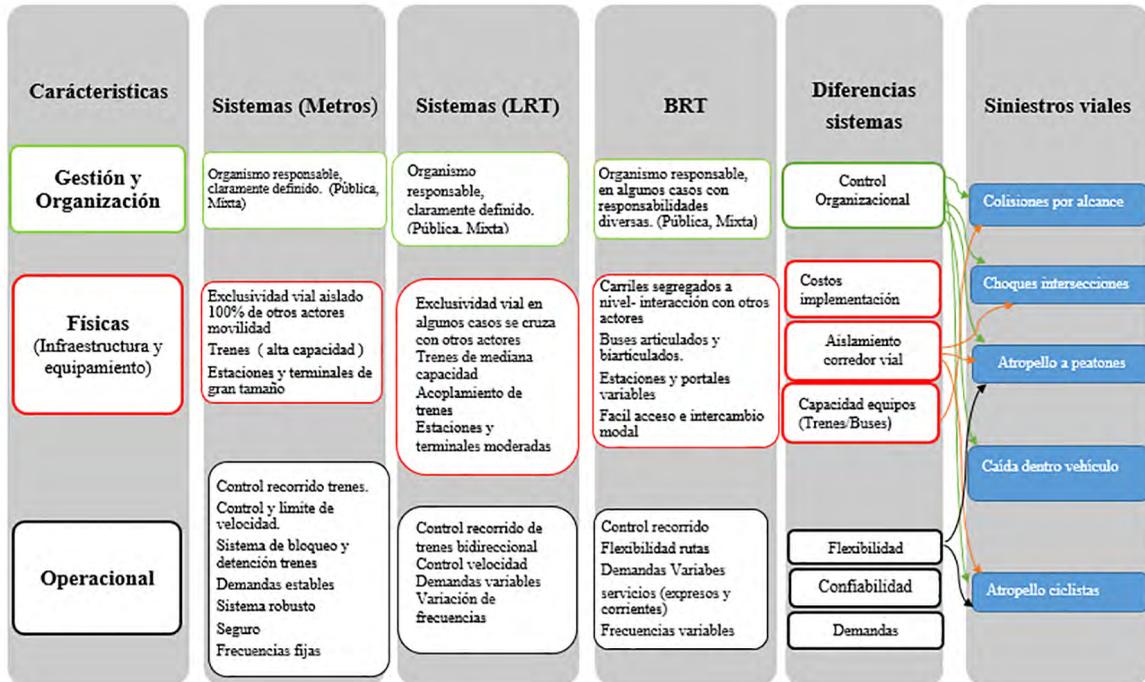
De acuerdo con Pardo (2009), las discusiones sobre el tipo de tecnología se han dado a la luz de argumentos que tienen que ver con la capacidad del sistema (phs) y su sostenibilidad financiera a largo plazo, así como con la duración de la construcción e implementación, costos financieros, subsidios requeridos para su operación, la mano de obra local o extranjera, uso de espacio en superficie, beneficios ambientales, tiempos de viaje, seguridad, entre otros, y por eso argumenta que:

Ningún sistema de transporte masivo es perfecto para todos los casos, ya sea basado en buses, trenes subterráneos o elevados o tranvías. Las decisiones sobre un sistema de transporte público se deben tomar con base en consensos, informaciones imparciales y coherentes, y en el apoyo mutuo entre partes involucradas (p. 23).

Ciertamente, un análisis comparativo entre ambos sistemas, teniendo en cuenta los siniestros viales más comunes y considerando características de gestión, organización, institucionales, físicas (infraestructura y equipamiento),

de información y comunicación, operacionales y tecnológicas, deja ver algunas diferencias que favorecen a los sistemas férreos, especialmente a los metros, debido que estos no tienen interacción con ningún otro actor de la movilidad, pues su infraestructura es cerrada y totalmente segregada, además no es compartida con ningún otro modo de transporte (Figura 7 y Figura 8).

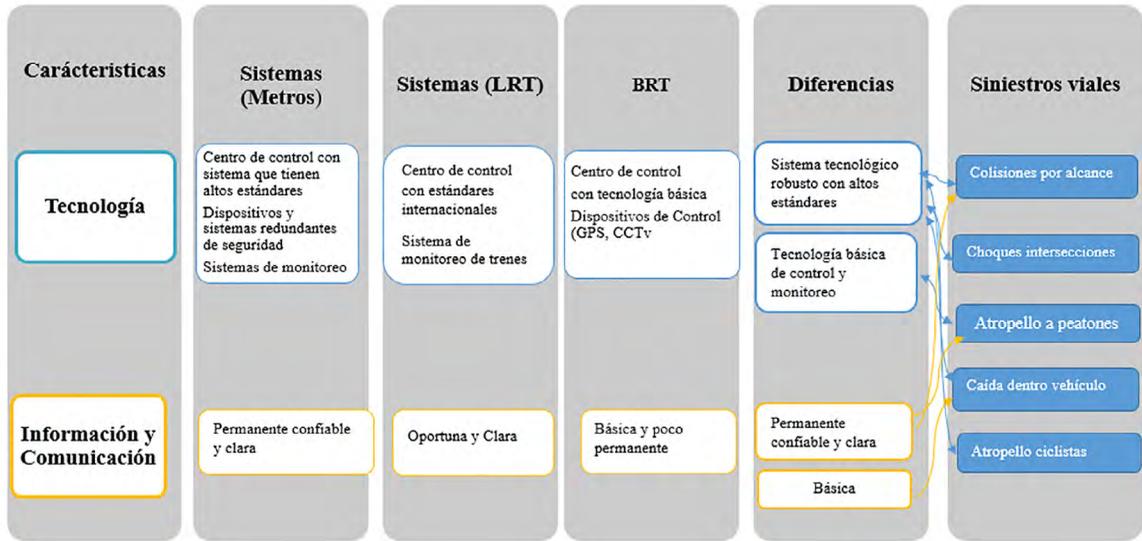
Figura 7.
Particularidades de los sistemas masivos de transporte de pasajeros I



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.

Particularidades de los sistemas masivos de transporte de pasajeros II



Fuente: elaboración propia.

Hasta ahora, las evidencias muestran que la solución para el transporte público masivo de pasajeros en los centros urbanos deben ser intermodal e integrada y que los sistemas férreos (metro pesado), por su gran capacidad de phs, deben ser la columna vertebral que articule e integre todos los demás tipos de movilidad; sin embargo, la decisión entre una tecnología de transporte masivo y otra debe soportarse en los requerimientos de los usuarios, la demanda de pasajeros, la seguridad y fiabilidad del servicio, así como en los requerimientos del gobierno local y las posibilidades económicas y financieras de cada ciudad.

2.3. La seguridad en los sistemas de transporte tipo BRT

La seguridad es un elemento primordial de cualquier modo de transporte de pasajeros y es uno de los indicadores más importantes para evaluar la eficacia del servicio del sistema masivo BRT. Las evaluaciones ex post realizadas a troncales de buses de tránsito rápido en algunos corredores del sistema en Bogotá y Melbourne han demostrado que después de su implementación se

redujeron los siniestros en estas arterias viales (Bocarejo et al., 2012; Goh et al., 2013). Sin embargo, otros estudios realizados en las ciudades de Puerto Alegre, Brasil, y Nueva Delhi, India, donde se implementaron sistemas BRT, encontraron que la frecuencia de accidentes se incrementó por la debilidad en su diseño (Adriazola et al., 2012; Diogenes y Lindau, 2010). Según estudios realizados por Duduta et al. (2015), en cinco ciudades de Latinoamérica, India y Australia donde se han implementado Sistemas BRT, los accidentes, lesionados y fallecidos se redujeron en estos corredores de manera considerable y los impactos sobre la seguridad fueron notorios en las ciudades evaluadas (Tabla 7).

Tabla 7.

Resultados de la evaluación del impacto de la seguridad en sistemas BRT de cinco ciudades

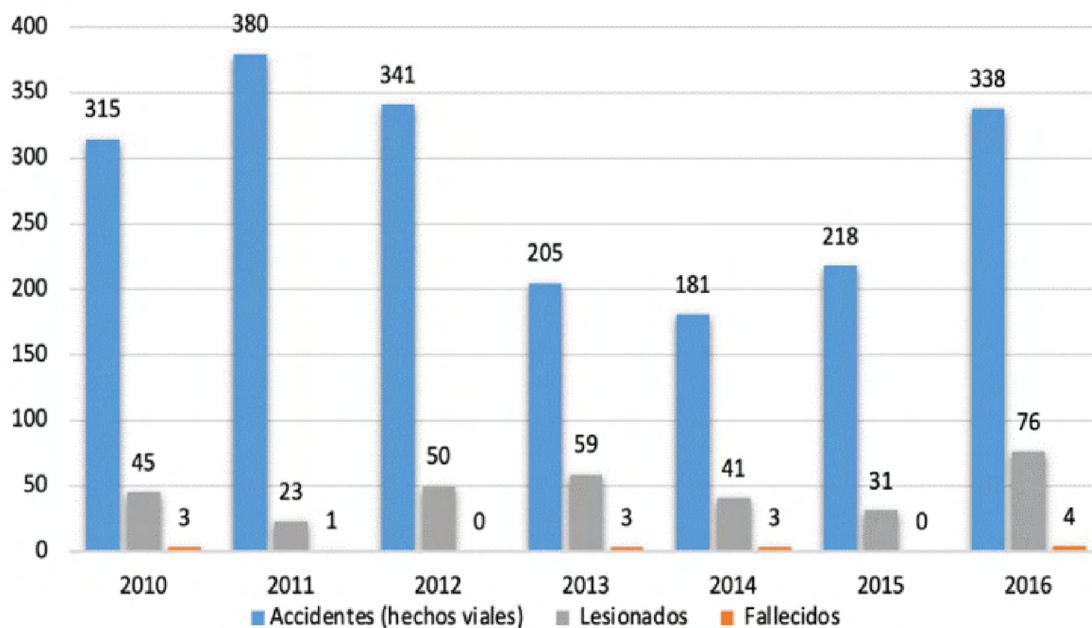
Ciudad	Cambio en sistema de buses	Impactos en seguridad		
		Choques	Lesionados	Fatalidades
Ahmedabad	Tránsito informal a un solo carril corredor central BRT	- 32 %	- 28 %	-55 %
Ciudad de México	Tránsito informal a un solo carril corredor central BRT	+ 11 %	- 38 %	-38 %
Guadalajara	Carriles de autobuses prioritarios en la acera a BRT central con carriles de adelantamiento en las estaciones	-56 %	- 69 %	- 68 %
Bogotá	Vía de autobús central a BRT multicarriles	n/a	- 39 %	- 48 %
Melbourne	Servicio convencional a carril prioritarios buses con reductores y señal	- 11 %	- 25 %	- 100 %

Fuente: Duduta et al., 2015.

La tabla anterior indica que la ciudad con los mejores resultados fue Guadalajara. Se destaca además la reducción del 100 % de las fatalidades en la ciudad de Melbourne. Y aunque no se aprecia en la tabla, el estudio muestra

que en la línea troncal denominada Calzada Independencia, por donde circulan los articulados del sistema Macrobus de Guadalajara, ha habido varios siniestros viales en los últimos años, pese a haber sido uno de los corredores que, en su momento, tuvo mayor reducción de accidentes. En la Figura 9, se evidencian los accidentes ocurridos en el periodo 2010-2016 en dicho corredor, donde también se reflejan los heridos y fallecidos en la operación del sistema.

Figura 9.
Accidentes o hechos viales en el sistema Macrobus 2010-2016



Fuente: elaboración propia con datos suministrados a los autores por Macrobus, 2016.

La Figura 9 evidencia pues que en el sistema Macrobus hay un promedio de 282 accidentes y 46 heridos al año. También es de resaltar que entre 2012 y 2015 no hubo ninguna víctima mortal en que estuvieran involucrados los buses articulados de Macrobus. La Figura 10 incluye información de los sistemas BRT de las ciudades de Bogotá (TransMilenio), Ciudad de México (Metrobus), Guadalajara (Macrobus), Delhi (BRTS), Ahmedabad (Janmarg), Curitiba (RIT), y Porto Alegre y Belo Horizonte (Busways).

Figura 10.

Tipos de usuarios víctimas en sistemas de autobús BRT



Fuente: elaboración propia con datos de Duduta et al., 2012.

Las cifras indican que en los corredores de estos sistemas masivos de pasajeros se deben implementar medidas que contribuyan a brindarle mayor seguridad a los actores más vulnerables, los peatones, que no tiene elementos adicionales de protección. En ese sentido, los resultados del estudio de Duduta et al. (2015) recomiendan adoptar cuatro acciones puntuales a lo largo de los corredores de los BRT: recortar las caminatas en 10 metros para los peatones reduciría los atropellos en un 26 %; ubicar las estaciones en el separador central reduce los choques en un 28 %; prohibir los giros a la izquierda la reducción sería del 20%, la eliminación de un carril para el tráfico mixto reduce los hechos viales en un 28%.

Sin embargo, estas medidas se enfocan únicamente en los componentes de infraestructura y equipamiento, dejando de lado otros componentes que también podrían incidir en los siniestros viales.

2.4. Investigaciones sobre seguridad vial en sistemas BRT

Los accidentes de tránsito en los corredores viales de los sistemas masivos BRT de las diferentes ciudades del mundo afectan la prestación del servicio y retrasan su operación. Por ello, en los últimos años, algunos institutos, universidades y centros de investigación en transporte (ITDP, WRI, GRSF, SIBRT,

ANSV) se han dedicado a investigar cómo garantizar la seguridad a los usuarios de los sistemas BRT. Hay que mencionar que el Centro Estatal de Investigación en Vialidad y Transporte, CEIT, de Jalisco, había publicado en 2009 un compendio en 5 volúmenes sobre la planeación de sistemas BRT, recopilando las memorias del proyecto Macrobús de la ciudad de Guadalajara. La publicación hace énfasis en cada una de las etapas y fundamentos de los sistemas BRT, en los volúmenes del diseño operacional y físico y referencia aspectos de seguridad vial en este modo de transporte masivo

Asimismo, el interés mundial por estos sistemas, y especialmente en países de la región latinoamericana, llevó a la publicación de la *Guía de planificación de sistemas BRT*, que resume el proceso de planificación de estos sistemas en seis componentes: 1) preparación del proyecto, 2) diseño operacional, 3) diseño físico, 4) integración, 5) plan de negocios y 6) evaluación e implementación (Wright y Hook, 2010), en donde los componentes operacional y físico enfatizan en la seguridad que debe brindar el sistema para que sea exitoso. El manual de seguridad vial, *Highway Safety Manual* o HMS, editado por la AASTHO en 2010, ha dedicado una parte especial a la gestión de procesos en la seguridad de las carreteras, buscando que sean cada vez más seguras, introduciendo medidas para controlar y reducir la ocurrencia y gravedad de siniestros viales en las actuales redes de carreteras urbanas e interurbanas; además plantea métodos muy útiles para la identificación de sitios de mejoramiento, el diagnóstico de la carretera, la selección de contramedidas, la evaluación económica de las medidas de mejoramiento y la priorización en su implementación.

Por su parte, WRI (antes Cts-Embarq) publicó en 2012 *Seguridad vial en corredores de autobús: lineamientos para integrar la seguridad peatonal y vial en el planeamiento, diseño y operación de corredores BRT y carriles para autobuses*. Y en 2014, la guía *Traffic Safety on Bus Priority Systems: Recommendations for Integrating, Safety into the Planning, Design, and Operation of Major Bus Routes*, que recoge la inspección en seguridad vial realizada a algunos sistemas BRT en el mundo, entre ellos, TransMilenio, al igual que un modelo de

periodicidad de la ocurrencia de siniestros en sistemas de países como México, Brasil y Colombia, y algunas auditorías en seguridad vial hechas a corredores BRT en diferentes ciudades. En 2013, la fundación MAPFRE, a través del Instituto de Seguridad Vial, publicó el *Manual de medidas de seguridad vial*, que recoge un metaanálisis de más de 2000 investigaciones de los cinco continentes, desde la década de los 60, que plantea cerca de 128 medidas de prevención para la seguridad vial. Por otro lado, en 2014 el ITDP generó la guía *The BRT Standard*, una herramienta de evaluación anual de buenas prácticas para los sistemas BRT de clase mundial. La evaluación considera diferentes categorías que incluyen elementos internos y externos de la tecnología BRT y califican los sistemas con medallas de distinción y reconocimiento por el buen desempeño, de acuerdo con una escala de valores que se establece cada año.

También en 2014, como respuesta a la preocupación por los accidentes diarios en los corredores, la Agencia Nacional de Seguridad Vial de Colombia (antes Fondo de Prevención Vial), editó la *Guía de lineamientos en seguridad vial y peatonal para diseño y operación de sistemas de transporte masivo en buses*. Este documento ha dado lineamientos a los sistemas BRT destacando los factores más relacionados con la seguridad vial, tales como “el humano, vía y entorno, y vehículo, con una visión integral de interrelación y dependencia entre estos tres factores para una mejor seguridad” (Fondo de Prevención Vial, 2014).

La SiBRT, una organización latinoamericana de sistemas integrados, publicó en 2014 sacaron el *Libro blanco de la movilidad urbana sustentable de América Latina*, en el que se recogen algunos documentos técnicos y objetivos de cooperación para tener sistemas más eficaces y que no generen impactos medioambientales (autobuses con bajas o cero emisiones). Asimismo, la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México publicó en 2014 el *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad*.

En Colombia, con la resolución 001885 de 17 de junio de 2015, del Ministerio del Transporte se expidió el *Manual de señalización vial. Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclo rutas de*

Colombia, que tiene un apartado exclusivo para los corredores de los buses de tránsito rápido. En 2016, Muñoz y Paget-Seekins publicaron la compilación *Restructuring Public Transport through Bus Rapid Transit (La reestructuración del transporte público a través de BRT)*, en el que dedican un capítulo espacial a los temas de seguridad vial en los sistemas BRT.

Por último, en 2017 el ITDP publicó la actualización de la *Guía de planificación para sistemas BRT*, en 8 volúmenes que abordan todos los elementos y componentes que debe tener un sistema BRT, desde la preparación del proyecto, pasando por la operación, comunicación y mercadeo, plan de negocios, tecnología, infraestructura, integración. El último volumen orienta sobre cómo es el funcionamiento, incluyendo un manual de colaboración. Está disponible para consultas en línea. La mayoría de las investigaciones abordan de manera general la seguridad en los sistemas masivos de transporte tipo BRT, a excepción de las publicaciones de WRI y el FPV, las cuales han profundizado en el componente infraestructural, haciendo énfasis en su diseño y construcción, de tal manera que brinden seguridad a todos los usuarios de estos sistemas masivos.



3. Caracterización del sistema TransMilenio

3.1. Antecedentes del TransMilenio

El primer sistema de transporte masivo de Bogotá fue el tranvía, que ya en 1910 permitía a los habitantes desplazarse con mayor rapidez y menores tiempos de viaje.

Por su fácil uso, sencillez en la operación e identificación de las rutas por colores, les permitía a los diferentes usuarios acceder al servicio sin mayores complicaciones, lo que facilitaba su uso a las personas que tenían bajo nivel de escolaridad (Asprilla Lara y Rey Gutiérrez, 2012, p. 27).

En 1948, durante los episodios de *El Bogotazo*, el tranvía sufrió daños en su infraestructura por la quema y destrucción de sus vagones, lo que llevó a su liquidación en 1951. En las décadas siguientes y hasta finales de los 90, la operación del servicio de pasajeros quedó básicamente en manos de pequeñas empresas privadas, las cuales tenían asignadas cerca del 80 % de las rutas que cubrían las diferentes localidades de la ciudad capital. Sin embargo, la administración de las rutas, que la antigua Secretaría de Tránsito de Bogotá delegó en esas empresas privadas, tuvo como consecuencia el deterioro en la prestación del servicio, mayor congestión del tráfico por la sobreoferta, especialmente en horas pico, una competencia desmesurada entre conductores, que se conoce como “guerra del centavo”, aumento de la siniestralidad y contaminación ambiental, entre otras cosas, por el mal estado de los vehículos y de las vías. A todo esto, debe sumarse ~~la falta de~~ una institucionalidad débil, que obedecía a intereses políticos y a la manipulación del gremio transportador que paralizaba la ciudad para exigir aumentos en las tarifas, con el

consiguiente empeoramiento en el servicio para los millones de usuarios del transporte público (Asprilla Lara y Rey Gutiérrez, 2012).

En este contexto, solo fue con la formulación del plan “Formar Ciudad”, bajo la administración del alcalde Antanas Mockus, entre 1995-1998, que se contempló un sistema integrado para la prestación del servicio de transporte para atender las demandas de movilidad de la ciudad. Así entonces, con el financiamiento de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA, por sus siglas en inglés) se realiza en 1996 un estudio denominado “ Plan Maestro de Transporte Urbano de Santa Fe de Bogotá en la república de Colombia”, cimiento del Plan Maestro de Transporte Urbano, que, a su vez, estableció la implementación de un sistema masivo de transporte público que garantizara una prestación del servicio de calidad a todos los residentes de la capital; sin embargo, la propuesta inicial de la JICA solo se desarrolló a medias, ya que sufrió una serie de cambios, ajustes y modificaciones por parte del mismo gobierno distrital.

Uno de dichos cambios fue la decisión de no construir en la primera fase los deprimidos en las intersecciones de la avenida Caracas, principal troncal del sistema. Solo sería a finales de 2015, debido a la alta demanda de pasajeros que ya tenía esta línea troncal, que se consideró construirlos, buscando mejorar la eficacia la seguridad vial del sistema; sin embargo, esta propuesta se quedó en el papel. En este sentido, el ITDP (2018) considera que, si se quiere que los buses articulados y biarticulados mantengan una alta frecuencia, deben implementarse medidas que le den prioridad en las intersecciones a los sistemas BRT, por los posibles conflictos con los vehículos de motor, ciclistas, peatones y demás actores viales.

“Por la Bogotá que Queremos 1998-2001”, el plan distrital del siguiente alcalde, Enrique Peñalosa, concibió la idea del actual sistema TransMilenio, que a través del acuerdo 04 de 1999, emanado por el Concejo distrital, autorizaba a la Alcaldía Mayor a crear y constituir una sociedad anónima por acciones, de carácter público, formalizada el 13 de octubre de 1999. El sistema entró en operación el 18 de diciembre de 2000, cuando los primeros autobuses

articulados, de color rojo y con capacidad para 160 pasajeros, circularon por los carriles segregados de las troncales Caracas, Calle 80 y Autopista Norte, corredores de la fase 1 proyectada para el sistema masivo de transporte en Bogotá (Figura 11).

Figura 11.

Avenida Caracas con avenida Comuneros. Sistema TransMilenio de Bogotá



Fuente: archivo personal, 2018.

3.2. Planeación y diseño

Finalmente, después de haber evaluado muchos otros sistemas, Bogotá adoptaría el modelo de Curitiba, Brasil, con algunas modificaciones para adaptarlo a las condiciones propias de la ciudad. Durante el proceso de planeación, diseño y construcción del sistema TransMilenio la participación ciudadana fue muy escasa, por no decir que inexistente, y casi podría decirse que, ante la urgencia de un sistema masivo de transporte que resolviera sus problemas de movilidad diaria, la población acogió el modelo sin apenas objeciones.

En este contexto, el gobierno central asumió el financiamiento de hasta el 70 % de los costos del proyecto hasta completar las cuatro fases (Tabla 8) diseñadas y planeadas para desarrollarse en un periodo de 15 años, cuya ejecución final sería en 2016. Dicho compromiso quedó consignado en los documentos del Consejo Nacional de Política Económica y Social, CONPES, 2999 de 1998, 3093 del 2000, 3260 de 2003, 3368 de 2005 y 3367 de 2010. El Documento CONPES 3093 estableció los porcentajes que tanto el distrito capital como la nación colombiana debía aportar, de acuerdo con lo establecido en la política de participación para la ejecución proyectos de transporte¹ (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2000).

Tabla 8.
Fases proyectadas para el sistema TransMilenio

Etapas	Troncales del sistema	Longitud (km)	Costos de construcción (millones de dólares)
1 1998-2001	Calle 80	10	42.6
	Avenida Caracas	21	69.0
	Autopista Norte	10	42.3
2 2001-2006	Avenida de las Américas	16.7	94.8
	Avenida Suba	11	43.2
	Carrilera Ferrocarril Sur	12	69.2
	Avenida de los Cerros	7.9	32.1
	Carrera Décima	13	50.3
	Carrera Séptima	11	43.2
	Avenida Comuneros (calle 6)	4.9	21.5
	Avenida San Juan Bosco (calle 170)	9.7	38.6
	Avenida el Dorado (calle 26)	9.7	38.4
NQS	35.5	134.2	

1 Ley 310 de 1996. "Política de participación nacional en el desarrollo de sistemas de transporte". Artículo 2. "La Nación y sus entidades descentralizadas por servicios cofinanciarán o participarán con aportes de capital, en dinero o en especie, en el Sistema de Servicio Público Urbano de Transporte Masivo de Pasajeros, con un mínimo del 40 % y un máximo del 70 % del servicio de la deuda del proyecto, siempre y cuando se cumplan los requisitos establecidos en la norma".

Etapas	Troncales del sistema	Longitud (km)	Costos de construcción (millones de dólares)
3 2006-2011	Avenida Boyacá	35	128.4
	Avenida Calle 22 sur (Primero de Mayo)	14.5	55.6
	Avenida Centenario (calle 13)	14.4	55.4
	Adecuación Av. Caracas (aumentar capacidad TM)	21	355
4 2011-2016	Avenida Villavicencio	10.3	40.6
	Avenida Carrera 68	16	60.9
	Avenida José C. Mutis (calle 63)	8.7	34.8
	Avenida Ciudad de Cali	30.9	113.7
	Avenida Torca (calle 200)	6.8	28.2
	Avenida Longitudinal de Occidente	48	206.8
	Adecuación Autopista Norte	10	171.2
	Total de la infraestructura	387.9	1970.00

Fuente: elaboración propia con datos de DNP, 2000.

Con la asignación de los recursos el Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, inicia el proceso de estudios y diseño de ingeniería básica. Posteriormente se abre la licitación pública para la construcción de la infraestructura para la fase I del sistema, que comprendía los corredores troncales de dos carriles segregados en ambos sentidos sobre la avenida Caracas con ramal al Tunal y avenida Jiménez o eje ambiental (24 km), avenida Calle 80 (10 km) y autopista Norte (10 km), para un total de 44 km iniciales de los 388 km proyectados por la JICA. No obstante, pese a haber sido orgullo de los bogotanos y símbolo de la ciudad, TransMilenio ha sido víctima de su propio éxito. Veinte años después de su puesta en operación, el sistema ha tenido que sortear diferentes crisis, empezando por fallas en la estructura del pavimento (daño de las losas de concreto de los carriles exclusivos) de las troncales de la fase I, cuya reconstrucción ha generado cuantiosos costos, además de la deficiente prestación del servicio, demoras en las frecuencias de rutas, congestionamiento en estaciones, fiabilidad, seguridad, el fenómeno de los “colados”, vendedores ambulantes, falta de inversión para completar las fases planificadas, protestas

permanentes que interrumpen el servicio, déficit financiero por la pandemia del COVID-19, entre otras; todas estas dificultades, sumadas a la presión por el incremento progresivo de la demanda de pasajeros (en especial en el corredor de la avenida Caracas, el de mayor registro de viajes de todo el sistema) no han permitido la consolidación del sistema.

3.3. Elementos contractuales

El servicio de transporte de pasajeros en Colombia está normado por la ley 105 de 1993, que contiene todos los lineamientos del sector transporte, y cuyo artículo 2 contempla que la *seguridad* de las personas será la principal prioridad que se debe garantizar y, por eso, el artículo 3 señala que “corresponde a las autoridades competentes, exigir y verificar las condiciones de seguridad, comodidad y accesibilidad que garanticen la prestación de un servicio eficiente”. En este sentido, el Estatuto General de Transporte, adoptado mediante ley 336 de 1996, tiene como propósito definir los criterios reguladores para las diferentes modalidades de transporte, en tanto que el Decreto 3109 de 1997 define las características y condiciones para prestar el servicio en sistemas masivos de transporte. Como es apenas de esperar, TransMilenio cumple con estos lineamientos.

Por otro lado, ya desde su mismo diseño y planificación se estableció la inclusión de concesionarios privados en la operación, recaudo, administración de recursos y demás elementos complementarios para el funcionamiento del sistema en la ciudad, que habían de escogerse por licitación pública y que debían cumplir con los todos los requisitos técnicos, legales, financieros, organizacionales, entre otros, establecidos en las normas de contratación estatal y plasmados en los pliegos y términos de referencia. Estos procesos se materializaron con la firma de diferentes contratos de concesiones con periodos fijos de 12 años y formas de pago e incentivos de remuneración claramente establecidos que, en el caso de los operadores de buses, se estableció que sería por kilómetros recorridos y no por pasajeros transportados. Los valores por pagar se determinarían por medio de fórmulas que incluirían diferentes

variables, como combustibles y lubricantes, neumáticos, mantenimiento, gastos administrativos, rentabilidad del operador, entre otras.

3.4. Agentes del sistema

La sociedad anónima TransMilenio S.A. tiene como función gestionar el sistema, velar por la ejecución de acciones coordinadas entre los actores del sistema, planear las rutas, frecuencias y velar por la prestación de un servicio de transporte eficiente, seguro, sostenible, incluyente y continuo (TransMilenio, 2017). A partir del Decreto 309 del 2009 se le asignan nuevas competencias a TransMilenio, para que sea el ente gestor y coordinador del SITP en la ciudad, garantizando no solo el servicio troncal de pasajeros, sino también el zonal. Por esto, diferentes operadores de empresas privadas cumplen diferentes actividades, que buscan el adecuado funcionamiento operacional del sistema.

Los principales agentes involucrados se describen a continuación:

- a) Operadores de corredores troncales de las fases I, II y III, y operadores de servicios de buses zonales que circulan en corredores viales no troncales: estos operadores son los responsables de prestar el servicio de acuerdo con lo pactado en la concesión, en donde uno de los compromisos es la adquisición de la flota de buses, la contratación y capacitación de conductores, personal de mantenimiento, gestión de patios, talleres, entre otras. Los operadores troncales de la fase I son: Metrobús S.A, Ciudad Móvil, S.A, Express del Futuro S.A, SI 99 S.A. Los de la Fase II son: Transmasivo S.A., Conexión Móvil S.A., Somos K S.A. Los responsables de la Fase III son: Consorcio Express S.A.S y GMÓVIL S.A.S. (Cabe anotar que esta investigación está enfocada exclusivamente en los operadores de buses troncales de la fase I, en especial los que prestan el servicio en la troncal avenida Caracas).
- b) Concesionario del Sistema Integrado de Recaudo, Control, Información y Servicio al Usuario (SIRCI): operador a cargo de los subsistemas de recaudo, información al usuario, control de flota, integración de informa-

ción y servicio al usuario. Esta responsabilidad actualmente está a cargo del consorcio Recaudo Bogotá S.A.S.

- c) Fiduciaria Banco de Occidente: juega un papel clave en el sistema, ya que es la encargada de administrar los fondos y recursos con los cuales se financia todo el SITP. Esta fiducia es la encargada de redistribuir los recaudos, de conformidad con lo establecido en los diferentes contratos de concesión con los agentes del sistema.
- d) Casa Limpia, Consorcio VISE Ltda., Publimilenio, Transmedia, Market Medios Comunicaciones S.A.: estos agentes prestan el servicio de aseo, mantenimiento y vigilancia en las estaciones y portales del sistema, al igual que la publicidad que se vende dentro del sistema.

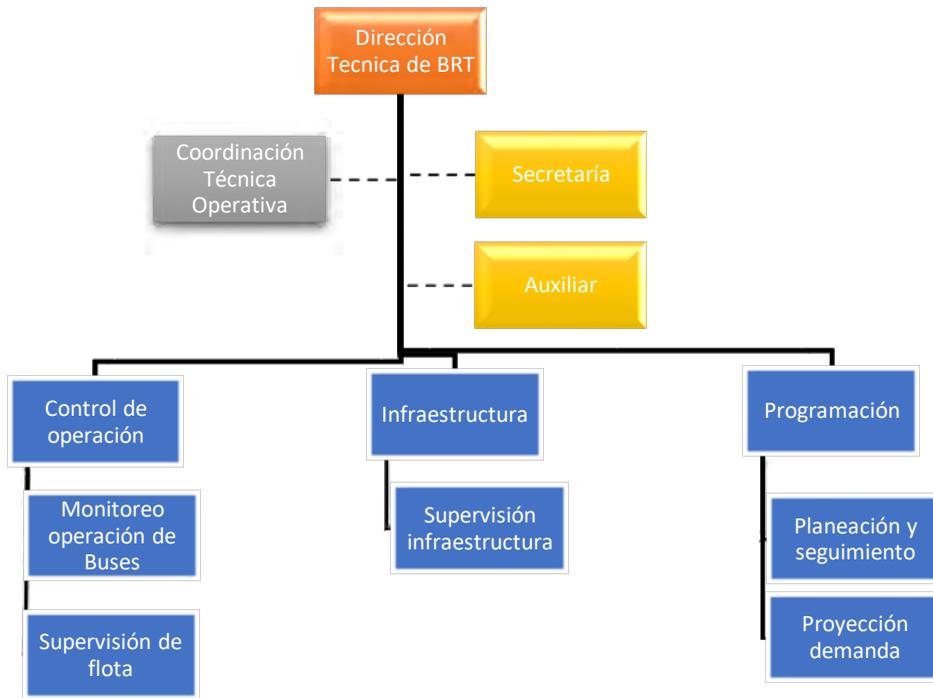
3.5 Gestión y organización institucional

La organización institucional de TransMilenio, modificada por el Acuerdo 001 de 2015, se estructuró para ejercer la gestión, planeación, organización, regulación y el control operacional del sistema masivo de pasajeros, de conformidad con los lineamientos normativos conferidos por los acuerdos 6 de 1998 y 4 de 1999 del Concejo Distrital, y el Decreto Distrital 831 de 1999. La planta de personal la constituyen aproximadamente 450 funcionarios, entre trabajadores oficiales y empleados públicos, organizados bajo un esquema de tres niveles directivos: alta gerencia, gerencia de integración y direcciones de control de la operación.

La Dirección Técnica de BRT es responsable del control institucional de operación del sistema TransMilenio (Figura 12); esta dirección tiene diferentes dependencias para control y monitoreo de la operación, supervisión de la flota e infraestructura, programación, planeación y proyección de la demanda, para garantizar seguridad y fiabilidad al usuario, previendo siempre las interacciones que tiene el sistema con otros actores de la movilidad en sus corredores troncales.

Figura 12.

Organigrama institucional de control del sistema TransMilenio



Fuente: elaboración propia con base en Manual de Operaciones del Sistema, (TransMilenio y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011).

Desde el inicio de operaciones del sistema, TransMilenio no ha sido ajeno a los cambios y dinámicas políticas de las diferentes administraciones, desde la primera alcaldía de Enrique Peñalosa (1998-2000), pasando por Antanas Mockus (2001-2003), Luis Eduardo Garzón (2004-2007), Samuel Moreno (2008-2011), quien fue retirado de su cargo en 2011 por el caso de corrupción conocido como “el carrusel de la contratación” y sustituido por Clara López (2011-2012); hasta llegar a Gustavo Petro (2012-2015), y el segundo mandato de Enrique Peñalosa (2016-2019), impulsor y creador del sistema. Finalmente, con la llegada de Claudia López Hernández a la alcaldía (2020-2024) se espera que el sistema mejore la prestación del servicio y siga creciendo con dos nuevas troncales de las avenidas 68 y Ciudad de Cali, las cuales estarán integradas a la primera línea del metro pesado.

Durante los 20 años de funcionamiento, el sistema ha tenido cerca de 16 gerentes, entre encargados y nombrados en propiedad, con mayor rotación en el periodo de estudio entre 2010-2016, cuando tuvo 8 gerentes, uno cada 10.5 meses en promedio. Esto demuestra inestabilidad institucional y falta de continuidad de las políticas, planes, programas y objetivos. Mención aparte merece la falta de coordinación política entre mandatarios distritales y nacionales para cumplir con la ejecución y puesta en operación de las fases programadas y aprobadas en los diferentes documentos CONPES de movilidad para la ciudad, generando congestión, mala percepción del servicio y baja satisfacción del usuario.

TransMilenio ha perdido favorabilidad año tras año, desde 49 % en 2008, hasta 15 % en 2014. La explicación pasa por la falta de inversión en expansión y ampliación, pero también descuido en la gestión. La satisfacción por el servicio de TransMilenio tuvo su mayor caída entre 2013 y 2014, pasando de 29 % a 15 % (Cámara de Comercio de Bogotá y Universidad de los Andes, 2017, p. 51).

3.6. Componentes del sistema TransMilenio

El sistema que presta el servicio de transporte urbano a los bogotanos tiene tres componentes que garantizan su seguridad operacional: humano (conductores, pasajeros y otros); infraestructura y equipamiento (estaciones, portales, pavimento, señalización, puentes, aceras, entre otros); y tecnológico (vehículo, sistemas de comunicación, recaudo y control).

3.6.1. Componente humano

Integra a los trabajadores de los concesionarios privados que prestan el servicio de operación de los buses en el sistema troncal. Dichos concesionarios deben garantizar operarios aptos y capacitados para llevar a cabo las tareas y compromisos establecidos en los manuales de operación y contratos de concesión suscritos con el ente gestor. Según TransMilenio (2018), las tres fases el sistema troncal cuentan actualmente con 9 operadores privados que

tienen contratados y entrenados alrededor de 4518 conductores y cerca de 1893 técnicos que le hacen mantenimiento diario a la flota. También laboran alrededor de 850 personas que hacen trabajos de limpieza a las estaciones y portales cuando termina el horario de operación.

Como el componente humano es fundamental para la operación y seguridad de todos los pasajeros, todo el recurso humano que participa en la operación del sistema debe encontrarse apto y cumplir con los requisitos exigidos para el buen desarrollo de sus funciones. Por consiguiente, ningún operario o funcionario puede desempeñar sus funciones bajo los efectos de alcohol, sustancias psicoactivas o cualquier otro elemento que cambie sus condiciones psíquicas y físicas.

Luis Fernando Cortés, coordinador técnico operativo de TransMilenio, manifestó que:

Los conductores del sistema, adicional a los requisitos definidos por las normas de tránsito para la conducción de buses, deben acreditar requisitos para vincularse y permanecer activos en el sistema. El conductor debe recibir la suficiente capacitación de manera que se garantice como mínimo el conocimiento y manejo de relaciones humanas, primeros auxilios y seguridad, aspectos generales del sistema, manual de operaciones de TransMilenio, conocimiento del vehículo, conducción de buses (según la tipología que operara), manejo defensivo y siniestralidad y aspectos de conducción para reducir emisiones contaminantes. Con el equipo de supervisores de en vía, de manera aleatoria se verifica documentación y desempeño de los operadores. (comunicación personal, 2018)

3.6.2. Componente de infraestructura y equipamiento

Actualmente, el sistema tiene un rezago en el desarrollo de su infraestructura, pues de los 388 km planificados, que debieron construirse al finalizar 2016, cuenta con tan solo 114.4 km de vías troncales en operación, que corresponden aproximadamente al 30 % del total de la red troncal proyectada. Las causas de este atraso pueden ser múltiples, desde la falta de voluntad política, hasta la falta de ejecución y continuidad de los planes de movilidad,

pasando por los cambios de administración y los diferentes tipos de solución a la problemática del transporte público de la ciudad. Por otra parte, el sistema cuenta con 12 líneas troncales en corredores segregados en las tres fases de operación. La fase I comprende la troncal Caracas, autopista Norte y avenida Medellín o Calle 80; la fase II comprende las avenidas Suba, de las Américas (calle 13), avenida Norte-Quito-Sur o NQS, que da continuidad a la troncal del municipio de Soacha. La fase III, que entró en operación en 2012, tiene los corredores de la calle 26, carrera 10 y calle 6, que conecta las troncales NQS, Caracas Sur y carrera 10. Por otro lado, el sistema amplió los servicios con carriles preferenciales demarcados en la carrera 7 y con el uso de buses duales (puertas en ambos costados).

En este momento, el sistema tiene habilitadas 143 estaciones de diferentes dimensiones, 9 portales y 11 sitios para el mantenimiento y parqueo de buses (taller-garaje), ubicados donde finalizan o inician los diferentes servicios troncales, como el portal del Norte, portal Suba, calle 80; Dorado y Américas en el occidente; Portal Sur, Tunal y Usme en el sur; y el Portal 20 de julio al suroriente de la ciudad. Además, el sistema cuenta con 22 parqueaderos de bicicletas con capacidad para 6059 usuarios. Toda la infraestructura del sistema tiene acceso peatonal y universal, bien sea a través de puentes peatonales, cruces semaforizados y señalizados, elevadores, pasos deprimidos, entre otros.

A continuación, se describen los portales, estaciones y patios-taller que hacen parte del componente de infraestructura, fundamentales para garantizar la buena operación del sistema.

- a) *Portales o estaciones de cabecera.* Sus 12 líneas troncales se articulan con 9 portales, en los que se permite la transferencia desde los buses troncales a rutas alimentadoras interurbanas y buses intermunicipales del área metropolitana. Los portales se ubican en las entradas y salidas de la metrópolis, y cuentan con servicios de telecomunicaciones, sanitarios, entre otros. Las terminales de las diferentes rutas son: Portal Usme, Tunal, Norte, Calle 80, Suba, Las Américas, Sur, El Dorado y 20 de julio. Los dos últimos, pertenecientes a la fase III, cuentan con áreas de control y

gestión administrativa del ente gestor, TransMilenio. Los portales tienen mapas de los diferentes servicios de ruta, así como dispositivos electrónicos que muestran el tiempo de llegada de un servicio e información relevante del sistema. En la mayoría de ellos hay personal administrativo y parqueaderos para bicicletas.

- b) *Estaciones de intercambio.* Facilitan el cambio de una troncal a otra sin que esto implique pagar una nueva tarifa. Normalmente se hace a través de pasos deprimidos y actualmente el sistema cuenta con tres intercambiadores.
- c) *Estaciones intermedias.* Normalmente se encuentran a la mitad de algunas troncales, en las que los usuarios acceden a servicios de rutas alimentadoras, como la estación Avenida Cali, Granja-Carrera 77, ubicadas en la troncal de la calle 80; Estación 40 sur y Molinos, que atiende a pasajeros de la troncal Caracas sur; la estación Banderas ubicada en la troncal Américas; la estación General Santander en la Troncal NQS y la estación Bicentenario, ubicada en la troncal de la carrera 10.
- d) *Estaciones sencillas con intercambio.* Ofrecen los servicios corrientes y expresos de llegada y salida de pasajeros en sentido bidireccional de norte-sur y oriente-occidente y viceversa. Normalmente están ubicadas entre 500 a 700 m aproximadamente. La mayor parte de estaciones del sistema son sencillas y brindan acceso universal a todos sus usuarios.
- e) *Estaciones sin intercambio.* Este tipo de estaciones no pueden cambiar el sentido del viaje por restricciones de espacio en el diseño constructivo.
- f) *Patios-taller.* El sistema cuenta con 11 diferentes patios-taller, que son entregados a los concesionarios operadores. Están provistos de áreas donde se desarrollan actividades de estacionamiento de la flota, mantenimiento, administración, zona de lavado de buses, abastecimiento de gasolina, control de ingresos, almacén, entre otras.

En la Tabla 9, se listan los patios-taller que tiene el sistema en cada una de las troncales, describiendo el área de terreno que ocupan, la capacidad nominal de estacionamiento de flota de buses articulados y biarticulados y el uso que tiene cada uno de ellos.

Tabla 9.

Pacios-taller del sistema TransMilenio.

Portales	Área (Ha)	Capacidad nominal de estacionamiento	Uso
20 julio	6.6	161 biarticulados	Estacionamiento y mantenimiento
Suba	6.3	187 articulados	Estacionamiento y mantenimiento
Américas	5.7	182 articulados	Estacionamiento y mantenimiento
El Dorado	5.4	140 biarticulados	Estacionamiento y mantenimiento
Usme	4.8	114 biarticulados 174 articulados	Estacionamiento y mantenimiento
Autopista Norte	4.3	109 articulados	Estacionamiento y mantenimiento
Portal Sur	3.1	33 biarticulados 122 articulados	Estacionamiento y mantenimiento
Tunal-Sur	2.2	63 biarticulados 94 articulados	Estacionamiento y mantenimiento
Calle 80	1.8	40 biarticulados 118 articulados	Estacionamiento

Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio, 2019.

3.6.3. Componente tecnológico

En diciembre de 2018, el sistema TransMilenio contaba con 2006 buses, de los cuales 1744 circulaban en los corredores troncales de carriles segregados; los 262 restantes se conocen como buses duales con capacidad para 80 pasajeros; aparte de esta flota, el sistema controla 870 buses alimentadores hacia los portales o estaciones intermedias para los usuarios más retirados del servicio troncal o que viven en la periferia (TransMilenio, 2018b). Esta investigación se centra solo en los buses articulados, biarticulados y duales que circulan en el corredor troncal (Tabla 10).

Tabla 10.

Características de la flota en corredores troncales del sistema

Tipología	Imagen de los buses	Longitud (m)	Cantidad de puertas	Ejes	Capacidad (pasajeros)	Pasajeros/m ²
Bus articulado		18	4	3	160	7
Bus biarticulado		27	7	4	250	7
Bus dual		10	5	2	80	7

Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio, 2018b.

El mantenimiento preventivo y correctivo de los buses es responsabilidad del operador, cuyo procedimiento se debe ajustar a los lineamientos del manual de operación del sistema, que está sujeto a revisión o verificación por parte de TransMilenio. Por otro lado, el concesionario del Sistema Integrado de Recaudo, Control, Información y Servicio al Usuario (SIRCI) es responsable de instalar en todos los vehículos una unidad lógica de transmisión de datos, GPS, servicio general de paquetes vía radio GPRS, para realizar monitoreo y regulación de sus recorridos. La nueva licitación para la adquisición de flota y operadores para las fases I y II contempla la implementación de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), que se denominarán Sistema Tecnológico de Seguridad (STS), y que deberá interactuar con el conductor y el centro de gestión de TransMilenio, logrando una operación e información permanente con las diferentes interfaces: comunicación con el conductor por medio de *hardware* instalado en los vehículos.

Este sistema debe suministrar los siguientes datos de la operación, desde que se enciende el vehículo y durante la marcha: las revoluciones del motor, el estado de las pastillas de frenos, los kilómetros recorridos, la velocidad cada 20 segundos con sentido de circulación y posición geográfica, la

aceleración, el consumo energético, el nivel del tanque combustible, el sentido de marcha (retroceso o avance), giros y frenadas bruscas, alarmas por exceso de velocidad y de peso; además, los buses deberán contar con un botones de pánico y de incidentes, circuito cerrado de televisión, cámara del conductor, sensores de la cabina, cámara frontal y trasera, dispositivos de monitoreo de rapidez del vehículo, micrófono ambiente, rutero, amplificador y, en general, todos los dispositivos requeridos para el control y monitoreo de la operación (TransMilenio, 2018b).

3.6.4. Recaudo, control, información y servicio al usuario

El SIRCI, a través del centro de control, conformado por 107 personas, desarrolla las actividades de programación de flota, regulación del flujo de vehículos y su velocidad promedio, ubicación de buses en tiempo real, kilómetros recorridos y programados por vehículo, horas de operación de los conductores, atención de situaciones de excepción y emergencias, cumplimiento de las rutas de los distintos concesionarios del sistema troncal de buses, incluidos los otros servicios del SITP que atienden la demanda de pasajeros de la ciudad. Adicionalmente hace la gestión, supervisión, control y cumplimiento de la programación de los servicios prestados por los operadores privados. Todo esto se hace con el software y hardware suministrados por el concesionario, que provee los dispositivos y aplicaciones requeridos para realizar el control global a la operación.

Por otro lado, el concesionario garantiza el recaudo de los pagos del ticket por medio de la tarjeta inteligente sin contacto “Tu llave”, la cual permite integración tarifaria, con cobros diferenciales, y operativa entre los diferentes modos de transporte del sistema (bus troncal, zonal, complementario, alimentador y especial). Como la tarjeta es personalizada, el usuario puede comprar uno o varios viajes o puede viajar a crédito, que se descontará en la siguiente recarga; también puede hacer transbordo a otros buses no troncales, con la misma tarifa, en una ventana de 90 minutos, a partir de su paso por los validadores del sistema. Los pasajes se compran en taquillas ubicadas al ingreso de

todas las estaciones, portales o en puntos estratégicos distribuidos en la ciudad. A diciembre del 2018 existían más de 4000 puntos de recargas en diferentes establecimientos comerciales, como droguerías, tiendas, cafés, almacenes, entre otros. Una de las características del sistema de recaudo, según TransMilenio, es su tecnología, ya que, aparte del registro de recargas y descuento de la tarifa vigente, registra el origen de los viajes realizados y validaciones en estaciones y portales, y controla los tiempos de trasbordo, información que permite el monitoreo a la demanda en tiempo real en los diferentes accesos al sistema, que redundan en una mejor planeación y programación de las operaciones.

Otro de los servicios que garantiza el SIRCI es la información y comunicación que el ente gestor le brinda a los usuarios en tiempo real, la cual debe ser confiable y transparente, utilizando diferentes canales y medios de comunicación; los comunicados tienen que ver con tiempos de llegadas de los buses a las estaciones, retrasos, puertas o vagones de abordajes y descensos, novedades de la operación del sistema y especificación de los servicios o rutas en cada estación, mapas, entre otros.

3.7. Marco normativo, institucional y operacional de la seguridad vial en TransMilenio

3.7.1. Aspectos normativos

El artículo 24 de la Constitución Política de Colombia, que garantiza los derechos individuales y colectivos de la población, establece que

Todo colombiano tiene derecho a circular libremente por el territorio nacional, pero está sujeto a la intervención y reglamentación de las autoridades para garantía de la seguridad y comodidad de los habitantes, especialmente de los peatones y de los discapacitados físicos y mentales, para la preservación de un ambiente sano y la protección del uso común del espacio público.

Uno de los elementos trascendentales de la Constitución fue la desconcentración administrativa para que los departamentos y municipios tuvieran mayor autonomía en el desarrollo de su territorio, sin la intervención del gobierno central. Esta autonomía significó el traslado y asignación de nuevas responsabilidades para garantizar servicios esenciales como salud, educación, agua potable, transporte urbano, así como el control y regulación del tránsito y transporte.

A continuación, se enuncian las principales leyes, decretos, resoluciones y demás aspectos legales y normativos que rigen el sector transporte en el país, resaltando los artículos y párrafos relacionados con el tema objeto de la investigación.

A. Leyes

- a) *Ley 105 de 1993*. Trata de las disposiciones básicas sobre el transporte, redistribución de competencias y recursos entre la nación y las entidades territoriales y reglamenta la planeación en el sector transporte. Uno de sus principios dice que: “La seguridad de las personas constituye una prioridad del sistema y del sector transporte”.
- b) *Ley 336 de 1996 o Estatuto Nacional de Transporte*. Su objeto es “unificar los principios y los criterios que servirán de fundamento para la regulación y reglamentación del transporte público aéreo, marítimo, fluvial, férreo, masivo y terrestre y su operación en el territorio nacional, de conformidad con la Ley 105 de 1993, y con las normas que la modifiquen o sustituyan”. Por su lado, el artículo 2 ratifica lo establecido en la ley 105, al considerar que “La seguridad, especialmente la relacionada con la protección de los usuarios, constituye prioridad esencial en la actividad del sector y del sistema de transporte”.
- c) *Ley 769 de 2002 o Código Nacional de Tránsito Terrestre*. Esta normatividad se aplica en todo el país y regula el tránsito de los diferentes actores de la movilidad como peatones, pasajeros de transporte público, ciclistas, conductores de vehículos, agentes controladores de tráfico; asimismo, controla la circulación en las calles y carreteras, públicas o privadas. La ley

establece los procedimientos y lineamientos para el trabajo de las autoridades de movilidad y transporte.

Desde su promulgación, la Ley Nacional de Tránsito ha sufrido cerca de 15 modificaciones, entre las que se destacan:

1. *Ley 1005 de 2006*. Da los lineamientos para implementar el RUNT (Registro Único Nacional de Tránsito).
 2. *Ley 1239 de 2008*. Implementa cambios de los límites de velocidad en carreteras interurbanas y vías urbanas.
 3. *Ley 1383 de 2010*. Esta ley le introdujo muchas modificaciones al Código Nacional de Tránsito. Algunas de ellas definen las autoridades de tránsito, la codificación de las infracciones, los requisitos para la expedición de la licencia de tránsito, los requerimientos sobre demarcación y señalización de la infraestructura vial, entre otras.
- d) *Ley 1702 de 2013*. Con esta norma se crea la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), a la cual se le asigna la siguiente función: “Definir las estrategias para el control del cumplimiento de las normas de tránsito y coordinar las acciones intersectoriales en este ámbito” (artículo 9, numeral 4).

B. Decretos

- a) *Decreto 171 de 2001*. Reglamenta el servicio de transporte terrestre de pasajeros.
- b) *Decreto 0787 de 2015*. “Establece las funciones de la estructura interna de la Agencia Nacional de Seguridad Vial.
- c) *Decreto 397 de 2010*. Adopta el Plan Distrital de Seguridad Vial para Bogotá. Específicamente, el capítulo 4, artículo 17, numeral 5 contempla que la infraestructura debe brindarles seguridad a los pasajeros de los sistemas masivos de transporte, dentro los que se destaca TransMilenio.
- d) *Decreto 813 de 2017*. Aprueba el Plan Distrital de Seguridad Vial y de Motociclista 2017-2026. Este plan ajusta el plan anterior y busca bajar al 35 % el número de lesionados y fallecidos en siniestros o hechos viales al finalizar 2026.

- e) *Decreto Distrital 126 de 2020*. Se establece en 50 km/h como límite máximo de velocidad para la circulación de los vehículos en todas las vías de Bogotá, convirtiéndose en la primera ciudad de Colombia que toma este tipo de regulación para prevenir los siniestros viales con muertos o heridos graves. En esta norma se exceptúan los carriles para el uso exclusivo del sistema TransMilenio, cuyo límite máximo es de 60 km/h.

C. Resoluciones del Ministerio de Transporte

- a) *Resolución 19200 de 2002*. Reglamenta el uso e instalación del cinturón de seguridad de acuerdo con el artículo 82 del Código Nacional de Tránsito Terrestre.
- b) *Resolución 1400 de 2004*. Establece unas medidas de tránsito vehicular tendientes a garantizar la movilidad en las vías del país.
- c) *Resolución 003027 de 2010*. Actualiza la codificación de las infracciones de tránsito, de conformidad con lo establecido en la Ley 1383 de 2010 y adopta el Manual de Infracciones.
- d) *Resolución 2273 de 2014*. Adopta el Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021.
- e) *Resolución 0001885 de 2015*. Adopta el Manual de Señalización Vial, que tiene un capítulo especial para sistemas BRT, dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclo rutas de Colombia.

D. Resoluciones de la Secretaría Distrital de Movilidad y TransMilenio

- a) *Resolución 563 de 2014*. Se expide el reglamento de seguridad física del Sistema Integrado de Transporte Público-SITP de Bogotá.
- b) *Resolución 194 de 2016*. Se expide el reglamento de seguridad del sistema TransMilenio.
- c) *Resolución 491 de 2017*. Actualiza el reglamento de seguridad del sistema de transporte público gestionado por TransMilenio.

3.7.2. Aspectos institucionales

En Colombia, la responsabilidad institucional frente al sistema de seguridad vial recae principalmente en el Ministerio de Transporte y sus entidades adscritas, con el apoyo de otros ministerios y autoridades territoriales, además del Consejo

Directivo de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), el cual se rige según ley 1702 de 2013. También participan corporaciones, ONG, sector privado industrial y empresarial, organismos multilaterales y sociedad civil (OMS, 2004, p. 17). De acuerdo con el artículo 15, numeral 1 “El Consejo Directivo podrá crear las comisiones interministeriales que requiera para resolver temas específicos que se definan y para planificar los proyectos de acción intersectorial que contemple el Plan Nacional de Seguridad Vial”. De este modo, la ANSV será “el soporte interinstitucional y el organismo responsable dentro del Gobierno nacional de la planeación, gestión, ejecución, seguimiento y control de las estrategias, planes y acciones dirigidos a dar cumplimiento a las políticas de seguridad vial en todo el país”.

En la Figura 13, se describe la organización de las autoridades distritales responsables de la movilidad, encabezada por la Alcaldía Mayor de Bogotá, encargada de trazar los lineamientos para la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM), que hace parte del sector central de la administración, desde la cual se orientan y lideran las políticas públicas de conformidad a las directrices y mandatos establecidos en los diferentes planes nacionales y distritales de desarrollo, movilidad, seguridad vial y normatividad vigente.

Figura 13.
Organización de control institucional del sector movilidad del distrito capital



Fuente: elaboración propia.

Estas políticas son desarrolladas o ejecutadas por instituciones del sector descentralizado, como el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), que, con el apoyo de la Unidad de Mantenimiento Vial (UMV), lidera la construcción de las

infraestructuras viales requeridas para garantizar la movilidad de todos los actores viales. El tema del servicio de transporte público interurbano es articulado entre los terminales de transporte norte, sur y occidente; para el transporte urbano de pasajeros, las políticas son ejecutadas por TransMilenio, responsable de garantizar el servicio a través de rutas troncales y zonales en el esquema del Sistema Integrado de Pasajeros, SITP.

3.7.3. Aspectos operacionales

En marzo de 2018, la operación del sistema estaba a cargo de 9 concesionarios operadores privados que atienden los servicios de las tres fases del sistema. La Tabla 11 muestra la flota de buses que tiene disponible cada operador privado, al igual que su porcentaje de participación.

Tabla 11.

Participación de los concesionarios privados en la flota de buses troncales del sistema

Fases	Operadores concesionarios privados	Flota de buses troncal (articulados, biarticulados y duales)	Participación (%)
I	Ciudad Móvil S.A.	187	9.32
	Express del Futuro S.A.	191	9.52
	Metrobús S.A.	141	7.03
	SI99 S.A.	253	12.61
	Total fase I	772	38.48
II	Conexión Móvil S.A.S	161	8.03
	Somos K S.A.	171	8.52
	Transmasivo S.A	219	10.92
	Total fase II	551	27.47
III	Consortio Express S.A.S San Cristóbal	262	13.06
	Consortio Express S.A.S Usaquén	246	12.26
	GMóvil S.A.S	175	8.73
	Total fase III	683	34.05
	TOTAL	2006	100.00

Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio, 2018b.

De acuerdo con la información suministrada por uno de los coordinadores operativos del sistema, el horario de inicio y fin de operaciones para la mayoría de los corredores troncales en días hábiles es de 4 a. m. a 11 p. m.; sábados de 4:30 a. m. a 11 p. m.; domingos y festivos de 5 a. m. a 10 p. m. Este servicio lo atienden cerca de 97 rutas troncales y 109 alimentadoras. De las rutas troncales, 8 son de tipo corriente, que paran en cada estación, 79 son expreso, que paran en algunas estaciones, y las otras son duales. Del total de servicios, 81 se prestan en las horas pico de la mañana, cuando transitan alrededor de 1478 buses; 75 se prestan en las horas pico de la tarde por 1467 buses; y en las horas valle se ofrecen 68 servicios por 1193 buses. La distancia promedio que recorre la flota de 2006 buses en los corredores troncales es de 424 135 km/día, lo que indica que un bus del sistema troncal recorre cada día alrededor de 211 km (Luis Fernando Cortés, coordinador técnico operativo de TransMilenio, comunicación personal, 6 de abril de 2018).

En marzo del 2018, el sistema inició el proceso de licitación para contratar los nuevos concesionarios de operación y el cambio de los buses articulados de las fases I y II. Por el lado de la fase I, los contratos se vencieron en 2013, así como el plazo para el cambio de los buses que ya habían cumplido con el kilometraje que inicialmente se había estipulado; sin embargo, la administración distrital extendió en dos oportunidades los contratos a los operadores hasta que se surtiera el proceso de licitación pública. Según los prepliegos publicados por TransMilenio, aproximadamente 1383 buses nuevos renovarían la flota en las fases I y II; de estos, el 33 % serían articulados y el 67 % biarticulados, para permitir la salida de operación de 1162 buses que cumplieron su vida útil y deben ser chatarrizados. Estos nuevos buses tendrían una vigencia de máximo 10 años, que comenzaría con la puesta en operación a finales del 2018 y que, según la gerencia del sistema, contribuirán a mejorar la prestación del servicio a los usuarios.

Cada día aumenta la demanda de pasajeros en el sistema. Según el documento CONPES 3900 del Departamento Nacional de Planeación (DNP), TransMilenio ha tenido un promedio de crecimiento anual de pasajeros del 9 %. Por ejemplo, entre 2011 y 2015, el sistema aumentó a un promedio de 572 000

viajes diarios; en 2016 la cifra de pasajeros llegó a 702 millones, cuyo 93% pertenece a los estratos socioeconómicos de menores ingresos; un 49 % de los usuarios son empleados y el 31% son estudiantes, es decir, el 80 % de los pasajeros. Sin embargo, aunque el sistema moviliza gran parte de la fuerza laboral y de la población escolar “Tal incremento no se vio acompañado de una ampliación constante de la oferta del sistema” (DNP, 2017, p.14). Lo anterior pone en riesgo la seguridad operacional del sistema, ya que se le estaría exigiendo más allá de su capacidad operacional.

a) Elementos de regulación y control del sistema TransMilenio

El despacho, supervisión y monitoreo en la operación de la flota se hace con la ayuda de medios tecnológicos y dispositivos ubicados en los buses, tales como GPS, radio, cámaras y central de control. A este respecto, el coordinador técnico operativo del sistema expresó que:

El equipo de trabajo del centro de control se complementa con técnicos de cámaras, cuya labor diaria consiste en observar los monitores del circuito cerrado de televisión del sistema, e informar los puntos en donde se presentan novedades que puedan afectar la seguridad del sistema. En aquellas estaciones donde no se cuenta con dicho recurso, son los supervisores en vía quienes reportan las condiciones atípicas. Las cámaras y los supervisores dispuestos en las estaciones y portales del sistema, registran las condiciones de demanda de usuarios y los eventos ocurridos en las estaciones o portales, de esta manera es posible supervisar y monitorear (Luis Fernando Cortés, coordinador técnico operativo de TransMilenio, comunicación personal, 6 abril de 2018).

En este sentido, la entidad sanciona prácticas y comportamientos inseguros de los conductores, que van desde la suspensión temporal de la tarjeta de conducción hasta la revocatoria o retiro total, dependiendo de la gravedad de la falta, dentro de las que se destacan:

- Mala aproximación. Distancia a plataforma o andén mayor de 20 cm.
- Desacato a la autoridad.
- Portar equipo eléctrico o electrónico en el vehículo.
- Fumar o ingerir alimentos y bebidas en el vehículo.

- Mala alineación. Las puertas del bus y de la estación o paradero no quedan alineadas.
- No portar documentos del vehículo.
- Agresión verbal y física.
- Conducir de manera irresponsable.
- Pasarse semáforos en rojo.
- Conducir bajo la influencia de algún alucinógeno o droga controlada, sin la respectiva autorización médica, entre otras.

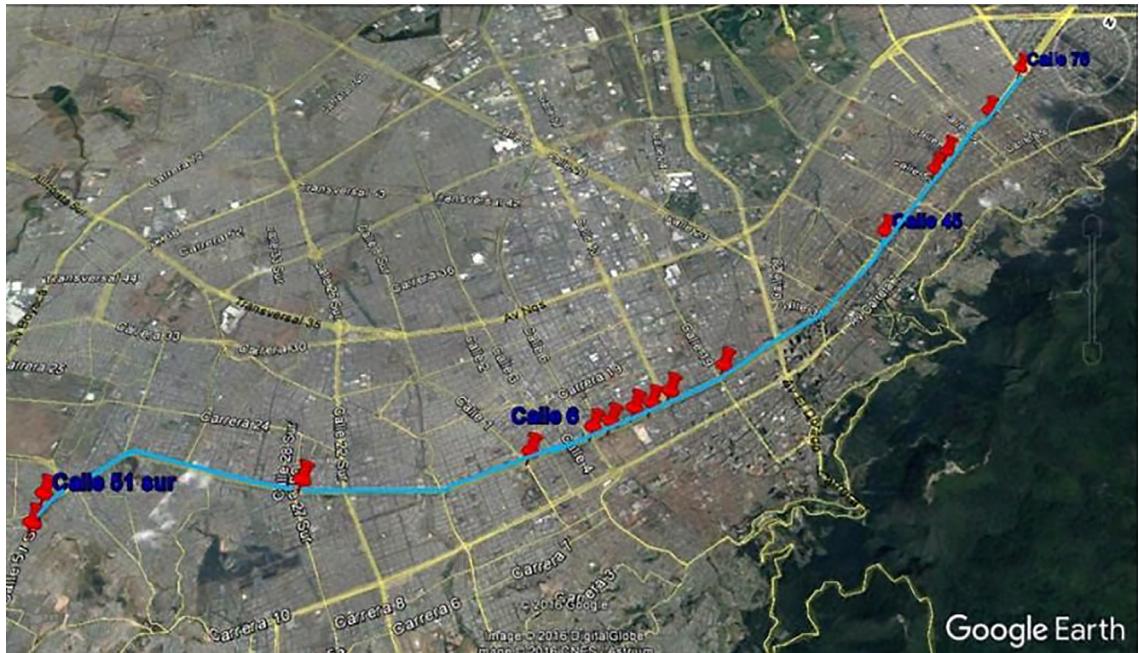
Asimismo, en los últimos años el sistema ha implementado 22 barreras físicas a lo largo de las diferentes troncales, en especial la de la avenida Caracas, para evitar que quienes buscan “colarse” (ingresar sin pagar) a las estaciones o portales pongan en riesgo su vida o provoquen un accidente vial.

a) Operación del sistema TransMilenio en la avenida Caracas

La Caracas fue el primer corredor en ponerse operación, es la principal arteria del sistema y es una de las vías emblemáticas de la ciudad, ya que combina usos del suelo de tipo comercial, educativo, religioso, recreativo, institucional, residencial, entre otras. Inicia al sur de la ciudad, en el portal de Usme, y finaliza en calle 76, al norte; atraviesa 9 de las 20 localidades en que está dividida la capital: “Usme, Tunjuelito, Rafael Uribe, Antonio Nariño, Mártires, Santa Fe, Teusaquillo, Chapinero y Barrios Unidos” (Asprilla Lara et al., 2017). La longitud del corredor de la avenida Caracas es de aproximadamente 22 km, con un ancho de sección promedio de 60 m entre paramentos; la vía cuenta con dos calzadas bidireccionales para el tráfico motorizado (mixto) y un total de 68 cruceos o intersecciones reguladas con semáforos; cuenta con dos carriles segregados de 3.5 metros en sentido sur-norte y norte-sur; a lo largo de la troncal hay 24 estaciones sencillas localizadas cada 500 y 700 m, además de 2 estaciones intermedias que permiten hacer trasbordo a los buses alimentadores. En la Figura 14, se muestra el trazado de la avenida Caracas y los puntos conflictivos donde con más frecuencia hay siniestros viales.

Figura 14.

Puntos conflictivos con mayor frecuencia de siniestros, troncal avenida Caracas



Fuente: elaboración propia con datos de Google Earth y SDM, 2016.

De los 47 servicios que atienden la troncal de la Caracas, hay 43 rutas expresas y otras 4 corrientes o ruta fácil; en las horas pico de la mañana hay 39 servicios y transitan alrededor de 725 buses; en las horas pico de la tarde hay 37 servicios con 692 buses; en las horas valle se ofrecen 34 servicios con 577 buses. Así pues, si se compara con el año 2010, cuando circulaban en promedio alrededor de 210 buses/hora pico, se encuentra que en 7 años el número de buses en las horas de mayor demanda prácticamente se triplicó y que la frecuencia de paso de los buses bajó de 17.14 s a 5.08 s. Por otro lado, la distancia promedio que recorre cada bus por día es de 271 km (Luis Fernando Cortés, coordinador técnico operativo de TransMilenio, comunicación personal, 6 abril de 2018). Lo anterior muestra que la troncal Caracas concentra cerca de la mitad de los servicios del sistema, con el 49 % de las rutas atendidas por el 48 % de la flota, tanto en horas pico de mañana y tarde, como en horas valle.

Así pues, esta línea troncal demuestra ser la más cargada y congestionada de TransMilenio, convirtiéndose en el eje estructurante de todo el sistema.

Según el DNP (2017) “para el 2021 la demanda de pasajeros en el corredor troncal avenida Caracas crecerá hasta alcanzar cerca de 68 000 pasajeros-hora sentido (phs), superando en un 51 % su capacidad teórica, calculada en 45 000 phs en condiciones ideales de operación” (p. 15). En 2016, la demanda rebasó los 8000 phs y en 2017 la cifra superó los 11000 phs, de acuerdo con la capacidad diseñada para esta troncal (Revista Semana, 2017). Así pues, el sistema ha venido operando desde hace varios años por encima del límite establecido, lo que podría generar un riesgo para la seguridad operacional y, si el ente gestor no emprende medidas para mejorar la infraestructura o el control operacional, entre otras, las consecuencias en términos de seguridad vial para los pasajeros y demás actores de la movilidad podrían ser lamentables. En este contexto, el DNP (2017) advierte que:

Los portales de las fases I y II, y las estaciones de las de calle 63, calle 72, Marly, calle 45, calle 76, pertenecientes a la troncal de la avenida Caracas y las de calle 100 y Calle 106, que hacen parte de la troncal la Autopista Norte; presentan niveles de saturación superiores a 80% operando por encima de sus límites.

Esto contrasta con lo que se estableció en el diseño del sistema, plasmado en el documento CONPES 3093 de 2000 “La combinación de expresos y alimentadores pueden llevar hasta 45 mil pasajeros por hora por sentido; en las primeras 3 troncales se proyecta que el sistema movilizará 36 mil pasajeros por hora por sentido en el tramo más cargado”. Teniendo en cuenta las demandas de pasajeros en las troncales, se diseñan el tamaño y tipología de las estaciones, que para la troncal de la Caracas se describen en la Tabla 12.

Tabla 12.

Ubicación y tipología de estaciones en la troncal avenida Caracas-Usme

Ubicación	Nombre de la estación	Tipología	Longitud (metros)	Numero de plataformas de abordaje (vagones)
Calle 76 - Calle 74	Calle 76	1	188	3
Calle 72 - Calle 70A	Calle 72	1	188	3
Calle 69 - Calle 67	Flores	2	130	2
Calle 63 - Calle 60	Calle. 63	1	188	3
Calle 57 - Calle 54	Calle 57	1	188	3
Calle 51 - Calle 49	Marly	1	188	3
Calle 45 - Calle 42A	Calle 45	1	188	3
Avenida 39 - Avenida Calle 37	Avenida 39	1	188	3
Avenida Calle 34 - Calle 32	Calle 34	1	188	3
Calle 28 - Calle 26	Calle 26	1	188	3
Calle 24 - Calle 22	Calle 22	1	188	3
Calle 19 - Calle 17	Calle. 19	1	188	3
Calle 13 - Calle 11	Avenida Jiménez	1	188	3
Calle 8 - Calle 6	Tercer Milenio	1	188	3
Calle 3 - Calle 2	Hospital	3	96,40	2
Calle 1 S - Calle 2 S	Hortúa	3	96,40	2
Calle 10 S - Calle 11 S	Nariño	3	96,40	2
Calle 17 S - Calle 19 S	Fucha	3	96,40	2
Calle 19 S - Av. 1 Mayo	Restrepo	3	96,40	2
Calle 27 S - Calle 28 S	Olaya	3	96,40	2
Calle 31 S - Calle 33 S	Quiroga	3	96,40	2
Calle 36 S - Calle 41 S	Calle 40 S	1	188	3
Calle 45 B S - Diag. 46 S	Santa Lucía	2	130	2
K 16 S - K 15 S	Socorro	3	96,40	2
K 12 S - K 11 S	Consuelo	3	96,40	2
K 9 - Calle 51 S	Molinos	2	130	2
Camino Fiscalá	Portal de Usme	Cabecera		6

Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio, 2012

Para cerrar este capítulo, cabe anotar que esta investigación se centró en la troncal Caracas por ser el corredor más cargado de las 11 líneas troncales, el que moviliza más pasajeros hora-sentido y, por ende, mayor frecuencia de buses, y en donde se presenta mayor número de siniestros viales, que ascienden aproximadamente al 35 % del total en el sistema.

4. La seguridad vial en el TransMilenio: una evaluación cualitativa

La medición de la gestión de la seguridad vial de los operadores privados, que se incluye en el Manual de Niveles de Servicio de TransMilenio, contempla los accidentes que involucran los vehículos articulados y biarticulados, sin importar si ocurren o no durante la prestación de un servicio. Con ello, se busca brindar seguridad a los pasajeros, al personal que trabaja en el sistema y demás actores viales. La evaluación, por lo tanto, tiene en cuenta la frecuencia de los accidentes, que se clasifican en tres grandes categorías: accidentes simples, en los cuales se salvaguarda la integridad personal, accidentes con lesionados y siniestros con fatalidades, cuando hay pérdida de vidas humanas (TransMilenio, 2018a, p. 4).

En este contexto, para evaluar la seguridad vial se considera un índice de siniestralidad en función del nivel de cumplimiento mensual de los concesionario operadores, el cual TransMilenio ha definido con la siguiente fórmula:

$$Ia_c = \frac{As \times 1 + Ah \times 3 + Af \times 18}{\text{Total de kilómetros recorridos}} \times 10000$$

Donde:

- Ia* Índice de accidentalidad
- As* Eventos sin heridos ni fatalidades denominados simples
- Ah* Eventos con heridos
- Af* Eventos con fatalidades
- i* Periodo correspondiente

Los valores numéricos (1, 3 y 18) son factores de equivalencia, resultado de la relación entre accidentes con heridos y simples (Ah/As), y la relación entre accidentes con muertos y simples (Af/As), establecido por la SDM con análisis de la media geométrica de varios estudios realizados por diferentes

instituciones y organismos como la Federación de Aseguradores Colombianos (Fasecolda), la Universidad Nacional, el BID y la Universidad de los Andes (Unidades), entre otras (Transmilenio, 2018a, p.4; SDM, 2012).

Al resultado de aplicar la fórmula anterior se le asigna un puntaje que define una letra de calificación que va desde A hasta E, siendo A el mejor desempeño en seguridad vial y E el más bajo desempeño, es decir, un nivel de siniestralidad muy alto, con saldo de personas lesionadas o fallecidas. La Tabla 13 describe los niveles de medición del *índice* de siniestralidad y el puntaje que se le asigna al operador.

Tabla 13.
Niveles de medición del índice de siniestralidad

Nivel	Valor <i>I_a</i>	Puntaje
A	$= < 0.060$	1
B	$[0.060 - 0.120)$	2
C	$[0.120 - 0.180)$	3
D	$[0.180 - 0.240)$	4
E	$= > 0.240$	5

Fuente: TransMilenio, 2018a.

La información para el cálculo del indicador y los eventos que tienen que ver con los accidentes o siniestros viales será reportada por el centro de control a la Dirección Técnica de Seguridad, para que esta, a su vez, realice los respectivos análisis de cálculo y la definición del puntaje del nivel de gestión de la seguridad de los operadores de autobuses articulados y biarticulados.

4.1. Variables de análisis

Para identificar las variables y hacer el análisis de la seguridad vial en sistemas BRT se tomó como referencia el caso del sistema TransMilenio sobre su corredor más importante, la troncal de la avenida Caracas. Se partió del enfoque sueco, Visión Cero, y de sistemas seguros de la OMS, teniendo en

cuenta que en ellos hay elementos internos y externos que interactúan entre sí, formando una envolvente soportada bajo la regulación de la organización institucional a nivel nacional y distrital (ministerios, alcaldía, secretarías), entidades que trazan las políticas públicas de movilidad y transporte, y las directrices sobre el ente gestor del sistema (TransMilenio) para que ejerza control sobre los componentes del sistema; sin embargo existen “fuerzas entrópicas”² que de alguna manera inciden en el funcionamiento y nivel de control del sistema de seguridad.

4.2. Componentes de las interacciones internas y externas

Como quiera que los elementos del sistema interactúan entre sí, el estudio contempla estos componentes:

- a) *Organización institucional.* Lo integran instituciones del orden nacional y distrital, donde el ente gestor, TransMilenio, debe garantizar la seguridad operacional del sistema.
- b) *Comportamiento humano.* Este lo integran todos los actores internos y externos al sistema (conductores, pasajeros, peatones, ciclistas, motociclistas, entre otros).
- c) *Infraestructura y equipamiento.* Comprende estaciones, portales, pavimento, señalización, dispositivos de control, accesos, intersecciones, pasos a desnivel, etc.
- d) *Tecnológico.* Comprende GPS, vehículo, sistemas de comunicación, entre otros.

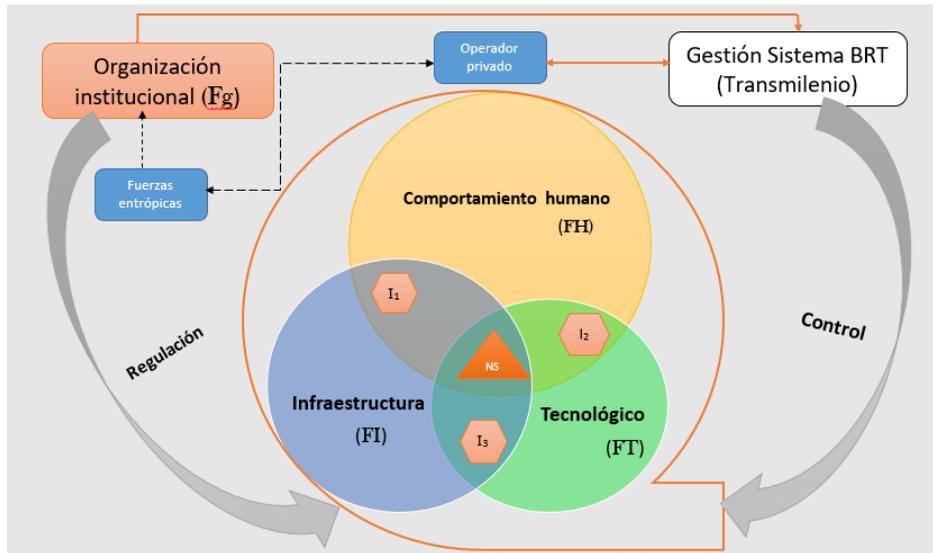
En la Figura 15 se esquematiza el enfoque sistémico de control, cuyos tres últimos componentes se interrelacionan entre sí, pero están bajo el control de la organización institucional del orden nacional como distrital. En ese sentido, se plantea un enfoque que permite visualizar las interacciones internas y externas de cada componente y la participación de otros actores

2 Son otros actores externos, tales como proveedores de servicios tecnológicos e infraestructurales que hacen *lobby* político en la toma de decisiones.

que, de alguna manera, inciden en el funcionamiento del sistema, como los operadores privados, o como los proveedores de tecnología que actúan como fuerzas entrópicas en el sistema de movilidad.

Figura 15.

Enfoque sistémico del control interacciones de componentes internos y externos en la seguridad de los BRT



Fuente: elaboración propia.

En el análisis sistémico de los componentes internos y externos se consideraron dos niveles esenciales como elementos fundamentales del estudio de la seguridad vial en TransMilenio.

4.3 Nivel de control

En este se analizaron los controles que tiene la organización institucional y gestora del sistema TransMilenio sobre las variables que integran las diferentes interacciones de los componentes internos y externos. En este contexto, se lograron identificar las variables más relevantes y que más incidieron en las interacciones entre componentes y que están relacionadas con los siniestros viales en el corredor de la troncal Caracas durante el periodo 2010-2016.

4.4. Nivel de seguridad vial

Los niveles de seguridad en los sistemas BRT deben “estar basados en el enfoque de sistemas seguros y encontrar el balance entre la oferta y demanda del sistema” (S. Alveano, WRI-México, comunicación personal, 4 de diciembre de 2017). Así pues, si se desea mantener una operación alta se requieren velocidades que garanticen las frecuencias, lo que pone en riesgo la seguridad vial cuando el sistema interactúa con los otros actores de movilidad. El nivel de seguridad se estableció teniendo en cuenta los índices de siniestralidad vial del sistema y de la troncal en estudio, soportados en los registros estadísticos de siniestros viales cada diez mil (10 000) km recorridos de troncal, y considerando los eventos sin heridos, con heridos y fallecidos en cada año del periodo de análisis.

4.5. Variables de interacciones analizadas entre componentes del sistema TransMilenio

4.5.1. Componente humano-infraestructura

Esta es una de las interacciones de mayor incidencia de los accidentes, siniestros o hechos viales en la troncal de estudio, debido a que en ella hay una mayor participación de los otros actores de la movilidad del componente externo de la interacción humano-infraestructura. A continuación, se describe cada variable:

a) Velocidad

Es una variable indispensable en la operación del sistema, ya que de ella depende la eficiencia y cumplimiento de la programación de las rutas y la frecuencia de paso; sin embargo, esta variable contribuye de alguna manera al suceso de siniestros viales en la interacción entre componentes del sistema. En este sentido, Alveano considera que:

La velocidad es un factor de riesgo que debe ser gestionada, por ello es fundamental que esta sea compatible con el contexto urbano por donde circulan los buses articulados como son escuelas, hospitales, comercio, zonas de alta densidad de usuarios, entre otros. Reducir la velocidad operacional implica incrementar la flota para poder cumplir con el programa de servicios. Pero sería un error pensar que la operación tiene más importancia o valor que la seguridad vial. Estos dos aspectos no deben estar en conflictos en los sistemas BRT (S. Alveano, WRI-México, comunicación personal, 4 diciembre de 2017).

Por su parte, Duduta et al. (2013, p. 9) consideran que las diferentes contramedidas de seguridad vial podrían disminuir las velocidades y, por ende, el rendimiento operacional de los sistemas BRT de alta capacidad, incrementando los tiempos de viaje. La visión sistémica de la OMS (2017) considera que en el sistema de seguridad vial la gestión de una velocidad segura contribuye de manera positiva a la mitigación de los accidentes o siniestros viales en las diferentes alternativas de movilidad. En Colombia, el límite de velocidad en los centros urbanos está regulado en el artículo 74 de la Ley 769 de 2002 o “Código Nacional de Tránsito Terrestre” y la 1239 de 2008, la cual establece para el transporte público un máximo de 60 km/h.

Sin embargo, las velocidades máximas establecidas en la norma colombiana requieren revisión y ajuste, porque según la ITF (2018) “Un aumento del 1 % en la velocidad promedio da como resultado aproximadamente un aumento del 2 % en la frecuencia de lesiones por hechos viales y un aumento del 4 % en la frecuencia de incidentes fatales” (p. 5). Esto quiere decir que un aumento en el límite de velocidad multiplicará por cuatro la frecuencia de muertes en accidentes por esta variable. En este sentido, la OCDE recomienda reducir la velocidad a 30 km/h en áreas con afluencia de peatones y ciclistas, como zonas escolares, hospitales, comercio, entre otros, que tengan interacción con vehículos de motor, y que en áreas con alto riesgo de colisiones laterales e intersecciones la velocidad debe ser máximo de 50 km/h.

Otras investigaciones indican que para los actores vulnerables, por ejemplo, un peatón, el riesgo de perder la vida al ser arrollado o golpeado por un automotor que circule a 50 km/h es de aproximadamente 80 % y de 10 %

si el vehículo viaja a 30 km/h. Esto indica que circular a velocidades mayores a 30 km/h trae consecuencias fatales para los atropellados.

b) *Distancia de separación*

Esta variable es la distancia de separación mínima entre los buses articulados y biarticulados para evitar los choques por alcance, que cada día son más frecuentes, por diferentes causas, y que se examinarán a lo largo del proceso investigativo. Esta variable está normada por el artículo 108 del “Código de Tránsito”. En este aspecto, tanto la velocidad como la distancia para frenar juegan un papel importante, ya que a mayor velocidad mayor será la distancia requerida para frenar, lo que indica que son directamente proporcionales. En el caso particular de los buses articulados, que no pueden circular a más de 60 km/h, la distancia mínima de separación debe ser de 20 m, y cuando circulan a menos de 30 km/h, la distancia será de 10 m.

c) *Aproximación a plataformas de estaciones*

El diseño operacional del sistema con diferentes servicios hace que, en la aproximación a las plataformas de estaciones y portales, así como en tramos troncales de la calzada exclusiva con carriles bidireccionales, se presenten entrecruzamientos de buses, maniobras en las que interactúan los componentes humano-infraestructura. Las recomendaciones y controles están plasmados en el manual de operación del sistema en el apartado de los cursos de capacitación que se brinda a los conductores, normado en el artículo 65 de la ley de tránsito.

d) *Maniobras en cruces peatonales*

Las maniobras generalmente generan caídas dentro del vehículo y atropellos a peatones. Los controles están plasmados en el manual de operación del sistema, en el apartado de los cursos de capacitaciones que se brinda a los conductores.

e) *Estado de la infraestructura (pavimento y señalización)*

La filosofía de la Visión Cero de Suecia y de la seguridad sostenible de Holanda tiene como principio inapelable evitar que las personas pierdan la vida mientras se desplazan de un lugar a otro. Para ello, se requiere que todos los

componentes del sistema de movilidad estén diseñados teniendo en cuenta la posibilidad de cometer errores, para ofrecer una mayor previsibilidad en su funcionamiento y priorizando la construcción de infraestructuras seguras o “vías perdonadoras” para todos los usuarios. La infraestructura vial de TransMilenio, según el balance del periodo 2007-2016, tiene una longitud de 1128 km de carriles, de los cuales el 85 % se encuentra en buen estado, el 14 % en regular estado y 1 % en mal estado (Cámara de Comercio de Bogotá y Universidad de los Andes, 2017 p. 20).

Lo anterior nos indica que siempre se deben garantizar un buen diseño, ejecución y conservación de todos los elementos infraestructurales como el pavimento, las estaciones, los portales o la señalización. En el caso de Bogotá, estas tareas son responsabilidad del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), ente especializado y descentralizado del orden distrital. En términos normativos, el control y supervisión se hace de conformidad con lo establecido en los manuales de especificaciones técnica, de concepción, diseño, ejecución y mantenimiento de infraestructura vial y espacio público, adoptado por las resoluciones 3243 del 18 de diciembre de 2013 del IDU y la 01885 de 2015 del Ministerio del Transporte.

f) *Respeto a las normas de seguridad vial*

La educación vial y el acatamiento de las normas y códigos de seguridad viales siguen siendo tareas pendientes de los países latinoamericanos, en donde la débil institucionalidad ha dejado la autoridad en manos de los agentes de tránsito, sin que tengan las garantías laborales ni las herramientas tecnológicas para ejercer el control sobre malos comportamientos, actitudes agresivas y falta de educación vial de los diferentes actores de la movilidad urbana. En este sentido, Alonso et al. (2017) argumentan que se requiere una articulación de la educación en seguridad vial con las campañas y piezas comunicativas, para fortalecer el crecimiento de una cultura vial de los diferentes actores. Las campañas que se emprendan deben tener presente que los seres humanos somos diferentes y por ello cualquier estrategia debería tener presente el argumento de Bunge (1985):

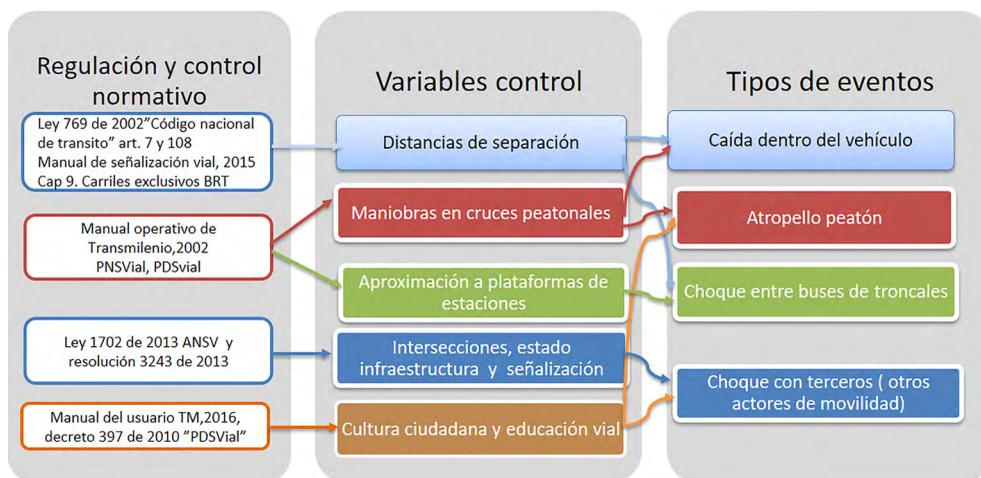
No puedes capturar al hombre con un puñado de fórmulas, porque no hay dos seres humanos idénticos y todos cambiamos de continuo. El hombre no puede ser medido porque no es un objeto físico. Y la conducta humana es impredecible, porque el hombre está dotado de espontaneidad y libre albedrío (p. 53).

El centro del nuevo modelo de sistemas seguros de la OMS (2017), enfocado en la Visión Cero, busca preservar la vida del ser humano, reafirmando la importancia de la cultura y la educación viales y su incidencia en los siniestros que se dan en la interacción hombre-infraestructura-tecnología. El capítulo 3 del Decreto Distrital 397 de 2010 contempla que el proceso de formación y educación vial debe iniciar desde los primeros años del currículo escolar, involucrando la participación de otras instituciones distritales y de los medios de comunicación, con apoyo del manual del usuario de TransMilenio (2016).

En la Figura 16 se esquematiza la relación de las anteriores variables con las regulaciones de control de la organización institucional o del ente gestor TransMilenio y su incidencia en los eventos que se presentaron. En este análisis, unas variables inciden más que otras, como es el caso de distancia de separación, maniobras en cruces peatonales, respeto a las normas de seguridad vial, intersecciones o cruceros, estado de la infraestructura y señalización.

Figura 16.

Control de la interacción del componente humano-infraestructura (I)



Fuente: elaboración propia, 2019.

4.5.2. Componente humano-tecnológico

Los vertiginosos avances tecnológicos exigen capacidades de adaptación rápida para que en la interacción entre las personas y la tecnología se evite al máximo la comisión de errores que repercutan en la seguridad vial del sistema. En esta simbiosis se han identificado las siguientes variables:

a) **Comunicación e información al usuario**

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) han facilitado la toma instantánea de decisiones y conocer en tiempo real las frecuencias de paso de las rutas de servicio del sistema. Sin embargo, cierto uso inadecuado de las herramientas TIC, que han incrementado los niveles de distracción durante los desplazamientos por cualquier medio, y una deficiente comunicación e información al usuario son causales de accidentes o hechos viales. Y aunque la normativa nacional de tránsito contempla el tipo de control que se debe ejercer sobre estas situaciones, algunos mecanismos que la institución implementa para mejorar la comunicación e información no han generado los cambios culturales deseados.

b) **Manejo de los dispositivos de los vehículos**

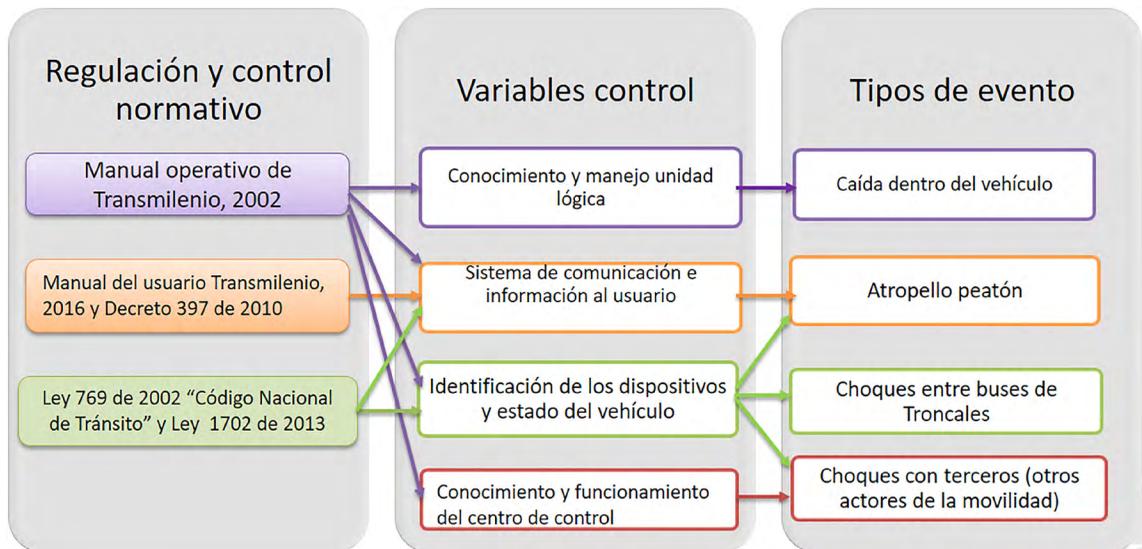
Como se trata de una variable tanto interna como externa, su supervisión al control está bajo la responsabilidad de TransMilenio, de acuerdo con el manual de operaciones y el Código Nacional de Tránsito o Ley 769 de 2002, la Ley 1702 de 2013 y el Decreto 397 de 2010.

c) **Conocimiento del funcionamiento del centro de control**

Esta variable del componente interno del sistema permite reconocer los conocimientos de los conductores sobre el centro de control y las instrucciones y órdenes que se imparten desde allí a través de diferentes sistemas tecnológicos de comunicación. En la Figura 17, se describen las relaciones de las variables de control y las normas de regulación y control aplicables, así como los tipos de evento en los cuales inciden estas variables.

Figura 17.

Control de la interacción del componente humano-tecnológico (I2)



Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Componente infraestructura-tecnología

La comunicación que debe existir entre la infraestructura y las tecnologías pone en el centro del debate la sustitución o limitación de la intervención humana en el desplazamiento de los vehículos en los centros urbanos. El desarrollo de vehículos autónomos y de infraestructuras inteligentes busca reducir los siniestros viales a través de la interacción infraestructura-vehículo. En este contexto, se consideran las variables que más inciden en la seguridad del sistema.

a) **Sincronización del sistema de semaforización**

Esta variable es fundamental porque la sincronización tecnológica de la red semafórica con el uso de la infraestructura a lo largo de los corredores troncales, y en especial de la avenida Caracas, que tiene el mayor número de intersecciones semaforizadas de todo el sistema, ayudaría a mitigar posibles eventos que se producen a diario en dichas intersecciones.

b) Sistema inteligente de control de tránsito

En la interacción infraestructura-tecnología, disponer de un sistema de control inteligente de tránsito permitiría que los eventos con los otros actores de la movilidad se reduzcan sustancialmente. El control de esta variable está contemplado en el Decreto 397 de 2010.

c) Revisión periódica de los vehículos

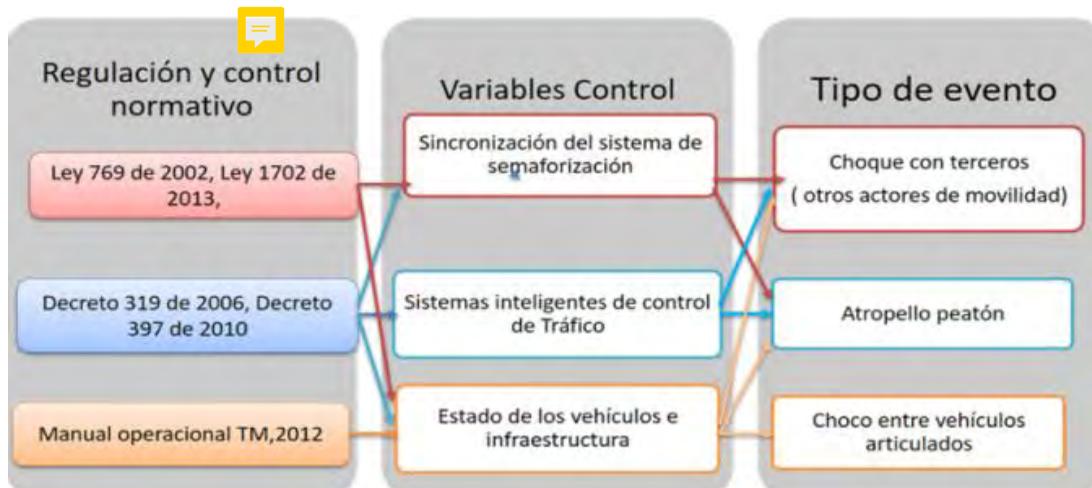
Esta variable permite verificar el estado electromecánico de los autobuses articulados del sistema antes de que entren en operación para garantizarle al usuario seguridad en su viaje.

d) Estado de los vehículos

Esta variable es fundamental porque el estado de la flota vehicular que presta el servicio, de los vehículos de la motorización individual, y las condiciones de la infraestructura del sistema serán fundamentales en la mitigación de siniestros o hechos viales con peatones, choque con terceros y entre buses del sistema (Figura 18).

Figura 18.

Control de la interacción del componente infraestructura-tecnología (13)



Fuente: elaboración propia.

4.5.4. Variables de control del análisis de la seguridad de TransMilenio

La seguridad vial en un sistema de transporte depende de la estabilidad de las interrelaciones entre los diferentes componentes (institucionalidad, infraestructura, tecnología y actuación humana) que interactúan en la operación y no se deducen de la suma de los comportamientos individuales de cada elemento del sistema (González Pérez, 2016, p. 29). A este respecto, Buckley (1973) afirma que “las interrelaciones que se mantienen más o menos estables entre los componentes, en un momento determinado, constituyen la estructura del sistema”, de manera que si hay uno de los componentes falla, otro entre en funcionamiento manteniendo así la seguridad del sistema y se eviten siniestros o hechos viales.

Después de analizar las variables de las interrelaciones entre los diferentes elementos clave del sistema, de revisar su normatividad de regulación y control y de verificar las instituciones responsables de ejercer control, se identificaron las variables de los componentes internos y externos más relacionadas o que más incidieron en los siniestros o hechos viales en los años del periodo de análisis (2010-2016): a) velocidad, b) distancia de separación entre buses, c) estado de la infraestructura (pavimento y señalización), d) respeto a las normas de seguridad vial, e) manejo de los dispositivos del vehículo, f) comunicación e información al usuario, g) estado de los vehículos y h) sincronización del sistema de semaforización.

En este sentido, la Tabla 14 muestra cada una de las variables seleccionadas en el proceso de análisis del fenómeno de la siniestralidad en el sistema, teniendo en cuenta la interacción a la cual se atribuye, los indicadores de medición, la unidad de medida y los instrumentos para recolectar la información y su posterior análisis.

Tabla 14.
Operacionalización de las variables

Variables	Interacción	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Velocidad		Distancia/tiempo	Km/h	Registros en TransMilenio, entes de control y observación y registro del bus con Google Maps y Waze
Distancia de separación entre buses		Distancia entre buses	Metros	Medición en puntos del corredor y observación directa
Estado de la infraestructura (pavimento y señalización)		Condición del pavimento y de la señalización	Km-carril,	Registros IDU e inspección visual in situ
Respeto a las normas de seguridad vial		Cumplimiento de las normas.	Porcentaje de cumplimiento	Diálogos abiertos con diferentes actores del sistema e informes del Observatorio de Movilidad
Manejo de los dispositivos del vehículo		Adiestramiento	Horas de capacitación	Diálogos abiertos con operador y revisión de manuales TransMilenio.
Comunicación e información al usuario		Impacto de los anuncios y campañas	Mensajes y campañas emitidas	Diálogos abiertos con usuarios y oficina de comunicación TransMilenio
Estado de los Vehículos		Km recorrido/ bus	kilómetros recorridos	Registros de TransMilenio, entrevista y notas de prensa con expertos e inspección visual
Sincronización del sistema de semaforización		Tiempo de ciclos semafóricos	Sincronía (segundos)	Observación directa e información de la SDM

Fuente: elaboración propia.

4.6. Nivel de control del sistema TransMilenio en la troncal de la avenida Caracas

En la recolección de información se aplicaron diferentes instrumentos para el análisis de datos cuantitativos y cualitativos en cada variable descrita en la tabla anterior. Para ello se adaptó la herramienta de evaluación cualitativa propuesta por De la Peña et al. (2016) y utilizada por el BID en la evaluación de seguridad en las vías de Latinoamérica y el Caribe. En este sentido, se utiliza la siguiente fórmula para determinar los niveles de control en el corredor troncal de la Caracas durante el periodo de estudio.

$$Nc = \left[\%I_1 (\sum VI_1) + \%I_2 (\sum VI_2) + \%I_3 (\sum VI_3) \right]$$

Donde:

- Nc: Nivel de Control del sistema tramo de estudio
- I_1 : Interacción entre los componentes Humano-infraestructura
- I_2 : Interacción entre los componentes Humano-tecnología
- I_3 : Interacción entre los componentes Infraestructura-tecnología
- $V I_1$: Variables de la Interacción 1
- $V I_2$: Variables de la Interacción 2
- $V I_3$: Variables de la Interacción 3

4.6.1. Ponderación de las interacciones entre componentes

Las observaciones al sistema, en especial en el corredor de estudio, y los diálogos abiertos con diferentes actores, en especial con cuatro funcionarios de TransMilenio y de la Dirección de Seguridad Vial de la SDM, y con la jefa de seguridad de uno de los operadores privados de la troncal Caracas dan cuenta de que no todos los componentes tienen la misma participación ni se da la misma interacción entre ellos cuando se evalúa su incidencia en los siniestros viales.

Del total de variables analizadas se seleccionaron las ocho (8) que presentaron mayores relaciones entre los diferentes componentes que se evaluaron; adicionalmente, al analizar las causas de los siniestros, según los

reportes en las bases de datos de la SDM, la mayoría de estas variables habrían influido de una u otra manera. De este grupo, cuatro pertenecen a la interacción (I_1), componentes humano-infraestructura, por lo que se ponderaron con el 50 %, equivalente a un factor de (0.5), mientras que las otras interacciones (I_2) y (I_3) se ponderaron con 25 % cada una, equivalente a un factor de (0.25). Estas ponderaciones se adaptaron a partir de las ocho variables seleccionadas por lo que cada una tendría un peso específico de 12.5 % del total de la calificación; en este sentido, en la interacción (I_1) hay cuatro variables y en las interacciones (I_2) y (I_3), dos variables en cada una. La valoración cualitativa de las variables y el nivel de control se evalúa conforme se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15.
Valoración cualitativa de variables y nivel de control

Valoración de las variables y nivel de control	Calificación (puntos)
Muy bueno	5
Bueno	4
Regular	3
Deficiente	2
Malo	1

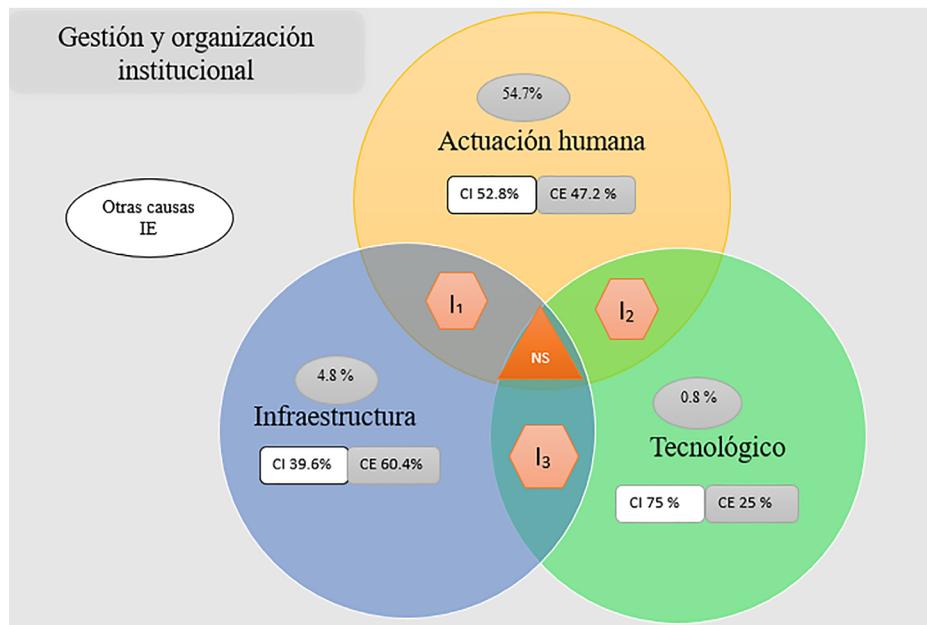
Fuente: elaboración propia.

A la valoración *Muy bueno* se le asigna la máxima calificación de cinco (5), lo cual indica que el control que ejerce la institucionalidad del sistema y demás autoridades involucradas en garantizar la seguridad vial se cumple de manera eficiente; en el otro extremo a la valoración *Malo* se le asigna una calificación de uno (1), que indica que no se cumple de forma eficiente con los controles que garantizan la seguridad de los pasajeros y demás actores viales que interactúan con el sistema en el corredor de estudio.

4.6.2. Evaluación de variables en la interacción humano-infraestructura

Las variables definidas en esta interacción son, sin duda, las de mayor incidencia en la siniestralidad vial del sistema. De acuerdo con un análisis de las causas o hipótesis probables de siniestros viales, según datos de 2015 suministrados por la SDM, el factor humano está relacionado con el 54.7 % de los siniestros ocurridos en las troncales de TransMilenio; de este porcentaje el 52.8 % se debe a componentes internos del sistema y el 47.2 % a componentes externos. Asimismo, se encuentra que el factor de la infraestructura está relacionado con el 4.8 % de los siniestros, y que en este porcentaje el 39.6 % obedece a componentes internos de sistema y el 60.4 % a componentes externos. Por su parte, el componente tecnológico incide en el 0.8 % de los siniestros, de los cuales el 75 % obedece a causas internas del sistema y el 25 % a externas. Estos datos demuestran la fuerte interacción que existe entre los componentes humano e infraestructura (Figura 19).

Figura 19. Porcentaje de incidencia de los componentes internos y externos de cada factor influyente en los siniestros

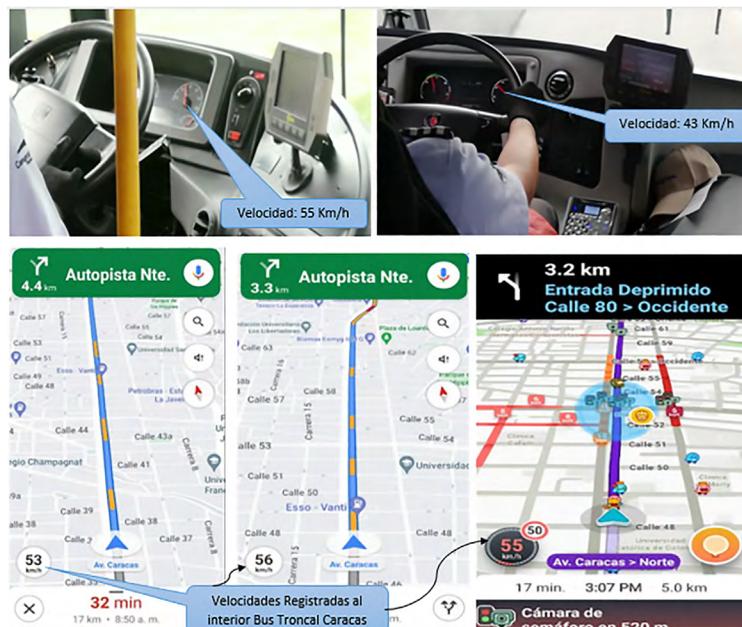


Fuente: elaboración propia a partir de datos suministrados por la SDM, 2016.

A continuación, se presentan las evaluaciones, a partir de las diferentes técnicas utilizadas (diálogos abiertos, inspección visual, observación participante), a los controles de cada una de las variables definidas en la interacción del comportamiento humano-infraestructura.

- a. *Velocidad.* Según las mediciones realizadas por TransMilenio cada 20 segundos, la velocidad de operación de los vehículos articulados es de 25 km/h, y para la troncal de la avenida Caracas el promedio de velocidad es de 24.5 km/h en sentido norte-sur y de 26.5 km/h en sentido sur- norte (comunicación personal, Luis Fernando Cortés, coordinador técnico operativo de TransMilenio, abril de 2018). Sin embargo, por medio de observación participante dentro de los buses y registrada también con Google Maps y Waze (Figura 20), se evidenció que, en algunas horas del día, en especial las horas pico o de alta demanda, dos de cada diez autobuses articulados, o sea el 20 %, transitaba a velocidades por encima de los 40 km/h en ciertos tramos de la troncal, llamados “Zonas 40” por la interacción de diferentes actores viales y altos flujos peatonales.

Figura 20.
Registro de velocidades en los buses en la troncal Caracas



Fuente: elaboración propia.

A este respecto, una usuaria frecuente del sistema en las rutas que circulan por la troncal de la avenida Caracas manifestó que:

Desde hace 5 años todos los días uso TransMilenio para dirigirme al trabajo, y en la mayoría de las ocasiones los buses van muy rápidos. En una oportunidad vi cómo un bus articulado, que circulaba a alta velocidad, impactaba por atrás a otro, que estaba detenido esperando el cambio del semáforo. (D. Castro, comunicación personal, 15 de julio de 2016)

La problemática de la siniestralidad llevó a que Bogotá adoptara la filosofía y enfoque de la Visión Cero con el objetivo de gestionar y ejercer mayor control sobre el exceso de velocidad en los diferentes corredores viales de la ciudad. En este sentido, la directora de seguridad vial manifestó que:

Se estableció con los operadores del sistema el “Pacto zona 40” para que los buses en algunas zonas no sobrepasen esta velocidad; adicionalmente, se realizan operativos aleatorios con radares para hacer control a las velocidades a las cuales circulan los buses del sistema. (N. Torregrosa, Dirección Técnica de Seguridad TransMilenio, comunicación personal, 20 de diciembre de 2016)

Sin embargo, el control sobre la velocidad no ha tenido los resultados esperados. La valoración de esta variable fue regular y obtuvo una calificación promedio de 3.71 en los años evaluados. Esta evaluación se soporta con la observación participante, diálogos abiertos con usuarios frecuentes e informe de las autoridades de tránsito, e informes de la personería de Bogotá, que consideraron el exceso de velocidad como una de las causales de los siniestros viales de TransMilenio durante el período de estudio (Caracol Radio, 20 de abril de 2010; El Espectador, 25 de septiembre de 2011; Revista Semana, 29 de septiembre de 2016).

b) *Distancia de separación entre buses.* El control sobre variable se asocia con las velocidades de circulación de los buses articulados y biarticulados, así como con la alta frecuencia de buses en las horas de mayor demanda de pasajeros. Para el caso de la troncal Caracas se evidenció que en las horas pico de 2010 circulaban en promedio 210 buses/hp; 7

años después, el número de autobuses en las horas pico prácticamente se triplicó y llegó a 577 buses/hp y la frecuencia de paso se redujo de 17.14 s a 5.08. Lo anterior hace que las distancias de seguridad o separación entre buses sean menores a las establecidas en las normas de tránsito y manuales que para el caso de estudio está entre 10 a 20 m, con lo cual aumenta la posibilidad de ocurrencia de hechos viales. Sobre estos riesgos un funcionario de uno de los operadores de la fase I consideró que:

La sobredemanda de pasajeros que en los últimos años se viene presentando en TransMilenio, en especial en el corredor de la troncal Caracas, donde la infraestructura no da para las exigencias del sistema, propicia tener menores distancias de seguridad entre los buses articulados, lo que reduce la visibilidad de los conductores para reaccionar ante el cruce inesperado de un peatón que decida cruzar los carriles exclusivos. (M. Betancur, jefa HSEQ, comunicación personal, 12 de octubre de 2016)

En observación directa e inspección visual *in situ* en algunos tramos de la troncal Caracas, se establecieron puntos de referencia con distancias de 5, 10 y 20 m. Allí se logró observar, en intervalos de tiempo de 15 m, que en las horas pico uno de cada diez buses llevaba una distancia de separación menor de 5 m y que la mayoría mantenía distancias que oscilaban entre los 10 y 20 m (Figura 21); por lo anterior, la evaluación para esta variable es regular, con una calificación promedio de 3.43, debido a que no siempre se cumple con las distancias mínimas de separación establecidas en el Código de Tránsito, que en su artículo 108 contempla 10 m de separación para velocidades menores a 30 km/h y 20 m para velocidades entre 30 y 60 km/h.

Figura 21.

Distancia de separación entre buses



Fuente: elaboración propia.

c. *Estado de la infraestructura.* Para el análisis del estado de la infraestructura se adoptó la metodología del Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (IRAP), que evalúa el estado de la vía teniendo en cuenta las condiciones de la capa de rodadura del pavimento y el estado de la señalética vertical y la demarcación horizontal. Los criterios de evaluación cualitativos aplicados por IRAP consideran tres categorías: *bueno*, *regular* y *malo*. Para complementar esta evaluación se adicionaron las categorías *muy bueno* y *deficiente* que, según Asprilla Lara, García de Quevedo y González Pérez (2017, p. 22), permiten hacer un análisis más amplio y acorde con las condiciones reales del entorno urbano en los corredores BRT.

Las categorías anteriores se evaluaron con la técnica de inspección visual, realizada a lo largo de la troncal de estudio y se complementó con los informes del Observatorio de Movilidad entre 2007 y 2016. Para el caso de la señalización se tuvieron en cuenta criterios de visibilidad, legibilidad, comprensibilidad y credibilidad. La Figura 22 evidencia el estado de la señalización horizontal en la línea troncal Caracas.

Figura 22.

Estado de la señalización horizontal de la troncal Caracas



Fuente: elaboración propia.

Desde su diseño y construcción en 1999, el corredor troncal de la avenida Caracas tuvo deficiencias en las losas de concreto que, de una u otra forma, han incidido en la seguridad vial y en la operación del sistema. Por ello, el IDU debe realizar intervenciones periódicas en los 1128 km de carril troncal, de los cuales, según la entidad, el 85 % se encuentra en buen estado, el 14 % en regular y solo el 1 % en mal estado. Sin embargo, la inspección visual realizada en la troncal avenida Caracas encontró que gran parte de la infraestructura del pavimento de este corredor está en regular o en mal estado. La Figura 23 evidencia el estado del pavimento en uno de los carriles segregados, por donde circulan los buses articulados de la avenida Caracas.

Figura 23.

Estado del pavimento de la troncal avenida Caracas



Fuente: elaboración propia.

A este respecto, la directora técnica de seguridad vial de TransMilenio manifestó que:

Las intersecciones de las troncales son los puntos más conflictivos y críticos, donde se presentan con frecuencia los accidentes, siniestros o hechos viales del sistema, y en las troncales existentes de la fase I los diseños no tuvieron en cuenta factores y criterios de seguridad vial, como barreras, separadores, señalización, intersecciones seguras para peatones, y los controles en puntos críticos lo ejerce la policía de tránsito. (N. Torregrosa, Dirección Técnica de Seguridad TransMilenio, comunicación personal, 20 de diciembre de 2016)

Con esto se evidencia que los diseños y la construcción de la infraestructura de las primeras troncales de TransMilenio, como la Caracas, no tuvieron en cuenta criterios específicos de seguridad vial, tales como las “vías perdonadoras”, término introducido por la Visión Cero, que permitieran evitar

siniestros a los actores de la movilidad, en especial, a los peatones, los más vulnerables, siendo los atropellos el tipo de accidente vial más frecuente en la troncal Caracas. Así pues, la valoración para este componente del estado de la infraestructura durante el periodo de estudio fue regular, con una calificación promedio de 3.43.

d. *Respeto a las normas de seguridad vial.* El respeto a las normas de seguridad depende del control que ejerzan las autoridades y de agresivas campañas de sensibilización y educación vial. En las observaciones a lo largo del corredor vial, se evidenció que tanto los conductores de los buses articulados como de otros medios de transporte, que se entrecruzan con la operación del sistema, desobedecen e incumplen las normas viales (Figura 24).

Figura 24.

Desobediencia a las normas de seguridad vial, troncal de la avenida Caracas



Fuente: elaboración propia.

Sobre este tema, un usuario del corredor expresó lo siguiente:

El irrespeto a las normas de tránsito y la pérdida de la cultura ciudadana se debe a la falta de continuidad por parte de la administración distrital de los programas enfocados

al fortalecimiento y capacitación de todos los actores que transitamos a diario por las vías, en especial los motociclistas, ciclistas y peatones, que somos los más vulnerables y que en ocasiones somos imprudentes en la vía. (John Iglesia, motociclista, comunicación personal, 10 de enero de 2017)

En este mismo sentido, el ingeniero Dilson Romero de la SDM manifestó que:

Es vital recuperar el respeto a las normas de tránsito y el buen comportamiento en las vías por parte de todos los actores de la movilidad, sea cual sea su modo de movilizarse en la ciudad. En el caso de los operadores troncales se les han realizado cursos de capacitación y acompañamiento en los planes empresariales de seguridad vial. (D. Romero Dirección de Seguridad Vial de la SDM, comunicación personal, 9 de enero de 2017).

Por su parte, un funcionario de uno de los principales operadores de la fase I de TransMilenio consideró que “Existe una falta de cultura absoluta; perdimos la cultura ciudadana que teníamos 10 años atrás y eso hace que la exposición de los terceros (otros actores de la movilidad) a sufrir accidentes sea más alta” (M. Betancur, jefa HSEQ, comunicación personal, 12 de octubre de 2016).

Todo esto se encuentra alineado con las más de cincuenta estrategias de seguridad vial, enfocadas en la mejora del comportamiento ciudadano y del respeto al reglamento de tránsito, según se consigna en el Plan Distrital de Desarrollo 2016-2026. Sin embargo, a enero de 2017 solo se habían implementado siete estrategias, lo que corresponde a un cumplimiento del 14 %, sin conocer su verdadero impacto en los diferentes usuarios de las vías Bogotanas (Cámara de Comercio de Bogotá y Universidad de los Andes, 2017). La falta de continuidad de las acciones de educación vial y cultura fueron algunos motivos de los bajos niveles de cumplimiento y respeto a las normas de seguridad. Así, de acuerdo con la encuesta de percepción ciudadana, el 14 % de los habitantes de Bogotá piensa que se comporta bien y que respeta las normas básicas de tránsito (Cámara de Comercio de Bogotá y Universidad de los Andes, 2017, p. 86). Por las anteriores evidencias se le

asignó a esta variable una evaluación de regular, con una calificación promedio de 3.43 durante el periodo de estudio, siendo la más baja de las cuatro variables que integran el componente humano-infraestructura.

4.6.3. Evaluación de variables en la interacción humano-tecnología

Las variables relacionadas con esta interacción buscaron la relación estrecha entre el componente humano y la tecnología, que es un elemento indispensable en el proceso operacional y de seguridad de los pasajeros de TransMilenio. Con el análisis de las variables internas y externas, se definieron las siguientes:

- a. *Manejo de los dispositivos del vehículo.* El manual operativo del sistema TransMilenio contempla las horas de entrenamiento que deben tener los conductores que se aprestan a conducir un bus padrón, articulado o biarticulado. Dicha capacitación está bajo la responsabilidad de los concesionarios operadores del sistema y bajo la supervisión y control del ente gestor TransMilenio. Se establece que todos los conductores deben recibir como mínimo 4 horas de entrenamiento teórico-práctico sobre el conocimiento cada uno de los dispositivos del vehículo, como el sistema de seguridad (frenos, bloqueo de puertas, direccionales, luces, entre otros), manejo de la unidad lógica y sistema de comunicación por voz, reporte de fallas del vehículo, entre otras (TransMilenio, 2018b, p. 115).

En este sentido, quien fuera el gerente de TransMilenio entre 2008-2011 manifestó que:

Se establecieron campañas de educación a los conductores, manejo defensivo, control sobre la conducción. Para capacitar mejor a sus conductores, los operadores adquirieron simuladores de manejo, entrenamiento y reacciones frente a factores externos que generan inseguridad vial. Adicionalmente, se generó un tema de incentivos a los operadores a quienes menos situaciones de riesgo e incidentes tuvieron durante el proceso de conducción, los cuales tenían premios y eran distinguidos. (F. Páez, gerente de TransMilenio 2008-2011, comunicación personal, 14 de octubre de 2016)

El sistema tiene un protocolo de capacitación y entrenamiento para los conductores del sistema, el cual obliga a todos los concesionarios operadores

del sistema troncal a cumplir a cabalidad, por lo que la valoración de esta variable fue buena, con una calificación promedio de 4.43, siendo la más alta de todas.

b. *Comunicación e información al usuario.* El ente gestor TransMilenio ha desarrollado diferentes actividades y estrategias de comunicación en redes sociales. Así, para septiembre de 2018, acumulaba un registro de 83 957 seguidores en Facebook, 10 200 en Instagram, 1.7 millones de seguidores en Twitter, y en el canal de YouTube hay más 11 238 registrados y sus videos tienen cerca de 12.3 millones de visualizaciones, en tanto que en su página web acumulaba más de 4.5 millones de visitas; desde junio de 2017 lanzó la aplicación “TransMi App” la cual cuenta con más de 50 mil descargas.

Adicionalmente, el sistema realiza en otros medios de comunicación comerciales para informarle a los usuarios y demás actores de la movilidad sobre hechos relevantes del acontecer diario y novedades como nuevas rutas, cambios en servicios, imprevistos en la operación, entre otros; asimismo, hace campañas de sensibilización sobre cultura ciudadana, actividades de gestión social y capacitación para el buen uso del sistema.

Por ejemplo, el exgerente del sistema Fernando Páez expresó que:

Era frecuente hacer campañas de cultura y respeto por el otro en mensajes de voz dentro del vehículo, lo que permitía persuadir (*sic*) a las personas sobre el mal comportamiento ciudadano, ya que esto generaba accidentes y, adicionalmente, se sacaba mensualmente el *Boletín Atento* que se entregaba a todos los conductores. (F. Páez, gerente de TransMilenio 2008-2011, comunicación personal, 14 de octubre de 2016)

Si bien el sistema ha mantenido las campañas de comunicación, especialmente en redes sociales, sus mensajes y estrategias de comunicación no han tenido el efecto esperado, por ello, se debe hacer un esfuerzo mayor para que los usuarios y demás modos de transporte que están en contacto con el sistema mejoren sus comportamientos, que, en algunos casos, van en contra de la convivencia, los reglamentos y decálogos de TransMilenio. Por las evidencias anteriores la valoración de esta variable es regular, con una calificación promedio de 3.7.

4.6.4. Evaluación de variables en la interacción infraestructura-tecnología

La relación entre estos dos componentes de la movilidad, sin duda, incide en la ocurrencia de accidentes, siniestros o hechos viales; pero gracias a los avances tecnológicos, los autobuses para el transporte de pasajeros (articulados y biarticulados) interactúan con la infraestructura sobre la cual son utilizados. En el análisis del control a esta interacción se eligieron las siguientes variables:

- a. *Estado de los vehículos.* Desde 2013, los buses de la fase I cumplieron con su vida útil porque llegaron al kilometraje límite que inicialmente se había establecido en los contratos con los operadores (850 000 km). Sin embargo, las administraciones distritales de turno prorrogaron en dos oportunidades la vida útil de los buses, extendiéndola a 1 500 000 km de recorrido; estas decisiones fueron avaladas, según la administración del sistema, por certificados presentados por los fabricantes de los vehículos y establecidos en la ley, la cual contempla que los buses pueden operar hasta los 20 años; sin embargo, se sabe que estos buses a diario se someten a una exigencia alta por la gran demanda que deben atender en esta vía troncal de la avenida Caracas. En entrevista en Caracol Radio un conductor (que reserva su identidad, la cual fue cambiada por don Miguel Fuente) de uno de los operadores del sistema TransMilenio manifestó que:

El mantenimiento de los buses es muy deficiente, no se les presta la atención necesaria para la seguridad de los usuarios; las llantas son reencauchadas, el sistema de frenos es deficiente y los riesgos son muy altos, sistema de caja malo y los vehículos salen en muy mal estado a prestar el servicio. (Caracol Radio, 20 septiembre de 2017)

En este contexto, los reportes de buses articulados con fallas mecánicas o “varados” en plena operación, muestran que en el 2016 se registraron 9678 situaciones de buses varados, que equivale a aproximadamente a cerca de 26 buses diarios, y los concesionarios con más casos reportados

corresponden a operadores de las primeras fases del sistema. Sobre este asunto, Fernando Rey, gerente de TransMilenio por unos meses en el año 2012, expresó que “El sistema reventó y para mantener la atención a la demanda simplemente están metiendo esos buses viejos y ahí vienen los problemas”. Opinión personal en el espectador como experto en la temática (El Espectador, 15 de septiembre de 2017).

Asimismo, el profesor Fernando Rojas, experto en movilidad y profesor universitario expresó que “Los recientes problemas evidencian que algo en el control de TransMilenio no se está haciendo de forma rigurosa” (González Penagos y Marín Correa, 2017). Por su parte Tulio Zulouaga, quien fue presidente de Asopartes, manifestó que:

Falta supervisión y control por parte del distrito al mantenimiento de los buses, hay vehículos que realmente son chatarras pintados de rojo y realmente la situación es bastante delicada, porque se debe tener en cuenta que en los accidentes han muerto gente y dejado muchos heridos. (Caracol Radio, 20 septiembre de 2017)

Por otro lado, María Constanza Álvarez, subgerente de comunicaciones de TransMilenio, manifestó que “Los buses cumplen las exigencias en materia de mantenimiento preventivo diario y correctivo, y todos los días cumplimos nuestra tarea de cuidar los buses” (González Penagos y Marín Correa, 2017). Las opiniones anteriores y las evidencias observadas *in situ* indican que hay fallas en el control que ejerce el ente gestor, toda vez que las verificaciones, inspecciones y revisiones mecánicas se realizan de manera aleatoria y no a la totalidad de las unidades, con lo cual la valoración para esta variable fue regular y con una calificación promedio de 3.29, una de las evaluaciones más bajas en el periodo de estudio. A partir de las dificultades antes mencionadas, en 2018 TransMilenio emprendió el proceso de licitación para la renovación de la flota, para adquirir 964 buses biarticulados y 477 articulados, para sumar 1441 buses que cumplieran con estándares de bajas emisiones o tecnologías limpias Euro V con filtro y Euro VI con gas natural, que fueron llegando a la ciudad de forma gradual entre el segundo semestre de 2019 y septiembre de 2020. De esta manera, para el 31 de diciembre de 2020 el sistema quedó con un total 2342

buses, renovación que ha permitido una mejora en la flota del sistema troncal y una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero, con el reto de que las próximas renovaciones sean con vehículos de cero emisiones o ciento por ciento eléctricos (TransMilenio y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

b. *Sincronización sistema de semaforización.* La sincronización semafórica sobre los 22 km del corredor de la Caracas juega un papel fundamental en la operación y seguridad del sistema, toda vez que esta avenida tiene cerca de 68 cruceos o intersecciones semaforizadas que, según la SDM, tienen ciclos que promedian los 127 s. En las observaciones directas se evidenció que estos tiempos varían según el tipo de intersección; así, en aquellas que solo tienen semáforos peatonales los ciclos disminuyen, notando que no son suficientes en algunos casos puntuales, especialmente para las personas con movilidad reducida.

Por otro lado, para garantizar el flujo de los buses articulados el sistema implementó en las intersecciones de la troncal Caracas un grupo de guías o “paleteros” en las horas pico que ayudan a mantener la sincronización semafórica y a evitar el bloqueo por el tráfico mixto. Por eso, la SDM creó la estrategia “Dale ritmo a Bogotá”:

La campaña busca que los conductores de vehículos particulares no bloqueen el sistema en las intersecciones cuando hay cambios semafóricos, pero esto requiere de apoyo por parte de la comunidad y mucha cultura vial. Adicionalmente, la entidad está estructurando la licitación para la modernización e implementación del sistema semaforización inteligente, con tiempos adaptativos a las circunstancias del tráfico, esto permitirá mejor sincronización de los semáforos en intersecciones de las troncales del sistema TransMilenio. (D. Romero, Dirección de Seguridad Vial de la SDM, comunicación personal, 9 de enero de 2017)

Con base en los datos, en diálogos abiertos con funcionarios de la SDM y con apoyo en la observación directa, la valoración para esta variable fue buena, con una calificación promedio de 4.0.

4.6.5. Evaluación del componente institucional

La institucionalidad del sistema está a cargo del ente gestor TransMilenio S.A., que es el primer responsable de garantizar la seguridad operacional, actividad que desarrolla desde el centro de control; sin embargo, este control a los operadores de buses para que cumplan con los servicios es un factor que genera estrés en algunos conductores, lo que podría generar riesgos relacionados con la prevención y ocurrencia de siniestros viales . Un funcionario de uno de los operadores de la troncal Caracas, quien pidió reserva de su nombre, manifestó que:

El centro de control siempre ha sido un factor causante de estrés en los operadores de buses, porque es el que está regulando la operación todo el tiempo y está siempre encima por los retrasos, presiona por el cumplimiento de las frecuencias y demás detalles de servicios programados. (Funcionario del consorcio operador, comunicación personal, julio de 2016)

Asimismo, el exgerente de TransMilenio, Fernando Páez, manifestó que:

El sistema TransMilenio perdió gobernabilidad e institucionalidad, y capacidad operativa que permitiera organizar la responsabilidad de los operadores para evitar eventos de inseguridad vial. Si no se tiene una buena administración del sistema no funciona nada, ni la operación ni la seguridad vial, porque es ahí donde están las directrices para preparar el equipo humano, una mala institucionalidad trae malos sistemas. La base de la seguridad vial es la institucionalidad, control, normas y procedimientos, luego, factor humano asociado a la institucionalidad y de ahí en adelante los demás elementos del sistema dependerán de que haya roles establecidos en cada componente de manera integral. (F. Páez, gerente de TransMilenio 2008-2011, comunicación personal, 14 de octubre 2016)

En criterio de Darío Hidalgo, experto en movilidad y exsubgerente del sistema, “TransMilenio ha perdido favorabilidad año tras año, de 49 % en 2008, a 15 % en 2014. La explicación pasa por la falta de inversión en expansión y ampliación, pero también descuido en la gestión” (Cámara de Comercio de Bogotá y Universidad de los Andes, 2017, p. 50).

Por su parte, la exgerente del sistema entre 2016-2017, Alexandra Rojas, manifestó que:

TransMilenio requiere que se termine de construir la infraestructura que inicialmente se había proyectado para mejorar el servicio al usuario. El sistema mejoró las condiciones que tenía la avenida Caracas antes de su operación en términos de seguridad vial, calidad del aire y velocidades promedios de los vehículos que circulaban por este corredor (Canal Capital, 2017).

4.7. Resultados del análisis de la seguridad vial del sistema TransMilenio

Los resultados evidencian que, durante el periodo de análisis, el sistema disminuyó su control operacional a sus diferentes componentes. La Tabla 16 muestra los hallazgos obtenidos de los niveles de control a cada una de las interacciones que influyeron en la seguridad **viaria** de TransMilenio en la línea troncal de la Caracas; en resumen, la valoración final obtenida al control de las interacciones durante el periodo 2010-2016 fue regular, con una calificación ponderada de 3.68, aplicando la herramienta de evaluación cualitativa utilizada por el BID, la cual fue ajustada y adaptada para el estudio de caso.

Tabla 16.

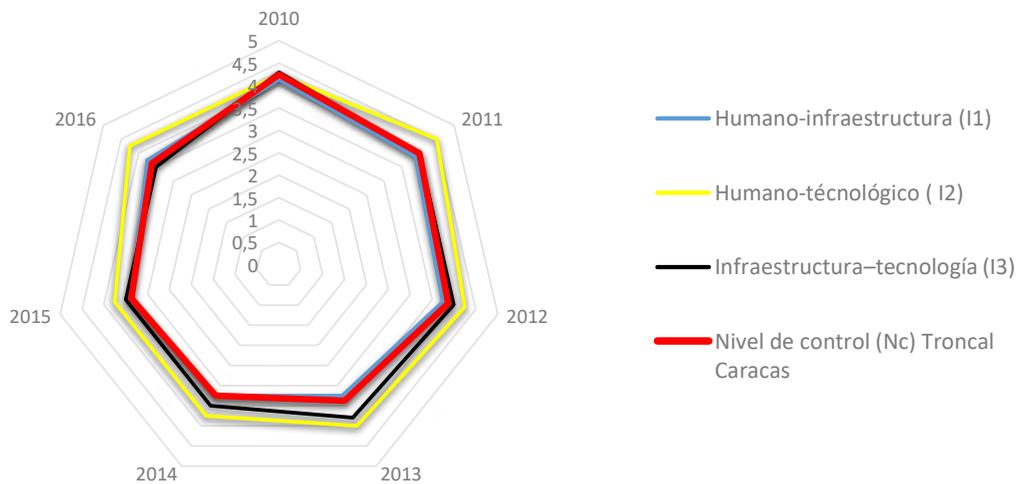
Evaluación del nivel de control a las interacciones en la troncal avenida Caracas

Interacciones	Calificación periodo 2010-2016							Promedio
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Humano-infraestructura (I_1)	4.13	3.88	3.75	3.25	3.25	3.38	3.75	3.50
Humano-tecnología (I_2)	4.25	4.5	4.3	4.0	3.8	3.8	4.3	4.07
Infraestructura-tecnología (I_3)	4.3	4.0	4.0	3.8	3.5	3.5	3.5	3.6
Nivel de control (Nc) Troncal Caracas	4.25	4.00	3.88	3.38	3.25	3.38	3.63	3.68

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, la Figura 25 indica los resultados de la evaluación de los niveles de control, donde se evidencia que la interacción que tuvo menor control se vio en las variables relacionadas con el componente humano-infraestructura. Por otro lado, se destaca que en 2010 existía un mejor desempeño en materia de control a todas las interacciones del sistema en el corredor de estudio y que con el pasar de los años fue disminuyendo, llegando a sus niveles más bajos en 2013, 2014 y 2015.

Figura 25.
Niveles de control a las interacciones en la troncal avenida Caracas

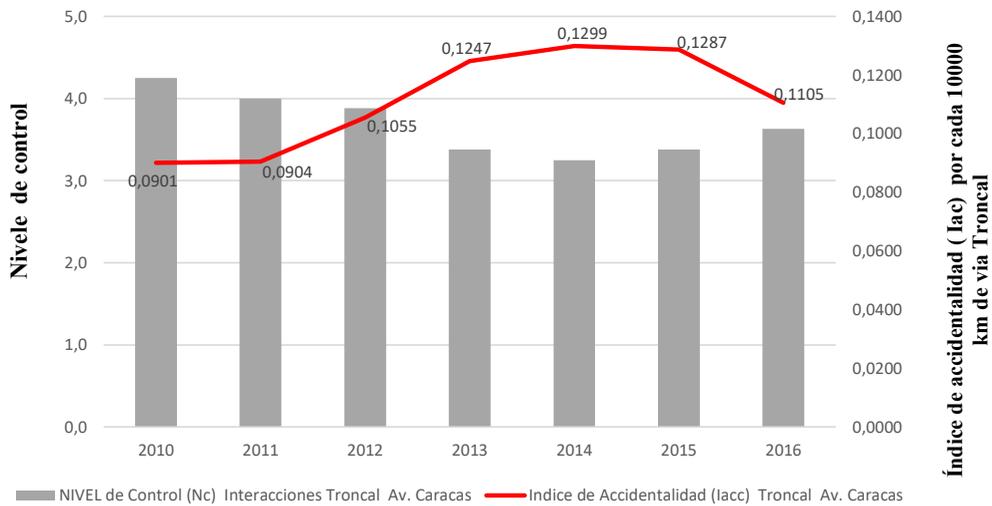


Fuente: elaboración propia.

La Figura 26 detalla un comparativo de los resultados del nivel de control en la troncal de la avenida Caracas y los índices de siniestralidad durante el periodo de análisis. Los datos muestran que entre 2013 y 2015, cuando disminuyó el nivel de control, los índices de siniestralidad aumentaron en promedio un 41 % con respecto a 2010 y 2011. Esto indica que existe una correlación entre el control que se haga desde la institucionalidad y la ocurrencia de accidentes o siniestros viales en el corredor troncal de la avenida Caracas. Por consiguiente, se infiere que a menor control mayores serán los índices de siniestralidad, existiendo una relación inversamente proporcional entre estos dos elementos de la seguridad vial.

Figura 26.

Niveles de control e índice de siniestralidad de la troncal avenida Caracas



Fuente: elaboración propia a partir de información de TransMilenio y SDM, 2016.

La determinación de los niveles de seguridad vial en el sistema TransMilenio y corredor de estudio se estimaron con la aplicación de la fórmula utilizada por TransMilenio para evaluar los índices de siniestralidad en la operación del sistema por cada 10 000 km de vías troncales recorridas.

$$I_{ac} = \frac{As \times 1 + Ah \times 3 + Af \times 18}{\text{Total de kilómetros recorridos}} \times 10000$$

Donde:

Ia: Índice de siniestralidad

As: Accidentes o hechos viales sin heridos ni fatalidades denominados simples

Ah: Accidentes o hechos con heridos

Af: Accidentes con fatalidades

i: Periodo 2010 al 2016

Los resultados de la fórmula permitieron determinar el nivel de seguridad vial del sistema con letras entre A-E, a las cuales se les asignó una calificación de 1 a 5 así: a la letra A le corresponde una calificación de 5, que

quiere decir que en ese año el sistema tuvo bajos índices de siniestralidad, mientras que a la letra E le corresponde una calificación de 1, lo que indica que en ese año el nivel de siniestralidad fue alto. En la Tabla 17 se describe la medición del nivel de seguridad.

Tabla 17.
Medición del índice de siniestralidad y nivel de seguridad

Nivel de seguridad	Valor Iacc	Calificación
A	≤ 0.060	5
B	$[0.060 - 0.120)$	4
C	$[0.120 - 0.180)$	3
D	$[0.180 - 0.240)$	2
E	≥ 0.240	1

Fuente: elaboración propia con datos de indicadores TransMilenio, 2018.

Con los análisis de datos estadísticos suministrados por TransMilenio y la SDM, se aplicó la fórmula antes descrita para determinar los índices de siniestralidad y la calificación del nivel de seguridad vial del sistema en su conjunto y en la troncal avenida Caracas. La Tabla 18 describe los índices de siniestralidad del sistema por cada 10 000 km recorridos de troncal. En 2010, el sistema en su conjunto tuvo un nivel de seguridad A, lo que indica que sus índices de siniestralidad fueron bajos; entre 2011 y 2014 el nivel de seguridad fue de B, con índices de siniestralidad medio-bajo; para 2015, el nivel de seguridad bajó a C, siendo el año más crítico para el sistema. En términos generales, la calificación promedio del nivel de seguridad del sistema fue de 4.0, la cual se puede mejorar si se aplica un mayor control a todos los componentes internos y externo del sistema.

Tabla 18.

Niveles de seguridad vial en el sistema TransMilenio, 2010-2016

Año	Accidentes	Accidentes simples	Accidentes con heridos	Accidentes con fatalidades	Promedio km recorridos/año	Índice de siniestralidad (lacc) por cada 10 000 km	Nivel de seguridad	Índice de siniestralidad por cada 10 000 km	Calificación nivel de seguridad vial por cada 10 000 km
2010	218	118	93	7	92 620 000	0.0565	A	Bajo	5.0
2011	276	156	115	5	93 667 954	0.0631	B	Medio-bajo	4.0
2012	319	62	250	7	100 984 070	0.0929	B	Medio-bajo	4.0
2013	365	75	278	12	119 680 765	0.0940	B	Medio-bajo	4.0
2014	470	130	321	19	135 948 276	0.1056	B	Medio-bajo	4.0
2015	577	200	344	33	146 926 503	0.1243	C	Medio	3.0
2016	552	180	343	29	147 064 990	0.1177	B	Medio-bajo	4.0
								Promedio	4.0

Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio y SDM, 2016.

Para entender cómo ha evolucionado el fenómeno desde el último año (2016) de análisis, se completa la serie con los datos del periodo 2017-2019 (Tabla 19).

Tabla 19.

Niveles de seguridad vial en el sistema TransMilenio, 2017-2019

Año	Accidentes	Accidentes simples	Accidentes con heridos	Accidentes con fatalidades	Promedio km recorridos/año	Índice de accidentalidad (lacc) por cada 10 000 km	Nivel de seguridad	Índice de accidentalidad por cada 10 000 km	Calificación nivel de seguridad vial
2017	649	420	207	22	134 707 113	0.106675881	B	Medio-bajo	4.0
2018	842	427	382	33	135 029 586	0.160483348	C	Medio	3.0
2019	517	153	350	14	154 361 111	0.094259493	B	Medio-bajo	4.0

Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio y SDM, 2021.

La tabla anterior muestra que los hechos viales del sistema se han mantenido por encima de los 500 siniestros. La serie de tiempo analizada da

cuenta de que 2018 tuvo los índices de accidentalidad más altos, con 33 personas fallecidas; en 2019 estas cifras descendieron a 14, debido, seguramente, a algunas medidas como la instalación de barreras de protección lateral en estaciones, modernización de la flota de buses, control operacional, entre otras.

Por otro lado, la Tabla 20 resume los resultados de las evaluaciones de la troncal avenida Caracas, cuyos índices de siniestralidad por cada 10 000 km recorridos de troncal fueron medio-bajo en los tres primeros años, con un nivel de seguridad B, y una calificación de 4.0. Entre 2013-2015, los índices de siniestralidad se incrementaron y el nivel de seguridad bajó a categoría C con una calificación de 3.0; en este sentido, la calificación promedio del nivel de seguridad en la troncal Caracas fue de 3.57, por debajo de la obtenida en todo el sistema TransMilenio.

Tabla 20.

Niveles de seguridad vial en la troncal avenida Caracas, 2010-2016

Año	Accidentes	Accidentes simples	Accidentes con heridos	Accidentes con fatalidades	Promedio km recorridos/año ³	Índice de siniestralidad (lacc) por cada 10 000 km	Nivel de seguridad	Índice de siniestralidad por cada 10 000 km	Calificación de nivel de seguridad vial por cada 10 000 km
2010	65	11	48	6	29.193.124	0.0901	B	Medio-bajo	4.0
2011	81	17	61	3	28.085.867	0.0904	B	Medio-bajo	4.0
2012	103	11	90	2	30.035.587	0.1055	B	Medio-bajo	4.0
2013	130	18	108	4	33.196.833	0.1247	C	Medio	3.0
2014	125	18	101	6	33.023.964	0.1299	C	Medio	3.0
2015	130	31	93	6	32.481.377	0.1287	C	Medio	3.0
2016	105	24	75	6	32.310.303	0.1105	B	Medio-bajo	4.0
								Promedio	3.57

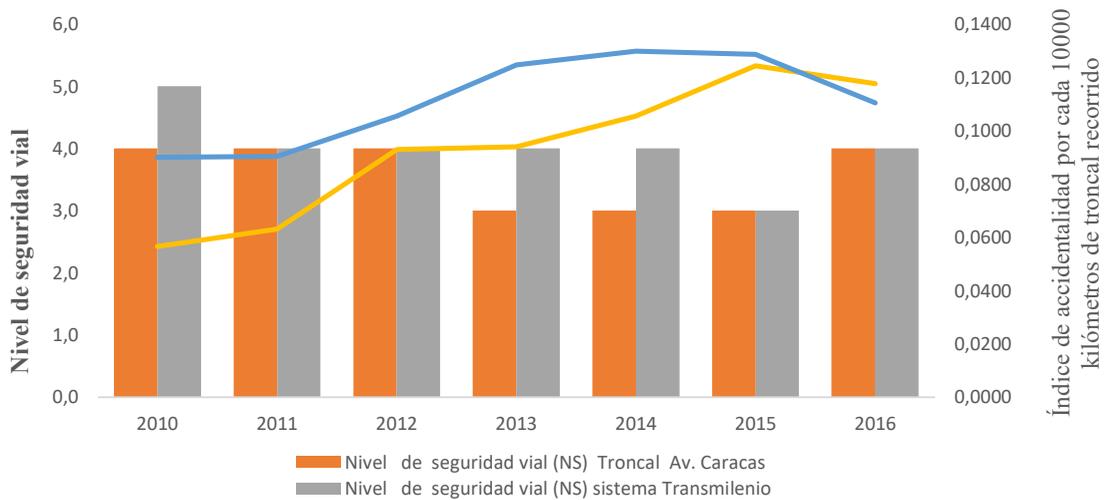
Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio y SDM, 2016.

La Figura 27 muestra los niveles de seguridad y los índices de siniestralidad del sistema TransMilenio en general, y de la troncal Caracas. En este

3 Se determinaron a partir de los valores del índice de pasajeros por kilómetro (IPK) del sistema TransMilenio en general, toda vez que la entidad no cuantifica este indicador para una línea troncal específica.

comparativo se evidencia que durante el periodo de estudio el sistema tuvo indicadores favorables en seguridad vial, mejorando los de la avenida Caracas. En este sentido, se evidencia que la troncal Caracas requiere de mayor control para mejorar los indicadores de seguridad vial.

Figura 27.  Comparativo de índices de siniestralidad y niveles de seguridad del sistema TransMilenio y de la troncal avenida Caracas

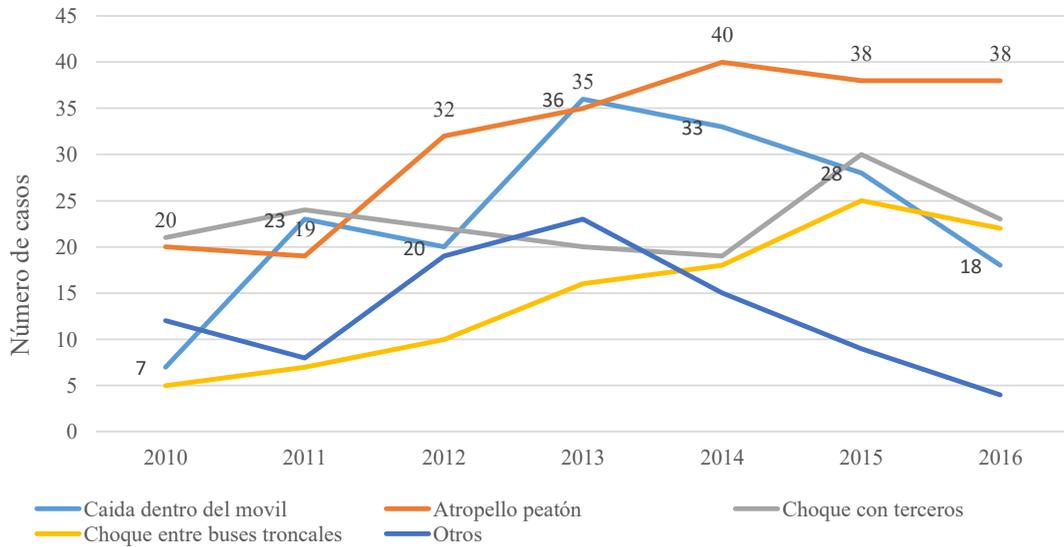


Fuente: elaboración propia con datos de TransMilenio y SDM, 2016.

En la Figura 28 se ilustra otro análisis relacionado con los diferentes tipos de accidentes o siniestros viales ocurridos en la troncal Caracas entre 2010-2016. Los resultados evidencian que se presentaron con mayor frecuencia los atropellos a peatones y las caídas de los pasajeros dentro del vehículo (buses articulados, biarticulados). Por otro lado, los choques entre buses troncales mantuvieron un crecimiento exponencial con el pasar de los años. Esto indica que los operadores del sistema no respetan las distancias mínimas de separación entre vehículos ni las velocidades de circulación.

Figura 28.

Tipos de accidentes viales en la troncal Caracas 2010-2016

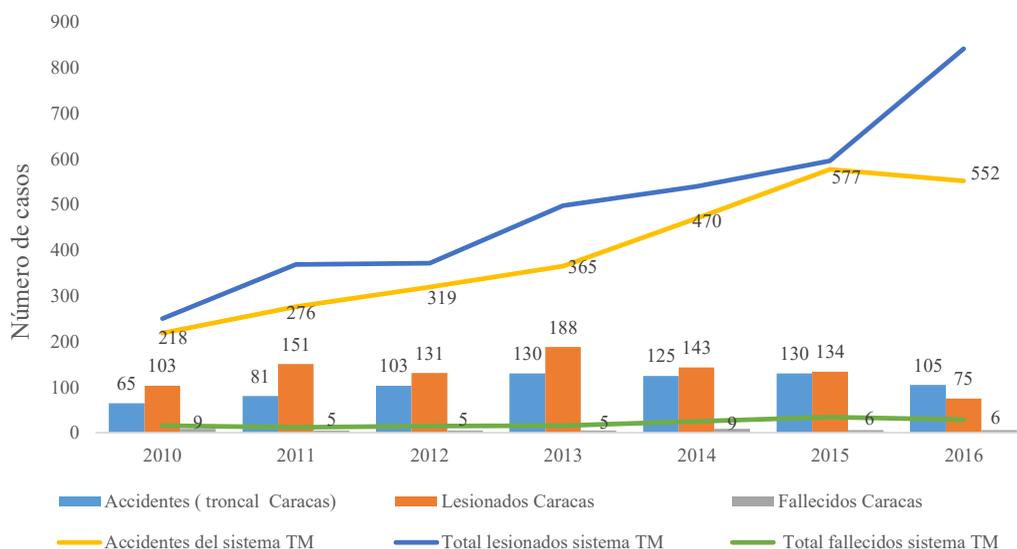


Fuente: elaboración propia con información de SDM, 2016.

La Figura 29 ilustra un comparativo de casos relacionados con lesionados y fallecidos en siniestros viales de todo el sistema y la troncal de la Caracas entre 2010-2016. Se evidencia que entre 2015-2016, la troncal mantuvo la cantidad de víctimas en los siniestros, pero bajó el número de heridos, mientras que esta cifra aumentó en el conjunto del sistema.

Figura 29.

Comparativo de tipos de accidentes en el sistema TransMilenio y en la troncal Caracas, 2010-2016



Fuente: elaboración propia con información de SDM, 2016.

Por otro lado, cuando se comparan los fallecimientos en la troncal de la Caracas con los ocurridos en otros corredores viales que en la actualidad no cuentan con líneas trocales para la circulación de buses articulados y biarticulados, se evidencia que, en algunos corredores, en especial la avenida Boyacá, la siniestralidad con fallecidos es mayor que la de la Caracas. Según los registros de la SDM, en 2017, 2018 y 2019 la avenida Boyacá fue el corredor vial donde más siniestros viales con fallecidos se presentaron (Tabla 21).

Tabla 21.

Fallecidos en principales corredores viales de Bogotá

Corredor vial	Años		
	2017	2018	2019
Avenida Boyacá	59	47	38
Avenida Caracas	28	33	18
Avenida ciudad de Cali	33	27	19

Fuente: elaboración propia con datos del Anuario de Siniestralidad Vial 2019 (Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría Distrital de Movilidad, 2021).



5. Expectativas del sistema TransMilenio

5.1. Expectativas a corto y mediano plazo

En la planeación, diseño y construcción del sistema TransMilenio se hicieron algunos cambios a la propuesta inicial, uno de los cuales fue no construir los deprimidos en las intersecciones de la avenida Caracas en la primera fase. Asimismo, se había proyectado para finales de 2016 la construcción de las cuatro etapas del sistema que corresponderían a 388 km de vías troncales, según el documento CONPES 3093 de 2000. Sin embargo, en 2021 solo se habían construido 114.4 km, lo que representa un rezago del 70 % en el desarrollo de la infraestructura del sistema. Es importante que en el corto y mediano plazo se amplíen las estaciones, se construyan las conexiones de integración entre troncales y las líneas troncales que se habían proyectado.

Como los cruceros son los puntos donde se presenta la mayor interacción del sistema con los otros actores de la movilidad cotidiana, si desde el comienzo de las intervenciones de las obras en la troncal Caracas se hubieran construido los pasos deprimidos en las intersecciones más relevantes, el sistema TransMilenio tendría una mayor eficiencia operacional y seguridad vial. Con la construcción de la primera línea del metro pesado se espera que el sistema mejore en sus aspectos operacionales.

Durante el periodo de estudio 2010-2016, el sistema TransMilenio tuvo 8 gerentes, entre encargados y nombrados en propiedad, es decir, un promedio de uno cada 10 meses y medio. Lo anterior evidencia la inestabilidad institucional y la falta de continuidad de las políticas, planes, programas y metas trazadas a mediano y largo plazos para cumplir con la ejecución y puesta en operación de las fases programadas, aprobadas en el documento CONPES. La ausencia de permanencia institucional insidió, de alguna manera, en la

disminución de los indicadores de control a las interacciones de los componentes internos y externos del sistema, afectando la seguridad vial. En los siguientes años, el sistema requiere de una estabilidad institucional fuerte, que le permita atender los retos en la prestación del servicio público de transporte de pasajeros de la ciudad, en condiciones de calidad y seguridad.

La evaluación del nivel de control a las interacciones de los componentes en la seguridad TransMilenio, en el corredor de la Caracas, durante el periodo de estudio, obtuvo una calificación ponderada de 3.68 en una escala de 1 a 5, considerándose cualitativamente como regular, de conformidad con los resultados de la metodología adaptada y utilizada por el BID en la evaluación de experiencias de éxitos en seguridad vial para los países de la región. En este contexto, el ente gestor del sistema, en coordinación con las demás instituciones del sector, debe hacer un mayor esfuerzo para mejorar los indicadores de seguridad vial hacia el futuro.

Los índices de siniestralidad por cada 10 000 km recorridos, durante el periodo de estudio, 2010-2015, en la troncal de la avenida Caracas, fueron más altos con respecto al sistema en su conjunto. Esto indica que el sistema TransMilenio disminuyó el control sobre las interacciones de cada uno de los componentes de la seguridad vial y, por ende, el incremento de los índices de siniestralidad. En este sentido, el sistema debe hacer un mayor esfuerzo por mejorar el control y así evitar hechos conflictivos que generen accidentalidad.

Los niveles de seguridad vial de la troncal avenida Caracas, durante el periodo de estudio, obtuvieron una calificación ponderada de 3.57 en una escala de 1 a 5, correspondiendo cualitativamente a un nivel de seguridad identificado como C, que, comparado con la calificación general del sistema, que fue de 4.0, indica que su desempeño fue menor que en el conjunto del sistema y, consecuentemente, tuvo un mayor índice de siniestralidad. Se hace indispensable que en el corto y mediano plazos TransMilenio genere estrategias para mejorar el nivel de seguridad vial en este importante corredor vial del sistema.

Con base a las metas proyectadas por TransMilenio, para el 2021 habrá un crecimiento de pasajeros en la línea de la avenida Caracas, que alcanzará alrededor de 68 000 pasajeros hora sentido (phs), rebasando en un 51 % la capacidad de diseño, que fue proyectada para 45 000 phs en escenarios ideales de operación (DNP, 2017, p. 15). En 2016, la demanda rebasó los 8000 phs previstos en el diseño, por lo que es muy probable que las proyecciones para 2021 se cumplan, con lo cual el riesgo de seguridad del sistema será crítico en caso de persistir las mismas condiciones infraestructurales. Sin embargo, por efecto de la pandemia de la COVID-19 y por las restricciones de ocupación que ha sufrido el sistema, la demanda de pasajeros proyectada podría tener alguna disminución.

Es importante que los buses articulados y biarticulados, cuya vida útil llegue a su fin, se vayan reemplazando con vehículos de mejores estándares de seguridad operacional y de cero emisiones (100 % eléctricos), porque brindan grandes beneficios ambientales y económicos en el largo plazo y dada la capacidad de producción energética de Colombia, donde el 66.6 % de la matriz de generación proviene de energía hidráulica. Lo anterior debe ser un compromiso por parte del ente gestor para garantizar la seguridad vial y la mejor calidad de aire para los bogotanos.

Los más afectados en los **de** siniestros viales que se presentaron en el corredor de la Caracas fueron los peatones. Los resultados muestran que durante el periodo de estudio los atropellos mantuvieron una tendencia de crecimiento exponencial, presentándose en promedio 32 casos por año. En este sentido, la institucionalidad deberá emprender medidas integrales de protección que permitan salvaguardar la integridad física de los usuarios más vulnerables. Los resultados también muestran que existe una fuerte relación entre el control y la ocurrencia de siniestros o hechos viales en línea de la avenida Caracas. Lo anterior indica que, si el control disminuye, se incrementan los índices de siniestralidad, dando lugar a una relación inversamente proporcional.

Es de resaltar que la participación de mujeres conductoras de los buses articulados, biarticulados y duales, que circulan en los corredores troncales del

sistema, en 2018 solo representaba el 1.42 % del total, que corresponde a 64 mujeres, que conducen 44 buses articulados, 6 biarticulados y 14 duales. Las estadísticas de los siniestros viales indican que las mujeres fueron las que menos estuvieron involucradas en los accidentes viales en el periodo de estudio, 2010-2016. Así, de los 2777 casos registrados, solo estuvieron involucradas en 33 de ellos, que corresponde al 1.18 % del total. Se demuestra que las mujeres conductoras han tenido mejor desempeño en seguridad vial que los hombres. Así pues, se le recomendaría al ente gestor generar una política más ambiciosa en equidad de género, que contribuya a mayor inclusión de conductoras en el sistema TransMilenio y que sus buenas conductas operativas se repliquen para los demás conductores.

Con el objetivo de aumentar la seguridad en el corredor de la avenida Caracas, el ente gestor TransMilenio debe tener un mayor control de los componentes internos y externos del sistema, particularmente en el mejoramiento de las condiciones infraestructurales, de manera que se respete la pirámide de la movilidad urbana sostenible, en beneficio de los peatones y personas con movilidad reducida, incorporando el diseño universal en cruces seguros para el acceso, arreglo de andenes de circulación peatonal y mejor señalización horizontal y vertical, entre otros.

En la implementación de nuevas líneas troncales, TransMilenio debería tomar en cuenta los desarrollos de otras ciudades, como Belo Horizonte, Río de Janeiro y Lima, sistemas que obtuvieron el reconocimiento con la medalla de oro por su diseño infraestructural, gestión y mejores prácticas en BRT, según la evaluación realizada por BRT Standard, concebida por ITDP. Los ejemplos de estas ciudades demuestran que cuando hay voluntad política para invertir recursos de manera sostenida y planificada se logra brindar un servicio de transporte con altos estándares de seguridad y calidad.



6. Conclusiones

Tener sistemas masivos de transporte público seguros y confiables contribuirá al logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para avanzar hacia entornos urbanos compactos, equitativos, accesibles, incluyentes y sostenibles. Asimismo, favorecerá la consolidación del nuevo paradigma del siglo XXI, enfocado en la movilidad urbana sostenible y el abandono del paradigma del siglo XX, basado en la automovilidad, imaginario que ha perdurado en gran parte de sociedades latinoamericanas, que siguen sin darle importancia a las externalidades negativas de contaminación ambiental, ruido, congestión, y siniestralidad que genera la motorización individual.

Los sistemas BRT han permitido que 177 ciudades del mundo, entre las que se cuentan 57 de Latinoamérica, la región con el mayor número, hayan solucionado, en buena medida, la demanda creciente de pasajeros en el transporte público. Sin embargo, algunos sistemas como Transmetro de Barranquilla y Metrolínea de Bucaramanga en Colombia, Vivebús de Ciudad Juárez en México, entre otros, se construyeron de manera aislada, con escasa integración física, operativa y tarifaria con otros modos de transporte que permitieran brindar un servicio con eficiencia y seguridad.

Desde el nacimiento de los sistemas de BRT en Curitiba, Brasil, y con la implantación de TransMilenio en Bogotá, ha surgido un falso debate entre los sistemas masivos tipo metro y BRT. Para salir de esta controversia, se requerirá que los diferentes modos y capacidades de transporte público estén integrados entre sí y que conformen un solo sistema, controlado, regulado bajo los principios sistémicos básicos y económicos de complementariedad, transferibilidad y competitividad.

Para garantizar altos niveles de control y seguridad vial se requerirán instituciones fuertes, independientes, con fuentes de ingresos que no dependan únicamente de la tarifa, sino de otras fuentes como subsidios a la oferta

proveniente de presupuestos públicos, peajes por congestión, impuestos por contaminar el aire, entre otras, y coordinadas con las demás instituciones del sector que tengan una visión de ciudad y planeación de largo plazo y, sobre todo, que no estén sujetas a los cambios políticos de gobiernos locales, distritales, estatales, federales o nacionales.

Los sistemas transporte masivo tipo BRT en Colombia y Latinoamérica deben ser planeados y diseñados con una visión de largo plazo, de manera que queden blindados ante los cambios y vaivenes políticos del gobernante de turno. Estos acuerdos de planeación de largo plazo requieren ser socializados con todos los actores y contar con el respaldo de la sociedad civil; solo de esta forma se puede garantizar una gestión y control institucional que permita tener sistemas de transporte con altos niveles de seguridad para sus usuarios.

La seguridad vial es un elemento importante que siempre se debe priorizar en el transporte público. Salvaguardar la vida e integridad de los usuarios que interactúan cotidianamente con los sistemas BRT es un deber superior y primordial, de conformidad con lo que establece la filosofía sueca Visión Cero de que “ninguna muerte o herido grave por ejercer el derecho a la movilidad es aceptable, porque todas las muertes son evitables” en la medida en que se tengan sistemas seguros que partan del principio de que los seres humanos cometen errores, que se realicen diseños de vías perdonadoras e incluyentes y que la responsabilidad en el espacio vial es compartida.

Entre los componentes identificados que interactúan en el sistema TransMilenio y que influyen en la ocurrencia de hechos viales se encuentran el factor institucional, el comportamiento humano, la infraestructura y la tecnología, que hace referencia a los vehículos; en la interacción entre ellos, se encontró que cuatro de las ocho variables analizadas, y que están relacionadas con los siniestros viales, correspondían a la interacción entre el componente humano y la infraestructura. En este sentido, el ente gestor debe emprender acciones que permitan mejorar el nivel de control y de seguridad vial del sistema.

El análisis del estudio realizado permite plantear un enfoque teórico sistémico de control a las interacciones de componentes internos y externos en la seguridad de los BRT, en donde la institucionalidad, como máxima autoridad del sector, a nivel nacional o distrital, expide las normas, regula y vigila su cumplimiento y, a través del ente gestor del sistema, que para el caso de estudio TransMilenio, debe ejercer un fuerte control a los operadores y demás componentes del sistema que interactúan entre sí, los cuales siempre deben estar bajo estricto control de la organización institucional, lo que permitirá tener sistemas más seguros y confiables.

Desde el análisis sistémico, la seguridad vial en la movilidad urbana ha estado sometida a fuerzas entrópicas que desestabilizan y generan desequilibrios en el sistema; no obstante, existen fuerzas neguentrópicas que buscan mantener el orden y el equilibrio en el sistema de la movilidad urbana. En el caso de sistemas como TransMilenio y demás implementados en otras ciudades de Colombia, existen fuerzas entrópicas (transgresión de las normas viales, mal estado de los vehículos, poca inversión en infraestructura, entre otras) que ejercen mayor presión que las fuerzas neguentrópicas (regulación y control de la institucionalidad, renovación de la flota, inversión sostenida en infraestructura, entre otras); por consiguiente, se requiere que estas fuerzas sean lo suficientemente consistentes para contrarrestar la entropía y así mantener estable el sistema que permita garantizar la seguridad a los diferentes actores de la movilidad cotidiana.

Los hallazgos sugieren que si se quiere mantener un equilibrio entre la seguridad vial y la eficiencia operacional, cuando se tiene alta demanda, como sucede con TransMilenio en el corredor de la troncal Caracas, la alternativa más conveniente es migrar a un sistema cerrado, donde se tenga un mayor control a las variables de interacción entre componentes del sistema que, para el caso específico de la troncal estudiada, lo ideal sería la construcción de pasos deprimidos o subterráneos en los puntos donde hay mayor interacción con los demás actores de la movilidad. Lo anterior puede ser aplicable en otros sistemas BRT de Colombia y de Latinoamérica que tengan corredores

de autobuses articulados con altos niveles de interacción entre diferentes actores viales.

Los resultados del estudio de caso permiten inferir que mantener un buen nivel de seguridad vial en los sistemas BRT dependerá, en gran medida, del nivel de control y las condiciones de operación del sistema en las zonas del corredor de alto conflicto e interacción con otros usuarios del espacio vial. En este sentido, TransMilenio debe mejorar su control sobre la troncal de la avenida Caracas si quiere mantener los altos niveles operacionales para atender el crecimiento de pasajeros en este importante corredor del sistema, sin que esto afecte la seguridad vial.



Índice de tablas

Tabla 1.	Modelos relacionados con la seguridad vial en los siglos XX-XXI	20
Tabla 2.	Matriz de Haddon	30
Tabla 3.	Diferencias clave entre la visión tradicional y los sistemas seguros	37
Tabla 4.	Conceptos epistemológicos en seguridad vial	42
Tabla 5.	Características de algunos sistemas BRT en Latinoamérica	48
Tabla 6.	Panorama de los sistemas BRT en la región de Latinoamérica	51
Tabla 7.	Resultados de la evaluación del impacto de la seguridad en sistemas BRT de cinco ciudades	58
Tabla 8.	Fases proyectadas para el sistema TransMilenio	67
Tabla 9.	Patios-taller del sistema TransMilenio.	77
Tabla 10.	Características de la flota en corredores troncales del sistema	78
Tabla 11.	Participación de los concesionarios privados en la flota de buses troncales del sistema	85
Tabla 12.	Ubicación y tipología de estaciones en la troncal avenida Caracas-Usme	91
Tabla 13.	Niveles de medición del índice de siniestralidad	93
Tabla 14.	Operacionalización de las variables	105
Tabla 15.	Valoración cualitativa de variables y nivel de control	107
Tabla 16.	Evaluación del nivel de control a las interacciones en la troncal avenida Caracas	123
Tabla 17.	Medición del índice de siniestralidad y nivel de seguridad	126
Tabla 18.	Niveles de seguridad vial en el sistema TransMilenio, 2010-2016	127
Tabla 19.	Niveles de seguridad vial en el sistema TransMilenio, 2017-2019	127
Tabla 20.	Niveles de seguridad vial en la troncal avenida Caracas, 2010-2016	128
Tabla 21.	Fallecidos en principales corredores viales de Bogotá	131



Índice de figuras

Figura 1. Enfoque de los sistemas seguros	35
Figura 2. Tasas de fallecidos por cada 100 000 habitantes por regiones	44
Figura 3. Proporción de defunciones registradas por subregión en América	45
Figura 4. Panorama mundial de los sistemas BRT por regiones: las Américas	46
Figura 5. Panorama mundial de los sistemas BRT por regiones: Europa, África, Asia y Oceanía	47
Figura 6. Capacidad de los sistemas de movilidad masiva de pasajeros hora-sentido (ph-s)	53
Figura 7. Particularidades de los sistemas masivos de transporte de pasajeros I	56
Figura 8. Particularidades de los sistemas masivos de transporte de pasajeros II	57
Figura 9. Accidentes o hechos viales en el sistema Macrobus 2010-2016	59
Figura 10. Tipos de usuarios victimas en sistemas de autobús BRT	60
Figura 11. Avenida Caracas con avenida Comuneros. Sistema TransMilenio de Bogotá	66
Figura 12. Organigrama institucional de control del sistema TransMilenio	72
Figura 13. Organización de control institucional del sector movilidad del distrito capital	84
Figura 14. Puntos conflictivos con mayor frecuencia de siniestros, troncal avenida Caracas	89
Figura 15. Enfoque sistémico del control interacciones de componentes internos y externos en la seguridad de los BRT	95
Figura 16. Control de la interacción del componente humano-infraestructura (I1)	100
Figura 17. Control de la interacción del componente humano-tecnológico (I2)	102
Figura 18. Control de la interacción del componente infraestructura-tecnología (I3)	103
Figura 19. Porcentaje de incidencia de los componentes internos y externos de cada factor influyente en los siniestros	108
Figura 20. Registro de velocidades en los buses en la troncal Caracas	109
Figura 21. Distancia de separación entre buses	112

Figura 22. Estado de la señalización horizontal de la troncal Caracas	113
Figura 23. Estado del pavimento de la troncal avenida Caracas	114
Figura 24. Desobediencia a las normas de seguridad vial, troncal de la avenida Caracas	115
Figura 25. Niveles de control a las interacciones en la troncal avenida Caracas	124
Figura 26. Niveles de control e índice de siniestralidad de la troncal avenida Caracas	125
Figura 27. Comparativo de índices de siniestralidad y niveles de seguridad del sistema TransMilenio y de la troncal avenida Caracas	129
Figura 28. Tipos de accidentes viales en la troncal Caracas 2010-2016	130
Figura 29. Comparativo de tipos de accidentes en el sistema TransMilenio y en la troncal Caracas, 2010-2016	131



Acrónimos y abreviaturas

ANSV	Agencia Nacional de Seguridad Vial
BRT	Bus Rapid Transit (Bus de Transito Rápido)
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEIT	Centro Estatal de Investigación de Vialidad y Transporte
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CNT	Código Nacional de Tránsito
DANE	Departamento Nacional de Estadística
FPV	Fondo de Prevención Vial
GRSF	Global Road Safety Facility (Fondo Mundial para la Seguridad Vial)
INMLCF	Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses
IPAT	Informe Policial de Accidentes de Tránsito
ITDP	Institute for Transportation and Development Policy (Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo)
ITS	Sistemas Inteligentes de Transporte
LRT	Light Rail Transit (Línea de Tren Ligero)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
ONG	Organización no Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PIB	Producto Interno Bruto
PDSV	Plan Distrital de Seguridad Vial

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
SDM	Secretaría Distrital de Movilidad
SIBRT	Asociación Latinoamericana de Sistemas Integrados y BRT
SITP	Sistema Integrado de Transporte Público
SIRCI	Sistema Integrado de Recaudo, Control, Información y Servicio al Usuario
TGS	Teoría general de sistemas
UITP	Union Internationale des Transports Publics (Asociación Internacional de Transporte Público)
WRI	World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales)



Glosario

- Automovilidad** Paradigma basado en la movilidad motorizada en vehículos de cuatro o dos ruedas.
- Cosmovisión** Visión o concepción global del universo.
- Entropía** Medida del desorden de un sistema.
- Homeóstasis** Autorregulación de la constancia de las propiedades de un sistema influido por agentes exteriores.
- Interacción** Acción que se ejerce recíprocamente entre dos o más elementos o componentes de un sistema.
- Mixticidad** Mezcla en el uso del suelo para diferentes actividades económicas.
- Neguentropía** Proceso que impide la desaparición de un sistema o permite pasar del caos al equilibrio en un sistema.
- Pandemia** Enfermedad epidémica que se extiende a muchos países o que ataca a casi todos los individuos de una localidad o región.
- Paradigma** Teoría o conjunto de teorías cuyo núcleo central se acepta sin cuestionar y que suministra la base y modelo para resolver problemas y avanzar en el conocimiento.
- Pragmatismo** Corriente filosófica que busca las consecuencias prácticas del pensamiento y pone el criterio de verdad en su eficacia y valor para la vida.
- Psicoanálisis** Método creado para investigar y tratar los trastornos mentales mediante el análisis de los conflictos inconscientes.



Referencias

- Acevedo, J.; Bocarejo, J.; Lleras, G.; Echeverry, J.; Ospina, G.; Rodríguez Valencia, A. (2009). *El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040*. Universidad de los Andes.
- Adriazola, C.; Duduta, N.; Lindau, L. A.; Hidalgo, D. (2012). *El transporte sostenible, bien hecho, también salva vidas*. <https://sur.uniandes.edu.co/index.php/divulgacion/presentaciones>
- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2017). *Organigrama Institucional de la Agencia Nacional de Seguridad Vial*. <https://ansv.gov.co/agencia/estructura/organigrama>
- Alcaldía Mayor de Bogotá; TransMilenio. (2017). *Informe de gestión 2016*. <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/149454/informe-de-gestin-de-2016/> Alonso, F.; Esteban, C.; Serge, A.; Ballestar, M. (2017). Shouting and Cursing while Driving: Frequency, Reasons, Perceived Risk and Punishment. *Journal of Sociology and Anthropology*, v. 1, n. 1, 1-7. <http://pubs.sciepub.com/jsa/1/1/1/>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2010) *Highway Safety Manual (HMS)*. <http://www.highwaysafetymanual.org/Pages/About.aspx>
- Arnold Cathalifaud, M; Osorio González, F. (1998). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta de Moebio*, n. 3, 40-49. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121598>
- Asprilla Lara, Y.; García de Quevedo, F.; González Pérez, M. G. (2017). Señalización y seguridad vial en buses de tránsito rápido: el TransMilenio en Bogotá. *Infraestructura Vial*, v. 19, n. 33 15-25. <https://doi.org/10.15517/iv.v19i33.32919>
- Asprilla Lara, Y.; Rey Gutiérrez, E. (2012). La implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá y sus retos en el futuro. *Tecnogestión: una mirada al ambiente*, v. 9, n. 1, 26-40. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5649>
- Banco Mundial. (2015). *Seguridad vial: los países más pobres necesitan más financiamiento y coordinación*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2015/11/16/road-safety-more-funding-coordination-needed-for-the-poorest-countries>
- Beck, U. (2008). *La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida*. Paidós.
- Belin, M. A.; Johansson, R.; Lindberg, J.; Tingvall, C. (1997). The Vision Zero and its Consequences. In *Proceedings of the 4th International Conference on Safety and Environment in the 21st Century*, Tel Aviv, Israel, pp. 1-14. <https://trid.trb.org/view/1164907>

- Beltrán Rodat, G. (2009). *Indicadores de seguridad de la infraestructura viaria en los accidentes por salida de vía*. (trabajo de pregrado, Universidad Politécnica de Cataluña). <http://hdl.handle.net/2099.1/8401>
- Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollos, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica.
- Bocarejo, J. C.; Velásquez, J. M.; Díaz, C. A.; Tafur, L. E. (2012). Impact of BRT Systems on Road Safety: Lessons from Bogota, Colombia. *Transportation Research Record*, v. 2317, n. 1, 1-7. <https://doi.org/10.3141/2317-01>
- Bogotá Cómo Vamos. (2017). *Encuesta de percepción ciudadana*. <http://www.bogotacomovamos.org/documentos/encuesta-de-percepcion-ciudadana-2017/>
- BRT; Centre of Excellence; EMBARQ. "Global BRTData." Versión 3.18: indicadores información del sistema. Última modificación: 4 octubre de 2016. <http://www.brtdata.org>
- BRT; Centre of Excellence; EMBARQ. "Global BRTData." Versión 3.58. Última modificación: 23 de marzo de 2021. <http://www.brtdata.org>
- Buckley, W. (1973). *La sociología y la teoría moderna de los sistemas*. Amorrortu editores.
- Bunge, M. (1985). *Economía y filosofía* (2ª edición). Tecnos.
- Cámara de Comercio de Bogotá; Universidad de los Andes. (2017). *Observatorio de Movilidad. Balance de Movilidad 2007-2016. Reporte Anual de Movilidad 2016*. <http://hdl.handle.net/11520/19561>
- Canal Capital. (2012, 6 de marzo). *Historia de TransMilenio* [video]. <https://www.youtube.com/watch?v=3rVjppQ0oul>
- Canal Capital. (2017, 15 de septiembre). *Opina Bogotá. TransMilenio: entrevista con Alexandra Rojas* [video]. https://www.youtube.com/watch?v=nZtdR6IV_y0
- Caracol Radio (20 septiembre de 2017). *Nos obligan a salir con los buses en mal estado: conductor de TransMilenio*. https://caracol.com.co/programa/2017/09/20/6am_hoy_por_hoy/1505921636_066292.html
- Caracol Radio (2010, 20 de abril). *Accidentes en TransMilenio no solo obedecen a imprudencia de los usuarios sino de los operadores: Personería*. http://caracol.com.co/radio/2010/04/20/bogota/1271753280_991586.html
- Cárdenas, S. (2016, 31 de mayo). Emergencia por incendio de un bus articulado de TransMilenio en Bogotá. *El Colombiano*. <http://www.elcolombiano.com/colombia/emergencia-por-incendio-de-un-bus-articulado-de-TransMilenio-en-bogota-KB4245729>
- Constitución Política de Colombia. 7 de julio de 1991. Colombia.
- Coronado Céspedes, L. G. (2001). Crítica a la teoría general de sistemas. La teoría de redes como un complemento: ilustrada con el diseño de un sistema nacional de información en ambiente y salud. *Ingeniería*, v. 11, n. 1, 2, 69-79. <http://hdl.handle.net/10669/24584>

- Creswell, J. W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Method*. (3rd ed.). SAGE Publications.
- De la Peña, E.; Millares, E.; Díaz, L.; Taddia, A. P. y Bustamante, C. (2016). *Experiencias de éxito en seguridad vial en América Latina y el Caribe: factor institucional, legal y de control*. BID, Asociación Española de la Carretera. <https://publications.iadb.org/handle/11319/7646>
- Decreto 397 de 2010. [Alcaldía Mayor de Bogotá]. Por el cual se adopta el Plan Distrital de Seguridad Vial para Bogotá. 20 de septiembre de 2010.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2016). Cuentas departamentales - CD. Producto Interno Bruto. 2016 preliminar. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Bol_dptal_2016preliminar.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda. ¿Cuántos somos?* <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>
- Departamento Nacional de Planeación (2000). Documento CONPES 3093 "Sistema de Servicio Público Urbano de Transporte Masivo de Pasajeros de Bogotá. Seguimiento. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación (2017). Documento CONPES 3900 "Apoyo del Gobierno nacional al sistema de transporte público de Bogotá y declaratoria de importancia estratégica del proyecto primera línea de metro-tramo 1 Bogotá. Bogotá.
- Díaz Padilla, R. (2009). *Vol. 2 Preparación del proyecto*. Centro Estatal de Investigación de Vialidad y el Transporte.
- Diogenes, M. C.; Lindau, L. A. (2010). Evaluating Pedestrian Safety at Midblock Crossings in Porto Alegre, Brazil. *Transportation Research Record*, v. 2193, n. 1, 37-43. <https://doi.org/10.3141/2193-05>
- Duarte, F. y Rojas, F. (2012). Intermodal Connectivity to BRT: A Comparative Analysis of Bogotá and Curitiba. *Journal of Public Transportation*, v. 15, n. 2., 1-18. <https://www.nctr.usf.edu/2012/07/intermodal-connectivity-to-brt-a-comparative-analysis-of-bogota-and-curitiba/>
- Duduta N.; Adiazola, C.; Hidalgo, D.; Lindau, L. A.; Jaffe, R. (2012). Understanding Road Safety Impact of High-Performance Bus Rapid Transit and Busway Design Features. *Transportation Research Record*, v. 2317, n. 1, 8-14. <https://doi.org/10.3141/2317-02>
- Duduta, N.; Adiazola-Steil, C.; Hidalgo, D.; Lindau, L.; Santos, P. M (2013). The Relationship Between Safety, Capacity, and Operating Speed on Bus Rapid Transit. In *13th World Conference Transport Research. Rio de Janeiro, Brazil, 15-18 July, 2013*. <http://www.brt.cl/the-relationship-between-safety-capacity-and-operating-speed-on-bus-rapid-transit/>
- Duduta, N.; Adiazola-Steil, C.; Wass, C; Hidalgo, D.; Lindau, L. A. (2012). *Seguridad vial en corredores de autobús: Lineamientos para integrar la seguridad peatonal y vial en el planeamiento, diseño y operación de corredores BRT y carriles para autobuses*.

- https://wrirosscities.org/sites/default/files/EMB2012_Seguridad_Vial_en_Corredores_de_Autobus_Version_Piloto.pdf
- Duduta, N.; Adriazola-Steil, C.; Wass, C.; Hidalgo, D.; Lindau, L. A. (2015). *Traffic Safety on Bus Priority Systems: Recommendations for Integrating Safety into the Planning, Design, and Operation of Major Bus Routes*. <https://www.wri.org/research/traffic-safety-bus-priority-systems>
- El Espectador. (2011, 25 de septiembre). *En 2011, van 121 buses de TransMilenio sancionados*. <https://www.elespectador.com/bogota/en-2011-van-121-buses-de-transmilenio-sancionados-article-301783/>
- El Tiempo. (2016, 10 de marzo). *Choque triple de TransMilenio dejó 21 lesionados*. <http://www.eltiempo.com/bogota/accidente-de-trasmilenio-en-la-estacion-ferias/16533080>.
- El Universal. (2013, 23 de abril). *Cuatro heridos por accidente de TransMilenio al norte de Bogotá*. <http://www.eluniversal.com.co/colombia/bogota/cuatro-heridos-por-accidente-de-TransMilenio-al-norte-de-bogota-139475>
- Galindo, J. (2015). El concepto de riesgo en las teorías de Ulrich Beck y Niklas Luhmann. *Acta sociológica*, n. 67, 141-164. <https://doi.org/10.1016/j.acso.2015.03.005>
- Godoy, L. A.; Escудар, C.; Jaca, R. y Pinto, F. (2001). Revisión crítica de algunas teorías de accidentes asociadas a la infraestructura. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, v. 1, n. 2, 127-139. https://www.scipedia.com/public/Godoy_et_al_2001a
- Goh, K.; Currie, G.; Sarvi, M.; Logan, D. (2013, 13-17 January). *Investigating the Road Safety Impacts of Bus Rapid Transit Priority Measures*. [Conference Paper]. Transportation Research Board 92nd Annual Meeting. Washington DC, USA. <http://www.trb.org/AnnualMeeting2013/AnnualMeeting2013.aspx>
- González Penagos, J.; Marín Correa, A. (2017, 15 de septiembre). Buses viejos de TransMilenio, una de las causas de la accidentalidad. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/bogota/buses-viejos-de-transmilenio-una-de-las-causas-de-la-accidentalidad-article-713392/>
- González Pérez, M. G. (2013). *Influencia de la concentración y dispersión del trazado del sistema carretero en la configuración sostenible del territorio: el trazado de la zona centro del estado de Sinaloa de 1950-2010*. [Tesis doctoral, Universidad de Guadalajara]. <https://hdl.handle.net/20.500.12104/73159>
- González Pérez, M. G. (2016). *El sistema de carreteras en la configuración del territorio de la región centro del estado de Sinaloa: un ejercicio delphi*. Rodríguez Sánchez María Salud.
- González Pérez, M. G. (2020). *Ciudad entrópica Un modelo para estudios del habitar y la movilidad*. Labýrinthos editores.

- González Pérez, M. G.; Asprilla Lara, Y. (2017). La habitabilidad del espacio periurbano en el área metropolitana de Guadalajara: entropías en la provisión de servicios hidrosanitarios. *Tecnogestión: una mirada al ambiente*, v. 13, n. 1, 92-106. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/12130>
- Hatakka, M., E.; Keskinen, N. P.; Gregersen, A. G.; Hernetkoski, K. (2002). From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 5, n. 3, pp. 201-215. [https://doi.org/10.1016/S1369-8478\(02\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00018-9)
- Hidalgo, D. (2005). Comparación de alternativas de transporte público masivo. Una aproximación conceptual. *Revista de Ingeniería*, n. 21, 94-105. <https://doi.org/10.16924/revinge.21.10>
- Hidalgo, D.; Muñoz J. (2010). *Corredores BRT en el mundo: crecimiento explosivo y principales tendencias*. <https://documents.co/document/corredores-brt-en-el-mundo-crecimiento-explosivo-y-principales-brtclwp-contentuploads2012102-brt-estado-y.html?page=1>
- Institute for Transportation and Development Policy. (2014). *The BRT Standard*. <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/BRT-Standard-2014.pdf>
- Institute for Transportation and Development Policy. (2018). *The BRT Planning Guide*. <https://brtguide.itdp.org/branch/master/guide/pdf/the-brt-planning-guide.pdf>
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo - ITDP. (2015). *Visión Cero. Estrategia integral de seguridad vial en las ciudades*. <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/vision-cero2.pdf>
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo. (2010). *Guía de planificación de sistemas BRT*. http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/BRT-Guide-Spanish-complete_unlocked.pdf
- International Road Assessment Programme. (2015). *iRap Methodology Fact Sheets. Fact Sheet 3: Road Attributes*. <https://irap.org/methodology/>
- International Transport Forum (2018). *Speed and Crash Risk*. <https://www.itf-oecd.org/speed-crash-risk>
- International Transport Forum. (2017). *Cero muertes y lesiones de gravedad por accidentes de tránsito. Liderar un cambio de paradigma hacia un sistema seguro*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789282108253-es>
- Islas Rivera, V. M.; Zaragoza, M. L. (2007). *Análisis de los sistemas de transporte. Vol. 1. Conceptos básicos*. Instituto Mexicano del Transporte, SCT.
- Johansen Bertoglio, O. (1993). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Editorial Limusa.
- Johansson, R. (2009). Vision Zero - Implementing a Policy for Traffic Safety. *Safety Science*, v. 47, n. 6, 826-831. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.023>

- Johnston, I. (2010). Beyond "Best Practice" Road Safety Thinking and Systems Management. A Case for Culture Change Research. *Safety Science*, v. 48, n. 9 1175-1181. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.003>
- LA Network (2017). *Ranking latinoamericano de ciudades fatales. Mortalidad vial urbana*. <http://la.network/wp-content/uploads/2017/12/CIUDADES-FATALES-FINAL.pdf>
- Leveson, N. (2004). A New Accident Model for Engineering Safer Systems. *Safety Science*, v. 42, n. 4, 237-270. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(03\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(03)00047-X)
- Ley 1702 de 2013. Por la cual se crea la Agencia Nacional de Seguridad Vial y se dictan otras disposiciones. 27 de diciembre de 2013. Diario Oficial: 49016.
- Ley 769 de 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. 6 de agosto de 2002. Diario Oficial: 44893 y 44932.
- Lindau, L. A.; Hidalgo, D.; Facchini, D. (2010). Curitiba, the Cradle of Bus Rapid Transit. *Built Environment*, v. 36, n. 3, 274-282. <https://doi.org/10.2148/benv.36.3.274>
- Lindau, L. A.; Petzhold, G.; Silva, C. A. M.; Facchini, D. (2014, 12-16 January). *BRT and Bus Priority Corridors: Scenario in the American Continent*. [Conference Paper]. Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington DC, USA. <http://www.brt.cl/brt-and-bus-priority-corridors-scenario-in-the-american-continent/>
- Luhmann, N. (1991). *Soziologie des Risikos*. Walter de Gruyter.
- Macrobús. (2016). *Estadísticas de siniestralidad del sistema (2010-2016)*. Oficina de la Dirección de Macrobús. Guadalajara-México.
- Malouff, D. (2011). *The Problem of BRT Creep*. http://voices.washingtonpost.com/local-opinions/2011/03/the_problem_of_brt_creep.html
- Maslow, A. H. (1943). A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, v. 50, n. 4, 370-396. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0054346>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2015). *Plan Nacional de Seguridad Vial. Colombia 2013-2021*.
- Ministerio de Transporte de Colombia; Fondo de Prevención Vial. (2014). *Guía de lineamientos en seguridad vial y peatonal para diseño y operación de sistemas de transporte masivo en buses*. Fondo de Prevención Vial.
- Miralles-Guasch, C.; Cebollada i Frontera, A. (2003) *Movilidad y transporte. Opciones políticas para la ciudad*. <https://www.fundacionalternativas.org/laboratorio/documentos/documentos-de-trabajo/movilidad-y-transporte-opciones-politicas-para-la-ciudad>
- Miralles-Guasch, C.; Marquet Sardà, O. (2013). Dinámicas de proximidad en ciudades multifuncionales. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, v. 45, n. 177, 501-510. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76228>

- Montero Bagatella, J. C. (2013). El concepto de seguridad en el nuevo paradigma de la normatividad mexicana. *Región y Sociedad*, v. 25, n. 58, 203-238. <https://doi.org/10.22198/rys.2013.58.a128>
- Morgan, D. L. (2007). Paradigms Lost and Pragmatism Regained: Methodological Implications of Combining Qualitative and Quantitative Methods. *Journal of Mixed Methods Research*, v. 1, n. 1, 48-76. <https://doi.org/10.1177%2F2345678906292462>
- Movilidad Urbana Sustentable de América Latina. (2014). *Libro Blanco de la Movilidad Urbana Sustentable de América Latina*. <https://xdoc.mx/preview/descarga-del-documento-5e6a9d8b85d5d>
- Muñoz, J. C.; Paget-Seekins, L. (2016). *Restructuring Public Transport through Bus Rapid Transit: An International and Interdisciplinary Perspective*. University of Bristol.
- Nazif, J. I. (2011). *Guía práctica para el diseño e implementación de políticas de seguridad vial integrales, considerando el rol de la infraestructura*. <http://hdl.handle.net/11362/35266>
- Nihlén Fahlquist, J. (2006). Responsibility Ascriptions and Vision Zero. *Accident Analysis & Prevention*, v. 38, n. 6, 1113-1118. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.04.020>
- Norton, P. (2015). Four Paradigms: Traffic Safety in the Twentieth-Century United States. *Technology and Culture*, v. 56, n. 2, pp. 319-334. John Hopkins University Press. <https://doi.org/10.1353/tech.2015.0065>
- OECD; ITF. (2015). *Road Safety Annual Report*. <http://dx.doi.org/10.1787/irtad-2015-en>
- Organización de Naciones Unidas. (2010). *Plan mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020*. http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/es/
- Organización de Naciones Unidas. (2016). *Mejoramiento de la seguridad vial en el mundo. Resolución 70/260*. <https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/RES/70/260>
- Organización de Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. <http://hdl.handle.net/11362/40155>
- Organización Mundial de la Salud. (2004). *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito. Resumen*. http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/summary_es.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Unidos para frenar las muertes y los traumatismos causados por el tránsito*. https://apps.who.int/mediacentre/news/releases/2011/road_safety_20110506/es/index.html
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Informe mundial sobre la situación de la seguridad vial*.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Control de la velocidad*. http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/managing-speed/en/

- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018*. https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
- Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Informe sobre la situación de la seguridad vial en la región de las Américas*.
- Ospina, A.; Mosquera, V. (2010). *Historia del transporte público en Bogotá (1884-2006)*. <https://es.calameo.com/read/0003260777ccdb4cd87f4>
- Pardo, C. F. (2009). *Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina*. <http://hdl.handle.net/11362/3641>
- Pico Merchán, M. E.; González Pérez, R. E.; Noreña Aristizábal, O. P. (2011). Seguridad vial y peatonal: una aproximación teórica desde la política pública. *Hacia la Promoción de la Salud*, v. 16, n .2, 190-204. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-75772011000200014
- Preciado Robles, K. (2011). *Los imaginarios sociales sobre los objetos tecnológicos en la sociedad moderna. El caso del automóvil en la zona metropolitana de Guadalajara*. (Tesis de maestría, ITESO). <http://hdl.handle.net/11117/2509>
- Presidencia de la República de Colombia (julio, 1993). Decreto 1421 de 1993. [Presidencia de la República]. Por el cual se dicta el Régimen Especial para el Distrito Capital de Santafé de Bogotá. 21 de julio de 1993.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (1994). *Informe sobre desarrollo humano 1994*. https://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_1994_es_completo_nostats.pdf
- Resolución 0001885 de 2015. [Ministerio de Transporte]. Por la cual se adopta el manual de señalización vial. Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia. 18 de junio de 2015.
- Resolución 3243 de 2013. (Instituto de Desarrollo Urbano). Por la cual se adopta la actualización del Manual MG-IC-010 Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C. 18 de diciembre de 2013.
- Revista Semana. (2016, 29 de septiembre). *Este año van más 390 accidentes con buses de TransMilenio*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/bogota-ya-van-390-accidentes-con-buses-de-transmilenio/495928/>
- Revista Semana. (2017, 28 de septiembre). *Gobierno reconoce que el TransMilenio no creció al ritmo que su demanda [Publicado en Dinero]*. <https://www.semana.com/gobierno-reconoce-fallas-en-crecimiento-de-transmilenio/250487/>
- Romero Pérez, F. J.; Díaz Padilla, R. (2009). *Compendio de la planeación de sistemas BRT: memoria del proyecto Macrobús*. Vol.1-5 Centro Estatal de Investigación de la Vialidad y el Transporte-CEIT.
- Rune, E.; Hoyer, A.; Vaa, T.; Sorensen, M. (2013). *Manual de Medidas de Seguridad Vial*. Fundación Mapfre, Instituto de Seguridad Vial.

- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes de México. (2014). *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad*. <http://sct.gob.mx/normatecaNew/manual-de-dispositivos-para-el-control-del-transito-en-calles-y-carreteras/>
- Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá. (2012). *Metodología para utilizar la estrategia denominada puntos críticos*.
- Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá. (2016). *Encuesta de Movilidad 2015*. <https://www.simur.gov.co/encuestas-de-movilidad>
- Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá. (2016). Respuesta oficio solicitud sobre Informe Siniestralidad Sistema TransMilenio 2010-2016.
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2021). *Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá 2019*. <https://datos.movilidadbogota.gov.co/documents/movilidadbogota::anuario-de-siniestralidad-vial-de-bogota-2019/about>
- Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (2018). *Monografía de Bogotá 2017. Diagnóstico de los principales aspectos territoriales, de infraestructura, demográficos y socioeconómicos*. <http://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/informacion-cartografia-y-estadistica/repositorio-estadistico/monografia-de-bogota-2017%5D>
- Stake, R. E. (1995). *The Art of Case Study Research*. SAGE Publications.
- Suárez Montoya, A. (2018). *TransMilenio vs. metro, en tarifas*. <https://www.aureliosuarazm.co/transmilenio-vs-metro-en-tarifas/>
- Sustainable Mobility for All (2017). *Global Mobility Report 2017. Tracking Sector Performance*. <http://www.sum4all.org/publications/global-mobility-report-2017>
- Tabasso, C. (2002). *Paradigmas, teorías y modelos de la seguridad y la inseguridad vial*. http://www.institutoivia.com/doc/tabasso_124.pdf
- Tashakkori, A.; Teddlie, C. (1998). *Mixed Methodology: Combining Qualitative and Quantitative Approaches*. SAGE Publications.
- TransMilenio. (2016a). *Anexo 1: Informe de seguimiento plan de acción institucional*. https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/148605/anexo_1_informe_de_segguimiento_plan_de_accion_institucional/
- TransMilenio. (2016b). *Estructura organizacional*. <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/149007/estructura-organizacional/>
- TransMilenio. (2018a). *Manual de Niveles de Servicio del Sistema TransMilenio*.
- TransMilenio. (2018b). *Estructuración integral de la operación del componente troncal del sistema Transmilenio: Anexo técnico*.
- TransMilenio. (2019). *Parámetros técnicos de soporte para un patio del sitp*.
- TransMilenio; Alcaldía Mayor de Bogotá. (2012). *Manual de Operaciones del Sistema TransMilenio*.

- TransMilenio; Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014a) *Informe de gestión 2014*. https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/148962/informe_de_gestion_de_2014/
- TransMilenio; Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014b). *Manual de operaciones del componente zonal del SITP*. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=4741&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME
- TransMilenio; Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021) *Informe de Gestión 2020 de TransMilenio*. <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/152061/informe-de-gestion-2020-de-transmilenio/>
- Transport for London. (s. f.). *A Brief History of the Underground*. <https://tfl.gov.uk/corporate/about-tfl/culture-and-heritage/londons-transport-a-history/london-underground/a-brief-history-of-the-underground>
- Union Internationale des Transports Publics. (2014). *Statistics Brief. World Metro Figures*.
- Vuchic, V. R. (2009). Urban Public Transportation Systems. *Transportation Engineering and Planning*, v. 1. <http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-40-02-02.pdf>
- Welle, B.; Sharpin, A. B.; Adriazola-Steil, C.; Job, S.; Shotten M.; Bose D.; Bhatt, A.; Alveano, S.; Obelheiro, M.; Imamoglu, C. T. (2018). *Sustainable and Safe: A Vision and Guidance for Zero Road Deaths*. <http://www.wri.org/publication/sustainable-and-safe-vision-and-guidance-zero-road-deaths>
- Wilde, G. (2014). *Target Risk 3: Risk Homeostasis in Everyday Life*. PDE Publications.
- Winsted, R.; Rogala, A. (2016). El BRT, el bus que se parece al metro y que está revolucionando el transporte en ciudad mundial. *Ultranoticias*.
- Wright, L.; Hook, W. (eds.) (2010). *Guía de planificación de sistemas BRT. Autobuses de Tránsito Rápido*. http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/BRT-Guide-Spanish-complete_unlocked.pdf
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research. Design and Methods*. (2nd. ed.) SAGE Publications.



Reseña autores

Yefer Asprilla Lara

Ingeniero Civil. Doctor en Movilidad Urbana, Transporte y Territorio. Magíster en Ingeniería Civil y especialista en Infraestructura Vial y Transporte. Profesor asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, por más de 19 años en diferentes áreas.

Autor de artículos científicos en revistas indexadas internacionales y de capítulos de libro. Integrante del grupo de investigación «Servipublicos», categoría B, según Minciencias. Miembro evaluador y dictaminador de revistas científicas de Colombia, México, España y Argentina. Ponente internacional en temas de movilidad urbana sostenible, infraestructura vial, agua potable y saneamiento básico, y seguridad vial. Ha trabajado como supervisor e interventor de proyectos de obras civiles.

Mario Guadalupe González Pérez

Licenciado en Ingeniería Civil por la Facultad de Ingeniería Culiacán de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Magíster en Administración de la Construcción por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y doctor en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad por el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara.

Actualmente, está adscrito al Departamento de Estudios del Agua y la Energía del Centro Universitario de Tonalá, en los doctorados en Movilidad Urbana, Transporte y Territorio y Geografía y Ordenación Territorial de la Universidad de Guadalajara. También ha sido director de la carrera de Ingeniería en el Centro Universitario UTEG y profesor en diversas universidades del sector público y privado.

Ha participado en diversos congresos internacionales con temas como habitabilidad, movilidad y recursos hídricos. Es autor de diversos artículos en revistas científicas arbitradas e indexadas, dictaminador y evaluador de artículos y proyectos internacionales. Ha recibido financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y de la Secretaría de Educación Pública para proyectos de investigación. Es miembro del Colegio Editorial de la Revista Colombiana *Tecnogestión*, y revisor de las revistas *Transporte y Territorio*, *Infraestructura Vial* y *Ciencia Ergosum*. Ha dirigido tesis de licenciatura y maestría. En la actualidad es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT.

Mario Córdoba España

Doctor en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad y magíster en Urbanismo y Desarrollo por la Universidad de Guadalajara de México. Magíster en Planificación, Economía y Operación del Transporte Urbano y Metropolitano por la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, España.

Es autor de numerosas investigaciones, artículos y libros en el área de su especialidad. Con una amplia y acreditada trayectoria profesional de más de 37 años, ha realizado numerosos proyectos en el sector público y privado, entre los que destacan la implementación de dos líneas del metro y una línea de BRT en el Área Metropolitana de Guadalajara, el Plan Maestro de Movilidad No Motorizada y la implementación en la capital mexicana de uno de los sistemas de bicicletas públicas más grande de Latinoamérica.

En la actualidad es profesor-investigador en los posgrados de Movilidad Urbana, Transporte y Territorio de la Universidad de Guadalajara, México, y consultor especializado en urbanismo, movilidad urbana y transporte integrado. Es además consejero experto de la Red SIMUS de Latinoamérica.

La seguridad vial en los sistemas masivos de transporte público en forma de subsistemas de Bus Rapid Transit (BRT) es un aspecto fundamental que debe garantizarse para ofrecer un servicio de calidad.

La implementación de sistemas integrados de transporte público implica la complementariedad de sus diferentes modalidades, con las capacidades de cada subsistema en un entorno seguro, especialmente en modalidades como el BRT, donde se comparte el espacio vial con otros modos de transporte motorizado y de movilidad activa en la ciudad. Cuando se superan las capacidades de los subsistemas, la inseguridad se hace presente en desafortunados accidentes viales con heridos y pérdidas humanas.

Los autores tratan de responder a la pregunta implícita que recorre este libro: ¿hasta dónde es posible aumentar la capacidad del BRT sin poner en peligro la seguridad de sus usuarios?

