



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Accesibilidad territorial urbana ofrecida por la red de Transmilenio según condición socioeconómica. Caso Bogotá.

Valeria Cortés Cifuentes

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Bogotá, Colombia

2018

Accesibilidad territorial urbana ofrecida por la red de Transmilenio según condición socioeconómica. Caso Bogotá.

Valeria Cortés Cifuentes

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título

de:

Magister en Ingeniería- Transporte

Director (a):

PhD. Carlos Felipe Urazán Bonells

Codirector (a):

PhD. Diego Alexander Escobar García

Línea de Investigación:

Planeación de la movilidad

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Bogotá, Colombia

2018

A mis padres

El conocimiento es poder. La información es liberadora. La educación es la premisa del progreso, en cada sociedad, en cada familia.

Kofi Annan

Agradecimientos

Gracias a Dios por sus infinitas bendiciones.

A mis padres quienes han sido los encargados de mi formación, por su esfuerzo y apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida, por su amor y creer en mí, por enseñarme que todo lo que uno se propone lo puede cumplir. A mi hermano por estar a mi lado en cada etapa de mi vida, por ayudarme a formar como persona y por hacerme ver la vida un poco más fácil. Finalmente, a Juan David, por estar conmigo cada segundo e impulsarme a alcanzar esta meta.

Quisiera también agradecer a todos los buenos maestros que tuve durante toda mi vida académica, aquellos que me impulsaban a ver un poco más allá de lo que las cosas parecen ser, a escuchar diferentes opiniones y a analizar cada una de las cosas que hago, siempre con una opinión crítica.

A mi alma mater, La Universidad Nacional de Colombia, donde empecé mi vida profesional, gracias a la sede Manizales por formarme como ingeniera civil, por 5 años de infinitas enseñanzas y pruebas, también a la sede Bogotá, en donde hice mi Maestría y logré formar una visión de la importancia del transporte y la movilidad en la sociedad.

Finalmente, un agradecimiento especial a mis directores de tesis, el PhD. Carlos Felipe Urazán Bonells y al PhD. Diego Alexander Escobar García, por su disposición y tiempo durante la elaboración de esta investigación.

Resumen

La presente investigación tiene como objeto evaluar a través del modelo de accesibilidad media global los tiempos promedios de viaje que tienen los usuarios del actual sistema rutas troncales y alimentadoras del transporte público de la ciudad de Bogotá.

También pretende realizar el mismo análisis para un escenario futuro, que comprende modificaciones en la infraestructura actual y la entrada en operación de nuevas troncales propuestas por la administración de la ciudad.

Con los escenarios mencionados se hace una comparación donde se puede determinar el porcentaje de ahorro que hay en tiempos promedio de viaje para cada uno de los usuarios con las modificaciones que tiene la red.

Finalmente, para determinar si los más beneficiados con los cambios en la red de transporte público son los habitantes de la ciudad con las condiciones económicas más vulnerables, se hace una categorización de los usuarios en ingresos promedio y estratos socioeconómicos, asignándole a cada una de ellas el tiempo promedio de viaje que resulta de la metodología de accesibilidad media global.

Palabras clave: Accesibilidad, Movilidad, Transporte público, Equidad social y Cobertura.

Abstract

The objective of this research is to evaluate, through the global accessibility model, the average travel times of users of the current BRT and feeder system of public transportation in the city of Bogota.

It also intends to carry out the same analysis for a future scenario, which includes modifications in the current infrastructure and the entry into operation of new BRT routes proposed by the city administration.

With the mentioned scenarios a comparison is made where it is possible to determine the percentage of savings in average travel times for each of the users with the modifications that the network has.

Finally, to determine whether the inhabitants of the city with the most vulnerable economic conditions are the most benefited by the changes in the public transportation network, a categorization of the users in average income and socioeconomic strata is made, assigning to each of them the average travel time that results from the global average accessibility methodology.

Keywords: Accessibility, Mobility, Public transport, Social equity and Coverage.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1. Marco Conceptual	5
2. Estado del arte	17
3. Generalidades del área de estudio.....	22
4. Metodología de aplicación	41
5. Análisis de accesibilidad territorial urbana para sistema de BRT.	53
6. Análisis de Resultados	87
7. Conclusiones y recomendaciones	97
Bibliografía	101

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Niveles de accesibilidad.....	6
Figura 1-2: Perspectivas para la evaluación del Transporte	12
Figura 3-1: Localidades de Bogotá	23
Figura 3-2: Distribución de Bogotá, según estrato socioeconómico.	26
Figura 3-3: Ingreso promedio por hogar de Bogotá.....	28
Figura 3-4: Esquema de funcionamiento del Sistema Integrado de Transporte Público.	30
Figura 3-5: BRT articulado.....	33
Figura 3-6: BRT biarticulado.....	33
Figura 3-7: Red de Transmilenio	34
Figura 3-8: Buses alimentadores.....	35
Figura 3-9: Número de viajes en promedio por persona, por estrato y por medio.	37
Figura 3-10: Tiempo promedio de viaje por cada una de las localidades de Bogotá	38
Figura 4-1: Buffer peatonal.....	45
Figura 4-2: Red para el análisis de la accesibilidad territorial urbana.....	46
Figura 5-1: Validación de velocidades de alimentadores.	54
Figura 5-2: Velocidades de las rutas alimentadoras.....	55
Figura 5-3: Validación de velocidades troncales	57
Figura 5-4: Velocidades del sistema troncal.	58
Figura 5-5: Validación cruzada del vector de tiempos medios de viaje (horas) para la red viaria actual.	59
Figura 5-6: Curvas isócronas de Accesibilidad media global en la hora pico ofrecidas por la red actual.....	61
Figura 5-7: Porcentaje de cobertura por ingresos promedio. Situación actual.	63
Figura 5-8: Porcentaje de cobertura por estrato socioeconómico. Situación actual.....	65
Figura 5-9: Validación cruzada del vector de tiempos medios de viaje para la red viaria futura	67
Figura 5-10: Curvas isócronas de Accesibilidad media global en la hora pico ofrecidas por la red futura.....	68
Figura 5-11: Porcentaje de cobertura por ingreso promedio. Situación futura	70
Figura 5-12: Porcentaje de cobertura por estrato socioeconómico. Situación futura	71
Figura 5-13: % de ahorro de tiempo entre el escenario actual y el futuro.	74
Figura 5-14: Porcentaje de cobertura por ingreso promedio. (% ahorro).....	76
Figura 5-15: Porcentaje de cobertura por estratos socioeconómicos. (% ahorro).....	78

Figura 5-16: Tasa de crecimiento de salario mínimo legal vigente de Colombia vs la tarifa del sistema troncal.	80
Figura 5-17: Ahorro del precio generalizado por cada estrato socioeconómico	84
Figura 5-18: Ahorro del precio generalizado por cada estrato socioeconómico	85

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Proporción de población de Bogotá por localidad, según estrato socioeconómico	27
Tabla 4-1: Información Primaria, según entidad.	42
Tabla 5-1: % Población según ingreso promedio en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red actual.....	62
Tabla 5-2: % Población según ingreso estrato socioeconómico en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red actual.	64
Tabla 5-3: % Población según ingreso promedio en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red futura.	69
Tabla 5-4: % Población según estrato socioeconómico en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red futura.	71
Tabla 5-5: % Población según ingreso promedio en el área de influencia según % de ahorro de tiempo.....	75
Tabla 5-6: % Población según estrato socioeconómico en el área de influencia según % de ahorro de tiempo.....	77
Tabla 5-7: Análisis histórico de tarifa del componente troncal vs Salario mínimo legal vigente.....	79
Tabla 5-8: Valor de hora para los usuarios desagregados por estrato socioeconómico.	82
Tabla 5-9: Valor de hora para los usuarios desagregados por ingreso promedio del hogar.	82
Tabla 5-10: Precio generalizado en función de estratos socioeconómicos.....	83
Tabla 5-11: Precio generalizado en función de ingresos promedio.....	84

Introducción

“La accesibilidad se refiere a la capacidad de las personas para acceder a los servicios y actividades, y por lo tanto el tiempo y el dinero que la gente y las empresas deben dedicarle al transporte. La calidad de la accesibilidad tiene impactos directos e indirectos enormes” (Litman, 2014). Por lo tanto, resulta importante contar con metodologías que permitan medirla.

Los objetivos en cuanto al transporte de una gran cantidad de países buscan eliminar las diferencias de clases, por medio de mayor acceso a servicios y artículos de primera necesidad (Jones, 2011). Para esto hay que tener en cuenta cómo la evolución del modo de transporte público urbano influye de forma directa en la calidad de vida de los habitantes. Por otra parte, los análisis de accesibilidad son cada vez más importantes al evaluar planes y proyectos de infraestructura (Gutiérrez et al., 2012).

Existen varias definiciones de accesibilidad en el ámbito del transporte, por lo tanto, es necesario aclarar que la que se acota al presente estudio corresponde a el grado de conexión que tiene toda red y refleja el efecto que sobre la movilidad presentaría un conjunto de intervenciones infraestructurales.

La organización del transporte en Bogotá ha sido insatisfactoria por mucho tiempo, las últimas alcaldías han tomado grandes riesgos políticos para reformarla, ya que todos han aceptado que el transporte es probablemente el tema más importante y controversial que cada alcalde debe afrontar (Gilbert & Garcés, 2008).

No cabe duda de que Transmilenio es un gran avance en las reformas de transporte, ha reducido la contaminación y la congestión a lo largo de las troncales principales, aunque en la hora pico los viajes son lentos y no confortables (Gilbert & Garcés, 2008). A esto se le suma que la ciudadanía está insatisfecha con la calidad del servicio: apenas 19% reporta estar satisfecho con el transporte troncal, 32% con el zonal y 43% con el colectivo tradicional. Hay diferentes problemas relacionados con la integración, cobertura,

frecuencia, informalidad, accesibilidad, infraestructura, comunicación al usuario, congestión, cultura de los actores y seguridad personal (Peñalosa, 2016).

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objeto comparar la accesibilidad media global de la red troncal actual de Transmilenio con la red proyectada para los usuarios del sistema categorizados por estrato socioeconómico e ingresos promedio, en función de la política pública de transporte planteada por la actual administración distrital. Es decir, que se van a determinar los porcentajes de ahorro en tiempo promedio de viaje que tienen los usuarios según el estrato y los ingresos promedio, al implementar nuevas rutas troncales en la red analizada, todo esto a través de la metodología de accesibilidad media global.

Para cumplir con el objeto planteado se van a analizar las propuestas de trazado a futuro de la red troncal de Transmilenio de la actual Alcaldía. Luego se procederá a calcular el tiempo promedio de viaje (isócronas) en los diferentes puntos de la ciudad, por medio de modelos geoestadísticos, tanto para la red actual como para la red futura. También será necesario determinar el ahorro en tiempo promedio de viaje que tienen los usuarios caracterizados por su estrato socioeconómico e ingresos promedio con la incorporación de las troncales proyectadas. A partir de esto, determinar si la red troncal proyectada o futura cumple con la política pública distrital en términos de mejoras en las condiciones de accesibilidad territorial urbana ofrecida por la red de transportes y finalmente, realizar un análisis histórico de asequibilidad al sistema troncal, en función del comportamiento de la tarifa al usuario, respecto del salario mínimo.

Para dar cumplimiento al alcance de este estudio se pretende utilizar la red troncal y de alimentadores en su totalidad de la ciudad de Bogotá, para la red de infraestructura vial y peatonal se utilizará aquella que se encuentre dentro del área de influencia en un radio de 700 metros alrededor de las estaciones y los paraderos que utiliza el componente troncal y los alimentadores del sistema.

El proyecto se realizará para el escenario actual (2017) de la red troncal y de alimentadores de Transmilenio, y también una red futura, que según el Distrito serán las troncales de la Carrera Séptima, la Avenida Boyacá, la Avenida Ciudad de Cali y la Carrera 68.

La hipótesis de este trabajo establece que los habitantes de la ciudad de Bogotá más afectados en términos de accesibilidad territorial urbana, es decir, en tiempos promedio de viaje para acceder a la red de Transmilenio, sean aquellos con ingresos promedio y

estratos socioeconómicos más bajos. Por otro lado, se espera obtener que la propuesta de trazado a futuro de la red mejore los índices de accesibilidad para los usuarios con ingresos más bajos, cumpliendo con las políticas planteadas por la actual Alcaldía, que están encaminadas en mejorar las condiciones de los habitantes de la ciudad con las condiciones económicas más vulnerables.

La metodología utilizada para el modelo de accesibilidad global consiste en determinar en todos los puntos de la ciudad de Bogotá cual es el tiempo promedio de viaje de conexión un usuario dentro de la red, esta se compone de los nodos que son los paraderos y estaciones del sistema y los arcos que son la red vial.

Como primera medida es necesario conocer las características físicas de la red, en función del número de carriles, trazado sobre la ciudad de Bogotá y giros e intersecciones. La velocidad de operación del sistema evaluado resulta la variable más importante del estudio pues en la medida que sea exacta y precisa, los resultados del modelo también lo serán. Después de conocer todas estas características se debe tener la red y los nodos georreferenciados para generar un algoritmo de camino mínimo entre nodos y conocer el tiempo promedio de viaje que hay entre todos los nodos de la red.

Conociendo el tiempo en cada uno de los nodos, se procede a generar la interpolación del modelo para determinar el valor en todo el territorio estudiado, esto se realiza a partir de modelos geoestadísticos que relacionan las características físicas de una red con modelos estadísticos de interpolación, generando unas curvas isócronas que tienen como características cubrir un área específica del territorio con el mismo tiempo promedio de viaje.

Con esta información y con la localización de la población desagregada por ingresos promedio y estratos socioeconómicos es posible hacer un análisis de cobertura espacial para determinar cuál es la curva isócrona que tiene cobertura en cada población y observar como es el tiempo promedio de viaje para cada uno de ellos.

Para la red futura se realiza la misma metodología, agregándole a la red los trazados de las troncales proyectadas con las velocidades determinadas y se hace el mismo análisis de cobertura espacial.

Finalmente se debe hacer un análisis de gradiente entre los dos escenarios evaluados, este consiste en determinar el ahorro en tiempo promedio de viaje que tienen los usuarios de la red en función de las intervenciones de infraestructura realizadas, se hace el análisis para las dos condiciones económicas evaluadas y se determina el % de ahorro en tiempo de viaje para los diferentes usuarios.

Si bien la presente investigación tiene un énfasis en la accesibilidad, también se hace un análisis histórico de asequibilidad al sistema troncal, en función del comportamiento de la tarifa al usuario, respecto del salario mínimo, con el fin de analizar el transporte público como un servicio integral de la sociedad que va en pro de mejorar la calidad de vida de sus usuarios.

Esta metodología es novedosa en el país, con desarrollos importantes en la región del eje cafetero, sin embargo, es el primer estudio con este modelo desarrollado en la ciudad de Bogotá, por lo tanto, presenta resultados novedosos que son una herramienta de planificación importante para la ciudad en materia de movilidad, además, abre las puertas para desarrollar otro tipo de estudios relacionados con la metodología en la ciudad y en la región.

Se concluye que este tipo de análisis es un apoyo técnico que muestra un panorama general de las condiciones de accesibilidad de un territorio, que en cualquier momento puede apoyar la toma de decisiones respecto a modificaciones que se deseen realizar a la red vial y sobre todo para establecer en qué áreas de la ciudad se deben aunar esfuerzos para ofrecer una mejor accesibilidad y aumentar la calidad de vida de los habitantes.

1. Marco Conceptual

Esta sección pretende exponer algunos conceptos básicos referentes al tema de investigación. También, presentar las hipótesis, métodos y teorías ya existentes sobre el objeto de estudio, con el fin de dar un contexto y tener claro el vocabulario que será utilizado durante el desarrollo del presente estudio.

Inicialmente se presentarán las principales definiciones de accesibilidad que se han venido generando a lo largo de la historia, seguido por la importancia que este tipo de modelos representan y cómo influyen en la planificación del transporte. Después, se realizará un pequeño resumen de las diferentes perspectivas que existen para medir el transporte. Finalmente, se hará una precisión en la accesibilidad que será utilizada en esta investigación exponiendo los factores determinantes y la evaluación del modelo.

1.1 Definición de accesibilidad

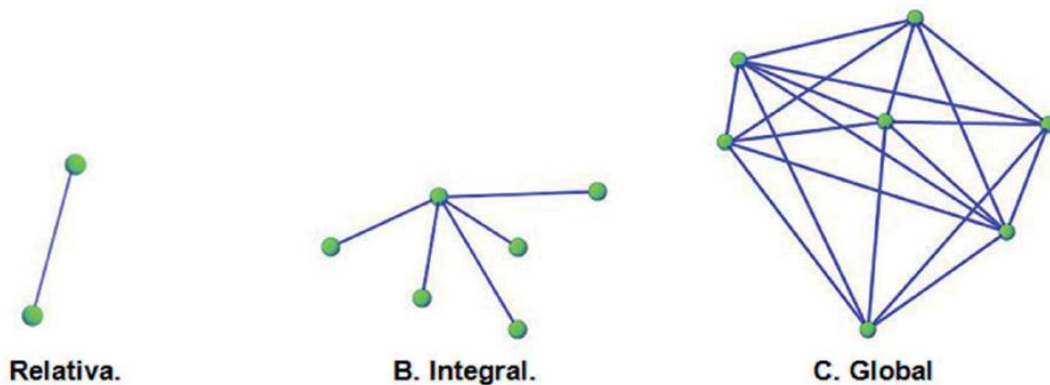
“...El potencial de oportunidades para la interacción” (Hansen, 1959) fue la primera definición técnica del concepto de accesibilidad, sin embargo este concepto ha sido ampliado y complementado por diferentes autores, “La accesibilidad se refiere a la capacidad de las personas para acceder a los servicios y actividades, y por lo tanto el tiempo y el dinero que la gente y las empresas deben dedicarle al transporte. La calidad de la accesibilidad tiene impactos directos e indirectos enormes” (Litman, 2014). Es un concepto clave tanto en el área del transporte como de la planeación urbana y permite medir la cercanía o proximidad de un lugar y personas de otros lugares (Geurs & Östh, 2016). Además, la accesibilidad es un aspecto clave en el desarrollo económico, ya que se puede evidenciar que las regiones que cuentan con un mejor acceso a materiales para la producción y a los mercados tienden a ser más productivas, más competitivas y por lo tanto tienen un éxito mayor que las zonas más remotas y aisladas (Linneker, 1997), es

decir que desde el punto de vista geográfico se considera como una importante variable de competitividad entre las regiones (Biehl, 1991).

“La definición de accesibilidad les otorga un rol relevante a nociones tales como derecho, ejercicio de la ciudadanía o inclusión. En última instancia, lo que se destaca es la naturaleza pública de la movilidad y la accesibilidad, reconociéndose el hecho de que se trata de un bien que debería ser protegido por el conjunto de la sociedad.” (Hernández, 2012). La accesibilidad “hace referencia a la facilidad con que cada persona puede superar la distancia que separa dos lugares y de esta forma ejercer su derecho como ciudadano. La accesibilidad, además de una dimensión territorial, también es una característica individual con relación al número de opciones que tienen los diferentes ciudadanos para acceder a los lugares y a las actividades” (Cebolla et al., 2003). También permite medir el grado en que los individuos y las familias pueden acceder a servicios cotidianos, como el empleo, educación, salud, tiendas de alimentos y centros de las ciudades. Por lo tanto, es un reflejo de la red de transporte y la planificación del uso del suelo. (Subnational Statistics of United Kingdom, 2012).

Finalmente, es importante definir los niveles de accesibilidad, independientemente del tipo de estudio de accesibilidad (estático o dinámico), existen tres niveles en los se puede categorizar: relativa, integral o global. (Izquiero, 1991).

Figura 1-1: Niveles de accesibilidad



Fuente: (Escobar & García, 2012)

Los tres tipos de accesibilidad se muestran en la **Figura 1-1**, en donde, la accesibilidad relativa está asociada con la calidad de la conexión entre dos nodos situados en una misma área; la accesibilidad integral, mide el grado de interconexión de un nodo en particular con los demás nodos de una misma área; y la accesibilidad global es el promedio de las accesibilidades integrales de todos los nodos definidos en el área de estudio, es decir, es representativa del grado de conexión de toda la red y refleja el efecto que sobre la movilidad presentaría un conjunto de intervenciones infraestructurales.

Los estudios de accesibilidad basados en la teoría de grafos pueden ser de dos tipos (Murillo, 2007): estáticos y dinámicos. Los estáticos se describen a través de índices de forma y conexiones y los dinámicos, se encargan de valorar los elementos de conexión de la red con variables reales asociadas con la operación de cualquier sistema de transporte, como por ejemplo las distancias, velocidades de operación de los diferentes modos de transporte, características de superficie de rodadura, costos, flujos, etc.

1.2 Importancia del modelo de accesibilidad

Litman (2014) afirma que:

Dado que el acceso es el objetivo principal de la planeación del transporte, esta se debe basar en la accesibilidad. Sin embargo, la planificación convencional tiende a evaluar el rendimiento del sistema de transporte basado principalmente en las condiciones de viaje de los vehículos de motor que utilizan indicadores como el nivel de servicio de la vía, la velocidad del tráfico y los costos operativos de los vehículos; otros factores de accesibilidad a menudo se pasan por alto o son subestimados. Esto tiende a favorecer la movilidad sobre la accesibilidad y el transporte de automóviles con respecto a otros modos.

Un nuevo paradigma de la planificación requiere un análisis más exhaustivo de accesibilidad. Nuestra capacidad para evaluar la accesibilidad está mejorando el transporte y uso de la tierra, se han desarrollado mejores herramientas de cuantificación del impacto de accesibilidad, incluyendo indicadores multimodales de nivel de servicio, modelos que miden las distancias de viaje, tiempo de viaje y el costo requeridos por los usuarios del sistema de transporte para acceder a distintos tipos de servicios y actividades.

Por lo mencionado se puede evidenciar la importancia de incluir análisis de accesibilidad en la planeación del transporte pues permite tener en cuenta otros factores adicionales a los convencionales. “Desde el punto de vista de planificación territorial, tanto a escala urbana como regional, se ha dado bastante importancia al concepto de accesibilidad, no sólo en relación con las posibilidades físicas de acceder a un sitio, sino también con relación a su propia dimensión geográfica y geoespacial” (Escobar et al., 2015).

Además, según (Geurs & B. van Wee, 2004) la accesibilidad analiza las siguientes perspectivas que son de gran importancia en la adecuada planeación del transporte. El uso del suelo en la cual se puede reflejar la cantidad, la calidad y la distribución espacial de oportunidades, el componente del transporte que describe el viaje en función de tiempo, costo y esfuerzo, el componente temporal que refleja las limitaciones temporales y de variabilidad, y el componente individual que refleje las necesidades y capacidades de los individuos.

“Los modelos de accesibilidad, en primer lugar, ayudan a explicar la evolución espacial y de transporte en los países desarrollados y en desarrollo; y, en segundo lugar, son herramientas para explicar los impactos de equidad y eficiencia del transporte urbano, sus políticas y proyectos” (Geurs et al, 2016). “De hecho, la accesibilidad es una entrada/ salida para el modelo del uso de la tierra y tiene un efecto indirecto sobre el objetivo del bienestar” (Wang et al, 2015).

1.3 Influencia de la accesibilidad en la planeación del transporte

Ahora bien, el modelo de accesibilidad mide el acceso diferentes servicios claves que existen en las regiones. Estos son “los centros de empleo, escuelas primarias, escuelas secundarias, Institutos de educación superior, hospitales, tiendas de comida y centro de las ciudades” (Subnational Statistics of United Kingdom, 2012).

La conciencia de las implicaciones sociales que genera la movilidad ha generado un crecimiento en los trabajos que exploran los vínculos entre el transporte, la pobreza, el

bienestar y la sostenibilidad en los planes de investigación de la geografía humana, el transporte y la sociología urbana (Jones & Lucas, 2012) (Hine, 2009). Por eso una de las preocupaciones que ha despertado mucho la atención de los estudiosos de la geografía del transporte es la medida en que la oferta de transporte público está limitada para la población menos favorecida, especialmente los que no tienen vehículos privados, pues los restringe a participar en las actividades que son consideradas normales dentro de la sociedad en la que viven (Fransen et al., 2015).

Lograr un acceso equitativo a los mercados se considera un factor crucial para el éxito de la integración social y económica, para lograr un desarrollo económico armónico (Salas et al., 2016). Sin embargo, existe una desigualdad en el tema de transporte que desfavorece a algunos usuarios, "la movilidad física es un importante contribuyente a la desigualdad social y económica" (Wachs & Kumagai, 1973), el transporte tiene claramente un papel importante que desempeñar en la determinación de los resultados sociales de diferentes sectores de la sociedad moderna en términos de la ausencia de suficientes servicios de transporte y el impacto del sistema de transporte en los individuos y las comunidades (Banister & Hall, 1981).

Estas desigualdades de transporte también se pueden ver dentro de un contexto de desarrollo. Por ejemplo, en Sudáfrica en el 2003 se identificó que la mayoría de los hogares más pobres también experimentan extremadamente esta pobreza en el acceso a los vehículos privados y los servicios de transporte público. Como resultado, la mayoría de los negros africanos presentan dificultades cuando se trata de acceder a trabajos, educación, salud, asistencia social y visitar a los miembros de su familia. (Karen, 2010). Es decir, que al no proveer un sistema de transporte que favorezca de manera adecuada a toda la población se está generando una exclusión que "es un proceso por el cual se impide a las personas de participar en la vida económica, política y social de la comunidad debido a la reducida accesibilidad a las oportunidades, servicios y redes sociales, en todo o en parte a la movilidad insuficiente en una sociedad y el medio ambiente debido a la asunción de alta movilidad " (Kenyon et al., 2003).

Ahora bien, existen cuatro dimensiones que son fundamentales para tener en cuenta en la accesibilidad para el transporte, expuestas por (Hernández, 2012):

- De oferta: relacionada al bien que se provee, a la red ofrecida y su extensión, los tiempos que impone a quien traslada, sus rasgos (horarios, regularidad, extensión temporal), su calidad en términos de la comodidad y seguridad de su material tanto rodante como estático, y la información que pone a disposición de los individuos.
- De institucionalidad: refiere a los componentes que definen el grado de desmercantilización monetaria de esa red. Entre ellos se incluye la estructura tarifaria y de regulación, la introducción de subsidios y la definición de aquellos sobre quienes recae, y el diseño de las reglas de uso con relación al pago de la tarifa, además de aspectos puramente organizativos, tales como operadores y estructura de propiedad.
- De rasgos individuales: referente a atributos de las personas y los hogares en cuanto a ingresos, el tiempo disponible y la forma de organizarlo (relacionado a sus requerimientos de actividades), y las habilidades y destrezas para dominar el sistema y su funcionamiento y poder acceder físicamente a él.
- De forma urbana: relacionada a dinámicas socio-territoriales que responden en mayor medida a factores estructurales que a decisiones individuales, como la localización de las actividades y residencia de los distintos estratos socioeconómicos.

1.4 Perspectivas utilizadas para medir el transporte

Las decisiones de planeación se toman según la manera en que se evalúa el Transporte, es decir si se evalúa basado en las condiciones de viaje del vehículo, teniendo en cuenta características como son la velocidad del tráfico, la congestión, demoras, clasificaciones de Nivel de Servicio, la única manera de mejorar la calidad del sistema de transporte es la mejora de las carreteras. Por otro lado, si se evalúa en función de la movilidad se pueden considerar mejoras en el servicio de transporte. Finalmente, si se evalúa en función de la accesibilidad (capacidad general de las personas para alcanzar los bienes deseados , servicios y actividades) , se pueden considerar opciones de desarrollo del transporte adicionales a mejorar la calzada , disminuciones en las tarifas y el transporte público, como lo son las condiciones de andar a pie y en bicicleta, los usos de la tierra para reducir las

distancias de viaje, las telecomunicaciones y los servicios de entrega que sustituyen a los viajes físicos. (Litman, 2014)

(Martens, 2006) Sostiene que:

Las prácticas de evaluación de transporte actuales son económicamente ineficientes, ya que exageran los beneficios de las mejoras orientadas a automóviles y subestiman mejoras en los modos alternativos, lo que distorsiona las decisiones de planificación para favorecer la movilidad ricos en detrimento de la movilidad de los.

Para corregir estos recomienda evaluar las mejoras del transporte principalmente en términos de accesibilidad en lugar de la movilidad. Por ejemplo, las mejoras deben ser valoradas en función del número de los servicios públicos y puestos de trabajo accesibles a las personas, teniendo en cuenta su capacidad, el tiempo de viaje y los presupuestos financieros.

La demanda de la accesibilidad y movilidad varían en función de la calidad de las opciones disponibles. Muchos consumidores prefieren reducir su tiempo de viaje en el vehículo y se basan más en los modos alternativos y lugares más accesibles, siempre y cuando esas alternativas sean más convenientes, cómodas, seguras, asequibles y de prestigio. (Levine & Frank, 2006). La accesibilidad puede ser mejorada mediante el desarrollo de nuevas opciones de transporte y de localización que respondan mejor a las necesidades y preferencias de los consumidores. (VTPI, 2006)

A continuación, en la **Figura 1-2**, se exponen las perspectivas que se utilizan para la evaluación del transporte en función del concepto que prevalezca, sea los vehículos, la movilidad o la accesibilidad. Es de resaltar que la accesibilidad permite considerar un número mayor de modos de transporte, presenta unos beneficios mayores para el usuario respecto a las otras perspectivas evaluadas y sus estrategias para la mejora del transporte aumentan la eficiencia del sistema.

Figura 1-2: Perspectivas para la evaluación del Transporte

	VEHICULO	MOVILIDAD	ACCESIBILIDAD
Definición del Transporte	Viaje en vehículo	Personas y buenos movimientos	Capacidad para obtener bienes, servicios y actividades
Unidades de medida	Millas	Personas/millas- Toneladas/millas	Viajes y costos generalizados
Modos de transporte considerados	Automóvil y camiones	Automóvil, camiones y tránsito	Automóvil, camiones, tránsito, bicicleta y caminar
Indicadores	Los volúmenes de tráfico de vehículos y velocidades, nivel de servicio de la vía, los costos por vehículo/milla y la conveniencia de aparcamiento.	La distancia de viaje y la velocidad, nivel de servicio, costo por persona/milla y la conveniencia de los viajes.	La calidad de las opciones de transporte disponibles, la distribución de los destinos y el costo por viaje
Beneficios del usuario	Beneficios en los viajes en vehículos motorizados y la velocidad	Beneficios personales y movimientos adecuados	Disponibilidad de elección de transporte y un sistema basado en costo-eficiencia
Estrategias de mejora del Transporte	Mejoras de calzadas, aumento de capacidad de parqueaderos, velocidad y seguridad	Mejoras en el sistema de transporte que aumentan la capacidad, velocidad y seguridad	Estrategias de gestión y mejoras que aumentan la eficiencia del sistema de transporte y seguridad
Gestión de la demanda del transporte	En general se considera reducciones de viaje en vehículo indeseables	Mejoran la movilidad de personas y carga	Soporta siempre la gestión de la demanda del transporte siempre que sea rentable

Fuente: (Litman, 2003)

1.5 Factores determinantes en el modelo de accesibilidad

El modelo de accesibilidad por medio de su metodología debe estar enfocado en disminuir la segregación, por lo tanto, tiene en cuenta los siguientes factores para obtener una visión más amplia en la planeación del transporte:

1. **Demanda del transporte:** La cantidad de movilidad y acceso que las personas y los negocios escogen.
2. **Movilidad:** Velocidad de viaje y distancia.

3. **Modos de Transporte:** La calidad (velocidad, conveniencia, comodidad, seguridad, etc.) de las opciones de transporte como caminar, montar en bicicleta, el transporte público, etc.
4. **Información del Usuario:** La disponibilidad de información fiable sobre las opciones de movilidad y accesibilidad.
5. **Integración:** El grado de integración entre los enlaces y los modos del sistema de transporte.
6. **Asequibilidad:** El costo para los usuarios con relación a sus ingresos.
7. **Los sustitutos de la movilidad:** Las telecomunicaciones y los servicios de entrega que sustituyen a los viajes físicos.
8. **Factores de usos del suelo:** Como el uso del suelo afecta las distancias de viaje y su costo.
9. **Red de conectividad de transporte:** Las conexiones entre carreteras y caminos, y, por lo tanto, lo directo de los viajes entre destinos.
10. **Administración del Transporte:** Como la administración que se da en el transporte afecta la accesibilidad.
11. **Priorización:** Las estrategias que favorecen la eficiencia del viaje.
12. **Inaccesibilidad:** El valor de la inaccesibilidad y aislamiento.

Estos factores son los que afectan a la accesibilidad y el grado en que se consideran en la planificación del transporte actual. (Litman, 2014). También, se pueden considerar otros factores que pueden afectar, un ejemplo de esto es el estudio realizado por (Wang et al., 2015) en el cual sugieren que las políticas deben tener en cuenta el flujo de pasajeros y sus patrones de viaje para evaluar la accesibilidad de un área, ya que los viajeros experimentados suelen conocer las rutas más cortas, así como la conveniencia (o inconveniencia) de viajar de un área a otra, por lo tanto los patrones de viaje de los pasajeros reflejan la accesibilidad de un área.

Existen varias disciplinas que analizan la accesibilidad desde su perspectiva (Litman, 2014):

- En la planeación del transporte generalmente está enfocada en la movilidad, especialmente en los viajes en vehículo.
- En la planeación del uso del suelo está enfocada en las distancias entre las actividades, es decir, la accesibilidad geográfica.

- En la disciplina de la comunicación se enfoca en el grado de acceso a los servicios de cable, teléfono e internet.
- En la planeación social de servicios se enfoca en la accesibilidad que tienen unos grupos específicos para acceder a los principales servicios.

1.6 Evaluación del modelo de accesibilidad

La evaluación es el método por el cual se miden los impactos de una actividad o decisión, en función de los costos y beneficios de las mejoras en las opciones del transporte, por lo tanto, los métodos usados en la evaluación afectan las decisiones de planeación (Levinson & El-Geneidy, 2006).

Las políticas de transporte en general tienen como objetivo mejorar la accesibilidad y reducir los impactos negativos del transporte motorizado. La mayoría de los países han adoptado análisis de costo- beneficio como la metodología de evaluación preferida en todos los aspectos del transporte de la toma de decisiones, Sin embargo, este método generalmente ignora como tales decisiones afectan a diferentes regiones y/o grupos sociales, pues esto no toma en cuenta políticas dirigidas a reducir las desigualdades en materia de accesibilidad, o los impactos negativos generados para determinados grupos sociales (Lucas et al., 2015).

Actualmente, tiende a medirse la movilidad más que la accesibilidad, los modelos de evaluación tienden a cuantificar las velocidades de viajes, las tarifas y los costos de operación, sin embargo, evaluar solamente estos factores no permite que se generen unas adecuadas estrategias de movilidad (Litman, 2014). Ahora bien, los resultados de los análisis dependen en gran medida de la manera en que se midan los factores. La accesibilidad en general, debe ser medida puerta a puerta, teniendo en cuenta los enlaces de transporte de origen a los vehículos y de los vehículos a los destinos. Los costos del tiempo de viaje deben reflejar factores como la comodidad y conveniencia, por ejemplo, la congestión y el hacinamiento aumentan los costos unitarios. Las distancias deben basarse en las condiciones reales de la red y el análisis de accesibilidad debe considerar los costos, tales como la propiedad de vehículos y el uso de parqueadero, no sólo los costos de

operación de los vehículos como se hace en evaluación por movilidad. Por lo tanto, en los métodos de evaluación del transporte actuales deben incorporar estos factores. (Geurs K. T., 2006).

Con los avances en la tecnología geoespacial, la tecnología de Internet, y mayor abundancia de datos espaciales y en tiempo real de datos detallados de transporte, el campo de la modelización de la accesibilidad es próspero. Como resultado, los focos de disciplina y los límites entre la planificación del transporte, el urbanismo, la geografía y la economía espacial en la accesibilidad podrían disminuir. (Geurs & Östh, 2016).

La evaluación de la accesibilidad debe considerar varias perspectivas, incluyendo diferentes personas, grupos, modos, lugares y actividades. A menudo requiere un análisis por separado de las perspectivas específicas. Por ejemplo, es apropiada para analizar la calidad de la accesibilidad a un destino o actividad en particular por varios grupos, entre ellos los conductores, no conductores, personas con discapacidad y los vehículos (Litman, 2014).

El modelo de accesibilidad está representado por tres tipos de indicadores diferentes, el tiempo de viaje, el de origen y el de destino. El indicador de tiempo de viaje es el menor tiempo promedio que demora un usuario para llegar al destino más cercano, el indicador de destino considera el porcentaje de usuarios que puede acceder a un servicio dentro de un determinado tiempo, finalmente, el indicador de origen mira el número de sitios disponibles para los usuarios en un área particular. (Subnational Statistics of United Kingdom, 2012) .

Esta sección, permitió tener un panorama más amplio de los principales conceptos del modelo de accesibilidad, los impactos que este tiene en la planeación de transporte y la importancia que tiene actualmente en el desarrollo de modelos de transporte.

2.Estado del arte

Esta sección pretende exponer hasta donde ha avanzado la investigación en el campo de la accesibilidad, mencionando el objetivo y las conclusiones de los principales trabajos que se han realizado a nivel mundial y nacional. Esto permite ver la importancia y relevancia que tiene el tema como herramienta para planificar políticas de transporte, y como los resultados obtenidos han permitido ser una ayuda objetiva para la toma de decisiones de diferentes tipos de proyectos.

La importancia en la medición de la accesibilidad es un tema relevante y desarrollado en el mundo, ya que según (Condeço et al., 2016) la contribución de la accesibilidad se conoce como auto-potencial y varios estudios demuestran su importancia, especialmente en los más regiones urbanizadas, ya que es allí donde las distancias internas de viaje son mayores y su estimación se dificulta debido a la congestión, que a su vez puede estar influenciada por factores como la urbanización. densidad, morfología urbana, infraestructura de red, etc. En ese estudio evalúan diferentes formas de estimar las distancias internas de viaje en el análisis de la accesibilidad y analizan las ventajas e inconvenientes de la metodología. Una de las principales dificultades encontradas es la falta de datos, sin embargo, establecen que con el creciente potencial de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) para proporcionar nuevas fuentes información se puede mejorar la representatividad de los datos.

Por otro lado, (Puello & Geurs, 2016) estudian la accesibilidad para sistemas ferroviarios, esto demuestra que la accesibilidad puede ser utilizada para otros modos con resultados valiosos. Los autores evalúan el papel de las percepciones y actitudes en la accesibilidad de las estaciones ferroviarias. Tienen en cuenta variables como el coste de acceso generalizado al transporte, la percepción del entorno de la estación, la evaluación de la información de viaje y la conectividad percibida. Los resultados muestran, en primer lugar, que la omisión de efectos no observados en las medidas basadas en los servicios públicos tiende a sobreestimar los niveles de accesibilidad. En segundo lugar, se revelan las

variaciones en los niveles de accesibilidad, en función del tamaño de las estaciones de ferrocarril y de las zonas urbanas. Por último, los resultados destacan que los efectos de las impedancias de conectividad de la red son más fuertes que las impedancias del entorno de la estación en los costes de transporte generalizados.

Según el artículo desarrollado por (Geurs & Östh, 2016), la accesibilidad es un concepto clave tanto en el transporte como en la planificación urbana. Los objetivos clave del transporte no sólo a nivel urbano, sino también a nivel nacional y regional, tienen por objeto mejorar la accesibilidad. La accesibilidad es también un concepto clave que se ha convertido en un elemento central de la planificación física y de la modelización espacial durante más de cincuenta años. Por lo tanto, la accesibilidad es un concepto clave en la planificación y la investigación.

El modelo de accesibilidad ya ha sido utilizado en Colombia, en el estudio realizado por (Younes et al., 2016) se analiza la posición geoespacial del principal sector universitario de la ciudad de Manizales y su relación con las características operativas de la red de transporte respecto del estrato socioeconómico de sus principales usuarios. La metodología aplicada se basa en cuatro etapas teniendo como objetivo el análisis de accesibilidad media integral ofrecida por la red de transportes a la comunidad universitaria, a través de un modelo geoestadístico. Los autores concluyeron que es necesario ampliar la oferta modal de transporte para mejorar la calidad del servicio que llega a dicho sector, teniendo como origen la residencia de estudiantes y docentes.

Por otro lado, accesibilidad de los centros de ambulancias y hospitales prestadores del servicio de urgencias y su relación con la inequidad espacial fue una investigación realizada por (Escobar et al., 2016) en Manizales en donde pretendían establecer la cobertura geoespacial de los centros de ambulancias y hospitales prestadores del servicio de urgencias con la ubicación de la población a la cual le presta el servicio, a través de un análisis de accesibilidad territorial. Identificaron que los barrios clasificados como estrato 1 refieren una deficiente accesibilidad frente al servicio de urgencias. Por lo tanto, concluyeron que se demuestra la ausencia de equidad espacial al relacionar condiciones socioeconómicas, equipamientos de salud y características operativas de la red de movilidad en la ciudad de Manizales.

La investigación de (Escobar & Urazán, 2014), explora el estado del arte respecto a los análisis de accesibilidad territorial y el uso de los mismos como instrumentos de planificación a nivel mundial. Exponen claramente la metodología general de aplicación y la amplia gama de posibilidades existentes como un potente instrumento de planificación territorial a nivel urbano y regional.

Inicialmente exponen dos casos a nivel regional. El de región vial centro sur de Caldas en donde se hace un análisis de accesibilidad media global, ofrecida por la red viaria, teniendo en cuenta los tiempos de viaje que se pueden tener al Aeropuerto del Café ubicado en Palestina con la infraestructura actual y con las modificaciones. Concluyeron que las futuras intervenciones infraestructurales, desde el punto de vista de población cubierta por determinados tiempos de viaje, no impactaran significativamente el territorio.

El segundo caso mide la accesibilidad media global que ofrece la red vial del occidente caldense y del norte de Risaralda; y así mismo, analizan las accesibilidades integrales desde las poblaciones de Manizales, Chinchiná y La Virginia, con el fin de definir cuál de las tres poblaciones es la más adecuada para establecer la estación de distribución de gas natural comprimido (GNC). A partir de los resultados concluyeron dos alternativas, la primera fue que se debían definir dos puntos de distribución, uno situado en el municipio de Manizales que se encargue del abastecimiento de las poblaciones hacia el corredor norte mediante vehículos pesados y otro punto de distribución localizado en la ciudad de La Virginia encargado del abastecimiento de las poblaciones hacia el corredor occidente por medio de vehículos articulados. La segunda, consistía en establecer una única estación de distribución en el municipio de Chinchiná, que se encargue del suministro del producto hacia los dos corredores analizados (corredor norte y corredor occidente).

Adicionalmente, los autores, presentan un caso urbano en donde se pretende aplicar el análisis de accesibilidad con el objetivo de encontrar la relación existente entre las características operativas ofrecidas por la red de transporte de la ciudad de Manizales y la ubicación geoespacial de los centros educativos. Establecieron en que sectores de la ciudad existe una deficiencia respecto a la cobertura de los nodos de actividad o cuales de los centros educativos refieren deficiencia en su relación con los sistemas de transporte que llegan hasta cada uno de ellos. Obtuvieron que 55% del área, 72% de la población y

72% del número de viviendas de la ciudad pudieran alcanzar un nodo de actividad educativo si se invierten hasta 5 minutos de tiempo medio de viaje.

Comparar el uso de transporte público frente al uso de vehículo privado también es posible bajo el modelo de accesibilidad, esto se puede evidenciar en el estudio realizado por (Urazán et al., 2013). En esta investigación se reflexiona acerca de la metodología de cálculo que busca conocer la relación entre las condiciones operacionales del modo transporte público colectivo urbano (TPCU) y el modo vehículo privado (VP). Se evalúan las condiciones de accesibilidad media global ofrecida por la red vial urbana de Manizales para ambos modos de transporte. La metodología de investigación aplicada arrojó resultados gráficos valiosos que permiten identificar los sectores de la ciudad que reportan diferencias importantes en la operatividad de los modos. Así mismo, mediante relaciones de los resultados obtenidos con variables como uso del suelo, número de rutas de TPCU o categoría de la red vial, es posible verificar el porqué de una diferencia operativa o concluir sobre la necesidad de mejoramiento de las condiciones de infraestructura para uno u otro modo.

El estudio realizado por (Escobar & García, 2011) tuvo como objetivo evaluar el impacto producido por la construcción de la primera línea de cable aéreo en Manizales en los tiempos medios de viaje invertido por los pobladores, realizando una comparación con los tiempos medios de viaje sin la existencia de éste, para luego comparar con las variables: área, población y número de viviendas beneficiadas. Se hace uso de la metodología de análisis de accesibilidad territorial por medio de técnicas geoestadísticas de predicción de tiempos, basados en las velocidades medias de operación de los sistemas cable y del sistema de transporte público colectivo como un todo.

El concepto de accesibilidad es un elemento inherente a la organización física del espacio y los diferentes sistemas de movilidad que transcurren sobre éste; como ejemplo de aplicación (Escobar, 2008) presenta un ejercicio comparativo entre la red de transporte público y la red viaria básica, analizando las curvas isócronas de accesibilidad que dichas redes ofrecen. El estudio determina las zonas que presentan una conexión deficiente con el territorio dada la oferta de itinerarios existente sobre la red, y luego se realiza el mismo análisis incluyendo las propuestas de transformación, tanto operativas como infraestructurales que se desarrollarían para la ciudad. Finalmente se estudia y compara

la accesibilidad que ofrece el servicio, antes y después de la implementación de las propuestas, estableciendo si en realidad existe una mejora del indicador accesibilidad.

Los estudios presentados anteriormente evidencian que la metodología que abarca un análisis de accesibilidad sea a escala regional o a escala urbana, se configura como una potente herramienta de diagnóstico y planificación de redes de movilidad, ya que permite conocer la relación existente entre las características operativas de un conjunto de modos de transporte y la infraestructura de movilidad por la cual discurren dichos modos (Escobar & Urazán, 2014).

3. Generalidades del área de estudio

El objeto del presente capítulo es hacer una contextualización del área de estudio dando a conocer las principales características de la ciudad de Bogotá. Se inicia con las generalidades del municipio, y después, se hace un énfasis en las condiciones socioeconómicas y el sistema de transporte público que actualmente opera en la ciudad. Finalmente se describe en mayor detalle el componente de BRT (objeto de estudio de la presente investigación) exponiendo su historia, operación, inconvenientes y proyecciones futuras.

3.1 Descripción general de Bogotá

Bogotá, Distrito Capital, es la capital de la República de Colombia y del departamento de Cundinamarca. Está administrada como Distrito Capital, y goza de autonomía para la gestión de sus intereses dentro de los límites de la Constitución y la ley. A diferencia de los demás distritos de Colombia, es una entidad territorial de primer orden, con las atribuciones administrativas que la ley confiere a los departamentos. Está constituida por 19 localidades (Ver **Figura 3-1**) y es el epicentro político, económico, administrativo, industrial, artístico, cultural, deportivo y turístico del país.

Figura 3-1: Localidades de Bogotá

Fuente: Bogota Abierta, 2018.

Bogotá está situada en la sabana homónima, sobre el altiplano cundiboyacense, una llanura situada en promedio a 26301 msnm y sus zonas montañosas alcanzan de 2400 m a 3250 msnm. Según el DANE, el municipio actualmente tiene 8.081.000 de habitantes y presenta un crecimiento aproximado de 100.000 habitantes por año

Una de las metas que se desea alcanzar con la presente investigación, consiste en evaluar a través del modelo de accesibilidad si los cambios en la red futura del sistema BRT son consecuentes con las políticas públicas planteadas por la administración. Esto se pretende realizar evaluando el Plan de Desarrollo Territorial del actual alcalde Mayor de Bogotá, Enrique Peñalosa Londoño.

Un Plan de Desarrollo Territorial es la carta de navegación para la inversión de los recursos en cuatro años de una entidad territorial. Todos los alcaldes y gobernadores están obligados por ley a hacer un plan que guíe en qué van a gastar los recursos durante su periodo. Ese Plan debe nacer y debe justificarse en el mandato ciudadano que es la

propuesta que ellos hicieron cuando se inscribieron como candidatos en la Registraduría de su programa de gobierno. Los principales temas tratados en este documento son salud, educación, seguridad, empleo y movilidad.

Ahora bien, el Plan de Desarrollo para Bogotá 2016-2020, propone que se deben generar acciones de tipo integral, orientadas principalmente a las personas en condición de pobreza extrema y quienes se encuentran en mayor grado de vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad. Busca trascender la visión asistencialista a partir del fortalecimiento de capacidades y el aumento de oportunidades en función de la protección y goce efectivo de derechos, el desarrollo integral y la inclusión social. Esto a través de estrategias de promoción, prevención, atención y acompañamiento integral, de esta forma pretende que los ciudadanos puedan mejorar su calidad de vida y la construcción y fortalecimiento de su proyecto de vida con autonomía.

Por lo tanto, se puede evidenciar que las políticas públicas están encaminadas en un concepto de igualdad y autonomía para una Bogotá incluyente. Además, el programa “Mejor Movilidad Para Todos” que se encuentra dentro del plan, pretende contribuir a la democracia, ya que esto mejora la calidad y accesibilidad a la movilidad para todos los usuarios: peatones, ciclistas, usuarios del transporte público colectivo e individual, usuarios del transporte privado.

3.1.1 Condiciones socioeconómicas

La región Bogotá-Cundinamarca es el motor y núcleo de la economía en Colombia, pues representa cerca del 30% del Producto Interno Bruto (PIB) del país. Es una economía bastante diversificada y, en su conjunto, registra una alta participación en el aporte de las diferentes actividades económicas del país. Por lo tanto, su dinamismo y diversidad la convierten en una región próspera y con muchas potencialidades, especialmente para el mercado interno (Herrera, 2015).

Es importante resaltar que “La movilidad es un elemento clave del proceso de estructuración y estratificación social, y el transporte público tiene un papel importante en reproducir o contrarrestar la desigualdad socioeconómica de la ciudad” (Kauffman, 2016). El Plan de Desarrollo propone que por medio de la infraestructura social las poblaciones más vulnerables de la ciudad mejoren su acceso a servicios públicos de calidad y de esa manera se reduzca la brecha de desigualdad, segregación y discriminación. El alcalde

enfatisa que la construcción de una ciudad incluyente es una prioridad para la administración distrital.

Ahora bien, teniendo en cuenta que la presente investigación hace un análisis de accesibilidad caracterizando los usuarios de Bogotá según determinadas condiciones socioeconómicas, es necesario hacer una descripción de los indicadores que reflejan la situación de la ciudad, específicamente el ingreso promedio por hogares y el estrato socioeconómico que son variables fundamentales para el modelo.

Estas variables fueron escogidas para evaluar sobre ellas los tiempos promedio de viaje ya que, representan condiciones socioeconómicas en los usuarios que permiten valorar que tan favorecidos económicamente son y así identificar los beneficios que se presentan en cada uno de ellos en tiempos de viaje a través de la metodología de accesibilidad.

La información de estratos socioeconómicos se encuentra a nivel de predios, lo que permite tener un nivel de detalle importante respecto a la red de transporte analizada, si bien, muchas veces el estrato socioeconómico no refleja la condición económica de las personas que habitan en ese sector, si se puede tener un acercamiento importante a nivel general del impacto en tiempos promedio de viaje que tiene el componente troncal y de alimentadores respecto a los usuarios según determinadas características económicas.

Para validar los resultados que se van a generar con la variable mencionada anteriormente, se escoge también los ingresos promedio por hogar de los habitantes de Bogotá, según el Banco de la Republica, el ingreso promedio de un hogar es un indicador económico que permite conocer a través de su valor la condición económica de un sector, ya que, este indicador está estrechamente vinculado con la calidad de vida de las personas que habitan allí.

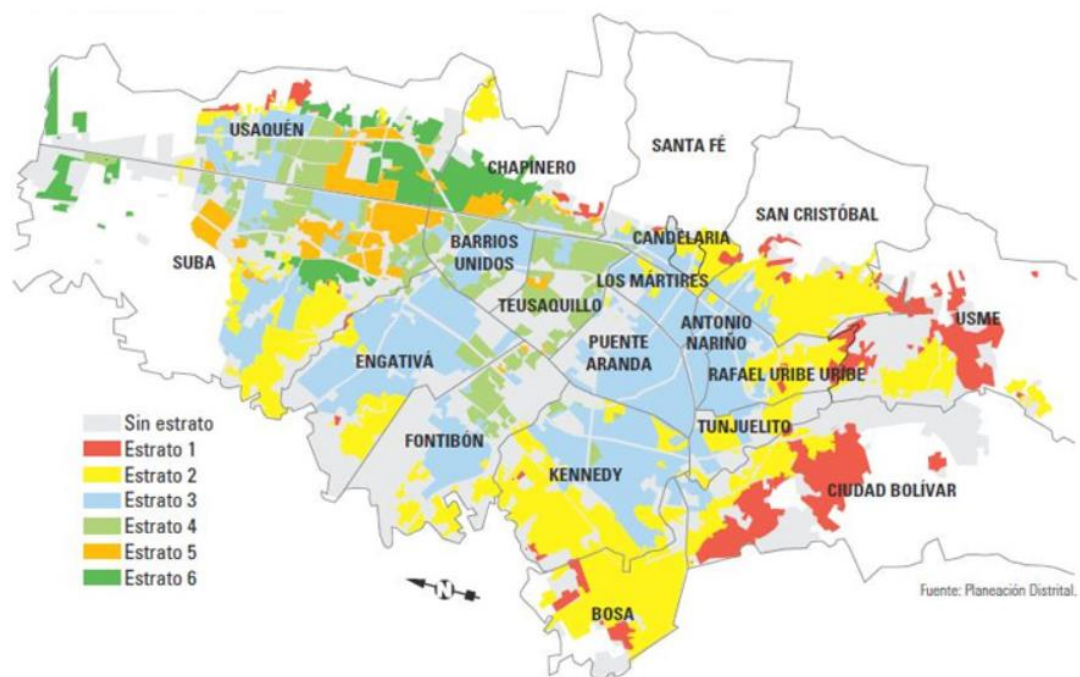
A pesar de que las dos variables miden diferentes características de la población, se observa que hay una relación dentro de cómo se distribuyen en la ciudad, es decir que, las zonas con menores ingresos promedio, también cuentan con una proporción mayor de estratos socioeconómicos bajos.

- **Estratos socioeconómicos:** La estratificación socioeconómica conforma los estratos con variables como: las características de las viviendas (materiales de las

fachadas, de las puertas o ventanas, antejardines, garajes), las características del entorno inmediato (vías de acceso, andén y focos de contaminación, entre otros), y el contexto urbanístico (características de la zona y servicios públicos). De esta forma, la calidad de las viviendas puede llegar a ser una aproximación a la calidad de vida de las personas que las habitan (Departamento Administrativo de Planeación, 2004).

La ciudad se subdivide en 6 estratos socioeconómicos, siendo el 1 el más bajo y el 6 el más alto. Esto con el fin de identificar zonas de acción y distribuir el costo de los servicios públicos; en donde los estratos más altos subvencionan a los más bajos y estos a la vez pueden acceder a beneficios educativos o de salud dada la estratificación. Esto le ha permitido a la ciudad identificar rápidamente sectores vulnerables. A continuación, se presenta en la **Figura 3-2** cada una de las localidades de Bogotá con su correspondiente estrato.

Figura 3-2: Distribución de Bogotá, según estrato socioeconómico.



Fuente: Planeación Distrital, 2017

Tabla 3-1: Proporción de población de Bogotá por localidad, según estrato socioeconómico

Localidad	Estratos (%)						No residenciales ⁽¹⁾
	1	2	3	4	5	6	
Usaquén	2,94	9,80	28,05	24,86	13,93	17,96	2,46
Chapinero	4,62	8,65	8,05	26,63	11,39	39,37	1,29
Santa Fe	2,25	67,91	24,49	3,17	0,93	-	1,26
San Cristóbal	7,64	76,56	14,82	-	-	-	0,98
Usme	26,44	72,63	-	-	-	-	0,93
Tunjuelito	0,01	63,62	35,03	-	-	-	1,34
Bosa	0,88	91,97	6,64	-	-	-	0,51
Kennedy	1,54	38,97	57,86	0,93	-	-	0,71
Fontibón	-	7,25	74,85	16,83	-	-	1,06
Engativá	0,61	10,57	83,71	3,93	-	-	1,18
Suba	0,28	34,09	35,19	12,47	15,27	1,72	0,98
Barrios Unidos	0,01	-	63,80	32,71	2,25	-	1,24
Teusaquillo	-	0,01	17,67	75,56	6,27	-	0,49
Los Mártires	-	5,43	89,39	4,65	-	-	0,53
Antonio Nariño	-	7,96	91,94	-	-	-	0,10
Puente Aranda	0,01	0,25	98,88	-	-	-	0,86
La Candelaria	-	66,27	30,16	-	-	-	3,57
Rafael Uribe	4,85	43,39	50,81	-	-	-	0,95
Ciudad Bolívar	46,52	47,99	4,40	-	-	-	1,08
% Total	7,05	36,95	42,48	7,30	3,07	2,10	1,04

Fuente: Planeación Distrital, 2017

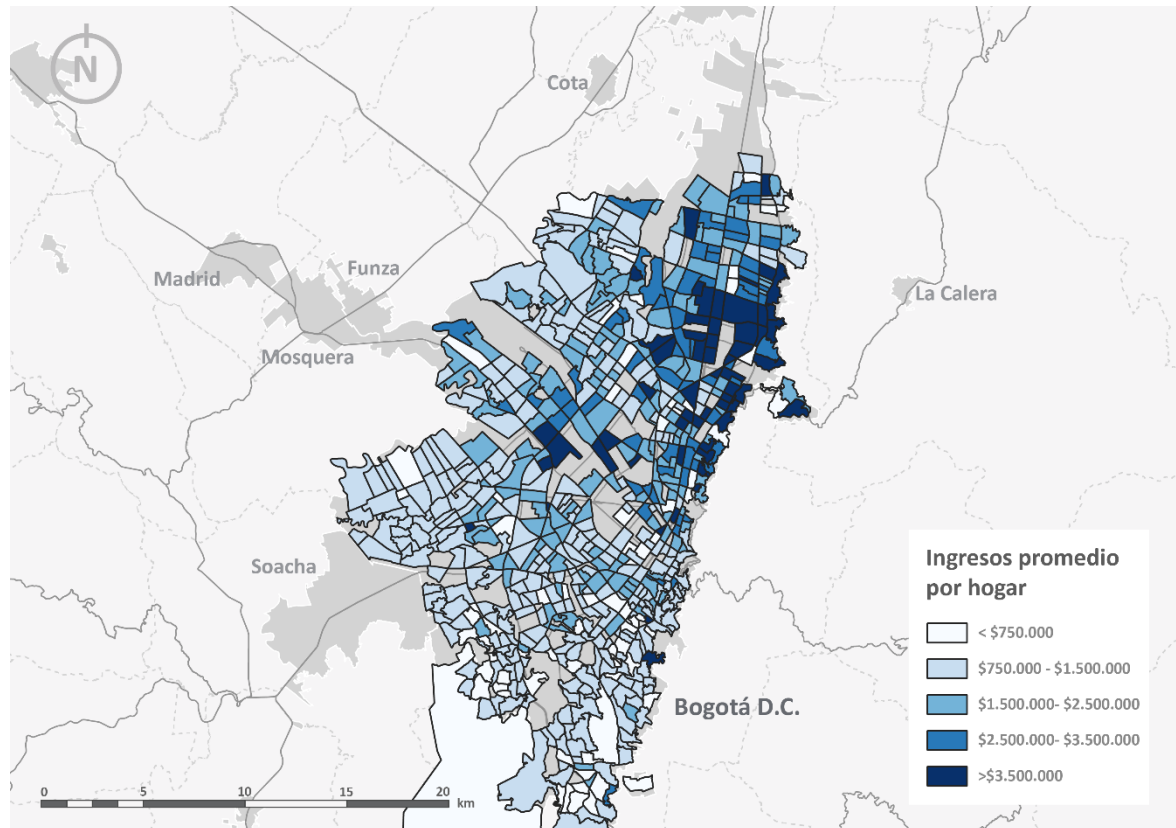
Se observa que el 44% de los habitantes del Distrito se encuentra clasificado en los dos estratos más bajos. La mayor proporción de la población se encuentra clasificada en el estrato 3, y solamente el 5,2% de la población se encuentra ubicada en los dos estratos más altos. Las localidades que se muestran más pobres, de acuerdo con esta clasificación, son: Usme, Ciudad Bolívar, Bosa y San Cristóbal, las cuales tienen más del 80% de su población clasificada en los estratos 1 y 2. Le siguen en importancia, para estos estratos, las localidades de Santa Fe, Tunjuelito y La Candelaria.

- **Ingresos promedio por hogar:** Este indicador socioeconómico hace referencia al ingreso promedio mensual de los hogares desagregado por ZAT (Zona de análisis de transporte). Esta información fue obtenida de la Encuesta de Movilidad de Bogotá 2011, en donde una de las preguntas del formulario consiste en identificar el valor de ingresos promedio del hogar. Es importante tener en cuenta que esta

Encuesta fue aplicada en una muestra de la población y se expande para caracterizar a todos los habitantes de Bogotá.

A continuación, se puede observar la distribución de Bogotá en función de rangos de ingresos promedio por hogar.

Figura 3-3: Ingreso promedio por hogar de Bogotá



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Encuesta de Movilidad 2011

3.1.2 Transporte Público en Bogotá.

La historia de la movilidad de Bogotá se remonta al año 1884, donde el número de habitantes era aproximadamente de 86.000. Su primer medio de transporte colectivo era el tranvía de tracción animal. Después, debido a su crecimiento poblacional, urbanístico y de movilidad, en 1910 comienza el uso del tranvía eléctrico, el cual estuvo vigente por más de tres décadas. Sin embargo, en 1948, como consecuencia del Bogotazo (revuelta popular como consecuencia del magnicidio del candidato presidencial Jorge Eliécer

Gaitán) una gran parte del tranvía fue destrozado como parte de la revuelta, debido a la necesidad de solucionar el transporte de la ciudad, Bogotá le apuesta a un sistema de buses que en ese momento ya eran usados en otras partes del mundo.

Inicialmente era el estado quien administraba el sistema de buses que se incorporó en la ciudad, es decir, era completamente público, sin embargo, con el paso de los años la operación del sistema se volvió muy complicada para manejar, por lo tanto, se privatizó gradualmente. Este esquema empezó a generar muchos conflictos ya que poco a poco todo el parque automotor se fue deteriorando, prestando el servicio en estados deplorables y dañando la imagen de la ciudad. Además, surge la guerra del centavo que consiste en competir por conseguir un mayor número de usuarios para cada bus con el fin de obtener mayores ganancias, generando externalidades del transporte como la congestión vial, la falta de seguridad y altos índices de accidentalidad. (Andes, 2015)

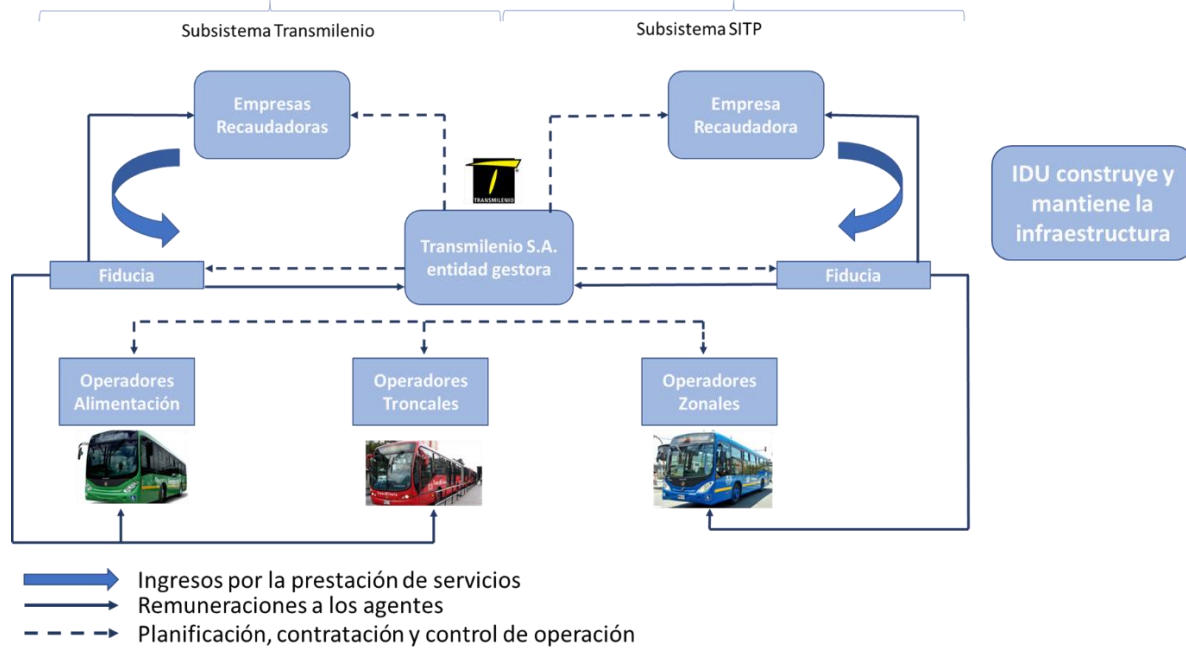
Luego del pésimo servicio y la mala imagen de la ciudad en términos de movilidad, en el año 2000 se pone en marcha el sistema masivo de transporte Transmilenio donde se construyó un solo carril para buses articulados.

En el periodo de administración del ex alcalde de Bogotá Samuel Moreno Rojas en el año 2008 se presentó y posteriormente se aprobó como iba a ser el funcionamiento del transporte de Bogotá, el documento presentado “plan de ordenamiento de movilidad”, proponía un sistema integrado de transporte donde se pudieran conectar entre sí los buses urbanos, el metro y el sistema masivo de transporte, generando una ciudad más ordenada, competitiva en términos de tiempos de desplazamiento, desincentivando el uso del vehículo particular, disminuyendo las externalidades negativas del transporte y siendo más eficiente en el uso del espacio público. (Celis & Villalobos, 2013)

Finalmente, El SITP (Sistema Integrado de Transporte Público) se puso en marcha en el año 2006 y se denomina así porque involucra el transporte urbano, especial, complementario, troncal y alimentador. Entre sus principales objetivos se encuentra lograr una cobertura del 100% en la prestación del servicio de transporte público de la ciudad, integrar la operación y la tarifa, equilibrando la demanda de buses en todas las zonas y ajustar tecnológicamente la flota actual, reduciendo los índices de accidentalidad y mejorando la accesibilidad. (SITP, 2018)

Después de tener un contexto general de la historia del transporte público en Bogotá, es necesario entender la relación de las diferentes entidades en el funcionamiento del sistema. A continuación, en la **Figura 3-4** se puede observar dicha relación.

Figura 3-4: Esquema de funcionamiento del Sistema Integrado de Transporte Público.



Fuente: Elaboración propia a partir de información del Departamento Nacional de Planeación. CONPES 3167

Ahora bien, como se puede observar Transmilenio es la entidad gestora que tiene como objeto la protección de los derechos de los ciudadanos usuarios del Sistema Integrado de Transporte Público - SITP de Bogotá D.C. o su área de influencia, mediante la solución de las controversias que se susciten entre estos y todos los actores del Sistema.

Existen unas empresas recaudadoras tanto del subsistema de Transmilenio como del SITP encargadas de recolectar el dinero de las tarifas, operar los sistemas de recolección y recarga de las tarjetas, para transferir estos dineros a unas fiducias.

Finalmente, se tienen los operadores por zonas para cada uno de los componentes del sistema, los alimentadores, troncales y zonales. Ellos son los encargados de operar las rutas designadas por Transmilenio S.A y cumplir con los indicadores de operación establecidos por el sistema, adicionalmente, son los delegados de los contratos con los conductores y el manejo de su propio personal.

3.2 Características del sistema BRT en Bogotá

Si bien actualmente en Bogotá funciona el sistema de transporte público integrado, el presente trabajo pretende enfatizar su análisis en el componente troncal y las rutas que lo alimentan, con el fin de evaluar la pertinencia del trazado en función de las condiciones socioeconómicas de los usuarios.

Por lo tanto, este capítulo expone la historia del BRT en Bogotá y su actual operación, después se procede a hacer una descripción de la red, tanto del componente troncal como de el de alimentadores. Finalmente se presentan los principales inconvenientes que ha tenido el componente y las expectativas que tiene la administración para los desarrollos futuros, esto con el fin de entender a detalle el contexto del sistema troncal y de alimentadores para hacer el análisis a partir del modelo de accesibilidad.

3.2.1 Historia y operación

Esta sección expone la historia y la operación actual del sistema troncal a partir de la información expuesta en la página oficial de Transmilenio S.A.

Para finales del siglo XX la situación en cuestiones de movilidad era crítica en la ciudad de Bogotá, no existía un verdadero sistema de transporte público urbano que sirviera como alternativa al vehículo particular, lo cual incentivaba aún más su uso y la ciudad registraba bajos niveles de competitividad a nivel latinoamericano y una insatisfactoria calidad de vida de la gran mayoría de sus habitantes.

Las administraciones de los alcaldes Andrés Pastrana (1988-1990), Jaime Castro (1992-1994) y la primera de Antanas Mockus (1995-1997), formularon propuestas para solucionar el problema de transporte público, con resultados limitados. Fue durante la alcaldía de este último cuando se habló insistentemente de la posibilidad de establecer un sistema de transporte masivo que contribuyera a remediar la problemática de la movilidad en Bogotá.

El alcalde Enrique Peñalosa (1998-2000) incluyó en su programa de gobierno, como proyecto prioritario, ofrecer a la ciudad una solución al problema del transporte público. En consecuencia, en la ejecución del plan de desarrollo Por la Bogotá que queremos en cuanto a movilidad y de manera concreta al proyecto del sistema de transporte masivo, se determinó la construcción de una infraestructura especial destinada de manera específica y exclusiva a su operación, a partir de corredores troncales especializados, dotados de

carriles de uso único, estaciones, puentes, ciclorutas y plazoletas de acceso peatonal especial, diseñados para facilitar el uso del sistema a los usuarios.

En consecuencia, y con base en los estudios efectuados durante la primera administración del alcalde Antanas Mockus por la Japan International Cooperation Agency (JICA), los cuales determinaron que el metro no era la opción más conveniente a corto plazo, pues sólo a quince o veinte años se necesitaría una línea y que su costo era diez veces mayor a la alternativa de buses articulados, se decidió, como la solución al problema del transporte público la creación del Sistema TransMilenio, sustentado en cuatro pilares:

- Respeto a la vida, representado en un servicio cómodo, seguro y moderno.
- Respeto al tiempo de la gente, con un sistema de transporte que cumpla estándares mínimos de calidad en cuanto a itinerarios y tiempo de desplazamiento.
- Respeto a la diversidad ciudadana, pues se convertiría en un sistema de transporte en el que converjan las diferentes clases sociales sin preferencias de ninguna clase y, por el contrario, trato igualitario.
- Calidad internacional, cumpliendo con los requisitos mínimos señalados por la ingeniería del transporte para la prestación de un servicio cómodo, seguro y efectivo.

Su construcción se inició en 1998 y fue inaugurado el 4 de diciembre de 2000. Entró en operación el 18 del mismo mes con las troncales (líneas) de la avenida Caracas (hasta la avenida de los Comuneros) y la calle 80. Desde entonces se han abierto nuevas troncales. Forma parte del SITP, junto con los servicios urbano, complementario y especial, que circulan por los barrios y vías principales de Bogotá.

Actualmente el sistema cuenta con 112.9 kilómetros de vía en troncal en operación, 11 troncales en operación, 134 estaciones, 9 portales y 9 patio garajes. Además, el Sistema tiene a su servicio 16 ciclo parqueaderos con 3578 puestos en total. Espacios seguros, cómodos y de fácil acceso para todas las personas que utilizan la bicicleta como una alternativa formal de transporte para la movilidad diaria.

Ahora bien, el componente de alimentadores, que también será evaluado en el presente trabajo, está diseñado para ayudar a movilizarse desde y hacia las zonas aledañas a los portales y estaciones intermedias del Sistema Troncal y su servicio está incluido dentro del pago por el servicio del BRT.

3.2.2 Descripción de la red

El sistema BRT tiene como objetivo transitar por las troncales de la ciudad conectando las estaciones y los portales del sistema, se caracteriza por su color rojo y este servicio se paga con tarjeta inteligente en las estaciones o portales. Actualmente, el sistema usa dos tipos de vehículos para la operación troncal.

- **Articulados:** Como su nombre lo dice estos vehículos cuentan con una articulación en el medio, de color gris, llamado fuelle. Su capacidad promedio es de 160 pasajeros, cuentan con tableros electrónicos y sistema de voz electrónico para indicar próximas paradas. En la parte frontal exterior y hacia el lado de las puertas del articulado hay tableros electrónicos que indican el número de ruta y el destino del vehículo. (SITP, 2018)

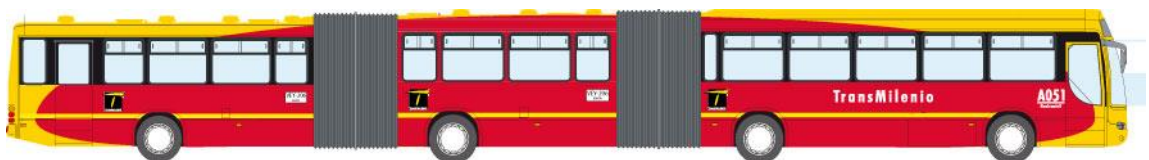
Figura 3-5: BRT articulado



Fuente: Transmilenio S.A

- **Biarticulados:** Como su nombre lo indica estos vehículos cuentan con dos articulaciones. Su capacidad promedio es de 250 pasajeros. Cuentan con tableros electrónicos internos y externos y sistema de voz electrónico para indicar próximas paradas. Los buses biarticulados de TransMilenio tienen una longitud de 27 metros y 20 centímetros convirtiéndose así en el bus biarticulado más largo del mundo. (SITP, 2018)

Figura 3-6: BRT biarticulado



Fuente: Transmilenio S.A

En la figura que se presenta a continuación, se puede observar la red que actualmente opera en el componente troncal en la ciudad de Bogotá.

Por otro lado, se encuentra el componente de los alimentadores, los vehículos alimentadores son similares en su diseño interior a los articulados, la gran mayoría cuentan con tres puertas, aunque de menor tamaño, y un tablero electrónico que indica la ruta y el destino. Su color es verde, carente de articulación y son del tamaño de un bus normal, su capacidad promedio es de 90 personas.

Figura 3-8: Buses alimentadores



Fuente: Transmilenio S.A

Su principal función es movilizar a los usuarios hacia las zonas donde se encuentran los portales y algunas estaciones intermedias, por lo tanto, su operación se da en diferentes rutas alrededor de los siguientes puntos:

- Portal Norte
- Portal Suba
- Portal 80
- Portal Américas
- Portal del Sur
- Portal Usme
- Portal Tunal
- Portal El Dorado
- Estación Granja Cra 77
- Estación Molinos
- Estación Calle 40 Sur
- Estación Banderas
- Estación General Santander
- Portal 20 de Julio.

3.2.3 Principales inconvenientes

La organización del transporte en Bogotá ha sido insatisfactoria por mucho tiempo, las últimas alcaldías han tomado grandes riesgos políticos para reformarla, ya que todos han aceptado que el transporte es probablemente el tema más importante y controversial que cada alcalde debe afrontar (Gilbert & Garcés, 2008).

No cabe duda de que Transmilenio es un gran avance en las reformas de transporte, ha reducido la contaminación y la congestión a lo largo de las troncales principales, aunque en la hora pico los viajes son lentos y no confortables (Gilbert & Garcés, 2008). A esto se le suma que la ciudadanía está insatisfecha con la calidad del servicio: apenas 19% reporta estar satisfecho con el transporte troncal, 32% con el zonal y 43% con el colectivo tradicional. Hay diferentes problemas relacionados con la integración, cobertura, frecuencia, informalidad, accesibilidad, infraestructura, comunicación al usuario, congestión, cultura de los actores y seguridad personal (Peñalosa, 2016).

En 2015, la demanda del transporte vía Transmilenio experimento un tasa de crecimiento promedio anual cercana al 6,39%, para un total aproximado de 660 millones de viajes el año, es decir, cerca de 672.000 viajes diarios (Departamento Nacional de Planeación, 2017) por lo tanto es evidente que es un modo de transporte fundamental en la movilidad de la capital que se espera que se garantice de forma equitativa y accesible para todos los habitantes de Bogotá.

Ahora bien, referente al transporte público de Bogotá (Kauffman, 2016) expone que:

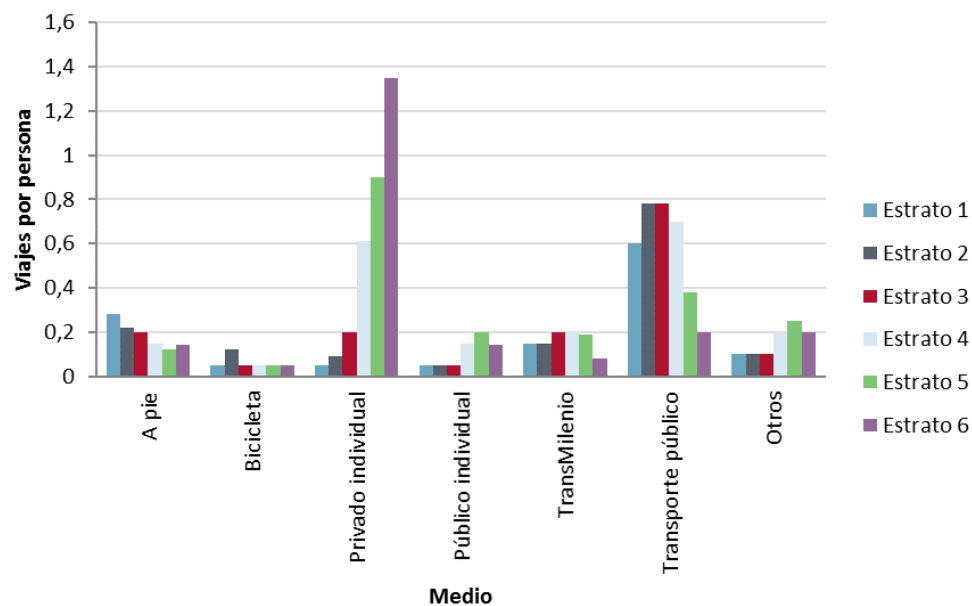
Con respecto al acceso geográfico de la movilidad, el Transmilenio y SITP lo han mejorado considerablemente para muchos. Pero, otra vez, han dejado atrás a los más marginados que viven en las periferias de Bogotá, para quienes el acceso geográfico aun es bastante limitado. Las rutas del Transmilenio y los alimentadores terminan antes de alcanzar los barrios más marginados, dificultando la entrada y salida de estas zonas

El sistema TransMilenio ha llegado a ser considerado por muchos usuarios como inseguro por la alta cifra de robos en los buses, principalmente de teléfonos móviles y billeteras, debido en parte a la congestión del sistema, algo que en convenio con la Policía Metropolitana de Bogotá se ha intentado solucionar por distintos medios, cómo la instalación de cámaras de seguridad en las estaciones y portales, pero aún falta por solucionar el problema dentro de los buses.

Según la encuesta de percepción sobre las condiciones y calidad del servicio de Transporte Público Colectivo y TransMilenio (Bogotá, 2011) los principales usuarios de Transmilenio son los estratos 2 (42%) y 3 (40%), mientras los bogotanos de estrato 1 enfrentan dificultades para acceder y costear el transporte público. Por otro lado, las personas de estrato 5 y 6 realizan la mayoría de sus viajes en vehículo particular (Kauffman, 2016).

Una evidencia del bajo uso de Transmilenio se puede ver en la Figura 3-9, donde se puede percibir que los estratos bajos, que son los ciudadanos con ingresos promedio más bajos usan menos el Transmilenio que los estratos medios, también se puede observar que el estrato 1 usa más el medio a pie y transporte público.

Figura 3-9: Número de viajes en promedio por persona, por estrato y por medio.

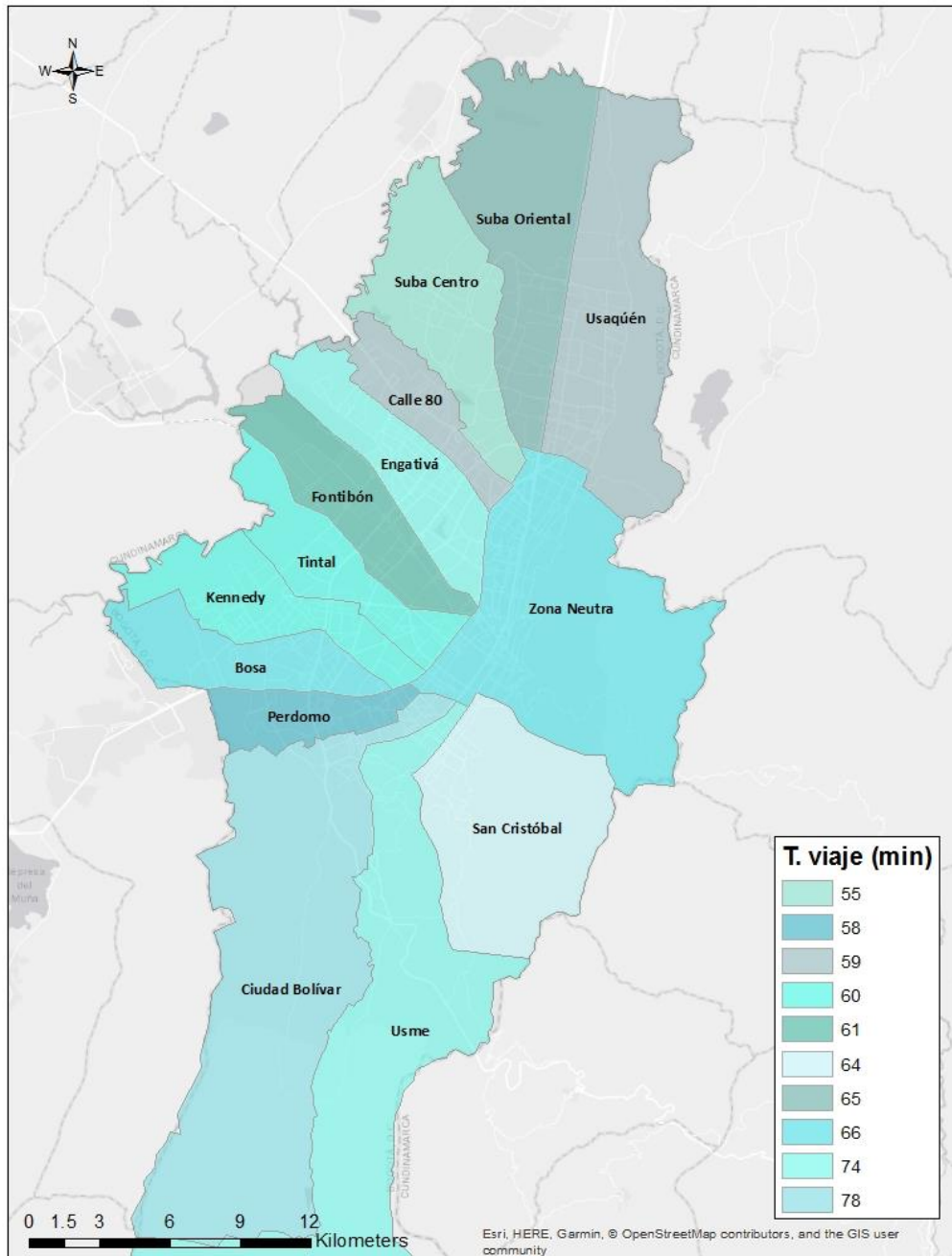


Fuente: Elaboración propia a partir de Observatorio de movilidad de Bogotá y la Región-diciembre 2007

Ahora bien, es necesario hablar del tiempo total de viaje promedio para los usuarios de TM, según la encuesta de percepción sobre las condiciones y calidad del servicio de Transporte Público Colectivo y TransMilenio (Bogotá, 2011), se registró un valor de 64 minutos para el servicio de Transmilenio, donde las localidades más críticas son Ciudad Bolívar con 78 minutos, Engativá con 74 minutos y Usme con 74 minutos, cabe resaltar

que en estas zonas se encuentran los usuarios con más bajos ingresos e índices de pobreza.

Figura 3-10: Tiempo promedio de viaje por cada una de las localidades de Bogotá



Fuente: Elaboración propia a partir de Encuesta de percepción sobre las condiciones y calidad del servicio de Transporte Público Colectivo y TransMilenio (Bogotá, 2011)

3.2.4 Desarrollos futuros

El plan de desarrollo 2016-2020 de la alcaldía, proyecta la posibilidad de construir varias troncales, conexiones y estaciones, entre ellas la Estación Central, la Troncal Avenida Boyacá, la Troncal de la Carrera Séptima, la troncal de la avenida Ciudad de Cali y La troncal de la avenida 68, distribuidas de la siguiente manera:

- NQS Sur entre Carrera 7 Soacha y Terminal Soacha 3M: 3 estaciones.
- Avenida Eldorado, Estación Central: 1 estación.
- Carrera Séptima Central entre Chicó y Parque Nacional: 9 estaciones.
- Boyacá Sur entre Isla del Sol y Yomasa: 10 estaciones.
- Boyacá Central entre Bonanza y Las Delicias: 16 estaciones.
- Boyacá Norte entre Villa del Prado y Boyacá - Calle 80: 12 estaciones.
- Carrera Séptima Norte entre Portal Nororiente y Pedregal: 15 estaciones.

4. Metodología de aplicación

El objetivo de esta sección es presentar de forma general la metodología en los análisis de accesibilidad territorial urbana, en donde la obtención de la red georeferenciada y de las velocidades de operación de los arcos se convierten en pasos fundamentales para aplicar técnicas geoestadísticas y obtener los modelos de predicción de la variable tiempo medio de viaje.

Según (Izquiero, 1991) la accesibilidad permite explicar las posibilidades de interacción entre los distintos puntos geográficos de un territorio, entendiéndose como una medida de la facilidad de comunicación entre actividades o asentamientos humanos, utilizando un determinado sistema de transporte. Así mismo, permite medir la facilidad o dificultad aportada por las infraestructuras y medios de transporte para la realización de un viaje, pudiéndose considerar, además, la potencialidad del origen para generar un viaje y la capacidad del destino para atraerlo.

Las infraestructuras de transportes, en tanto que modifican las condiciones de accesibilidad, son un elemento fundamental en las políticas de desarrollo regional, puesto que las nuevas inversiones podrían contribuir a la mitigación de los problemas de congestión, pero también podrían orientarse a potenciar regiones menos favorecidas, logrando así un doble objetivo (Escobar et al., 2013).

El análisis de la accesibilidad de un sector dado permite identificar zonas que presentan menores posibilidades de movilidad, comparar los planes alternativos de transporte, encontrar un equilibrio territorial y evaluar impactos y consecuencias entre diversas alternativas de inversión. Sin embargo, hay que ser conscientes de la imprecisión del valor de los indicadores obtenidos por interpolación en aquellos puntos donde no pasa la red vial, ya que todo el territorio no está cubierto por las vías. Dado lo anterior, es necesario

determinar cuál es el modelo de interpolación geoestadística más apropiado para el análisis, lo cual se explica más adelante (Escobar et al., 2013).

4.1 Adquisición de la información

Esta actividad hace referencia a la metodología utilizada para conseguir información primaria y secundaria necesaria para realizar el análisis de accesibilidad territorial urbana.

4.1.1 Información primaria

Para la información primaria se utilizaron dos fuentes principales, Transmilenio S.A. y el IDECA (Infraestructura de datos especiales del Distrito Capital), esta última institución es la encargada de administrar todos los datos de Bogotá en sistemas de información geográfica. En la tabla que se presenta a continuación, se puede observar que información fue suministrada por cada una de las entidades.

Tabla 4-1: Información Primaria, según entidad.

Tipo de Información	Entidad
Localización de paraderos de los alimentadores y estaciones del componente troncal	TransMilenio S. A.
Velocidades de operación de troncales y alimentadores en la hora pico de la mañana.	TransMilenio S. A.
Trazado de rutas de alimentadores y troncales actuales	TransMilenio S. A.
Trazado de troncales futuras: Calle 68, Av. Ciudad de Cali, Carrera 7, Av. Boyacá.	TransMilenio S. A.
Mapa de la malla vial integral de Bogotá	IDECA
Mapa de distribución de estratos socioeconómicos de Bogotá	IDECA
Mapa de distribución de ingresos promedio de Bogotá	Encuesta de Movilidad de Bogotá 2011

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Información secundaria

La información secundaria es una herramienta para corroborar la suministrada por las entidades oficiales, esto con el fin de tener una alta confiabilidad de la información que será utilizada para realizar el análisis de accesibilidad, es importante tener en cuenta que la veracidad de los resultados del modelo está directamente asociada a la confiabilidad de la información.

Para esto se realizaron dos actividades que se exponen a continuación:

- Toma de información con GPS en todas las rutas alimentadoras del sistema de TransMilenio S.A. para corroborar las velocidades de operación en la hora pico de la mañana y el trazado de las rutas.
- A partir de aplicaciones tecnológicas de transporte público de Bogotá, se determinaron las velocidades de las diferentes rutas del componente troncal del sistema en la hora pico.

Ahora bien, el procesamiento de las velocidades se presenta en capítulos posteriores.

4.2 Georreferenciación de la red

Para comprender la metodología que se va a explicar es necesario tener un contexto de la red que se va a utilizar para el caso de aplicación de la presente investigación.

Tal y como se ha expresado en los capítulos anteriores se requiere hacer un análisis de accesibilidad sobre el componente troncal y alimentador del sistema de Transmilenio de la ciudad de Bogotá, por lo tanto, la red se compone de las rutas actuales de los componentes mencionados y los nodos corresponden a las estaciones y paraderos del sistema.

Ahora bien, la red peatonal de Bogotá, hace parte del análisis, sin embargo, esta debe acotarse debido a que su extensión es muy grande y el presente trabajo solo hará el análisis de accesibilidad para el sistema de BRT, por lo tanto, se determina que el acceso peatonal al sistema es posible en un radio de 700 metros como se muestra en la **Figura 4-1**.

Este radio se concluye a partir del estudio de Caminar en Bogotá: las cuentas 2017 realizado por Despacio, el cual es un centro de investigación que existe desde 2008 y fue

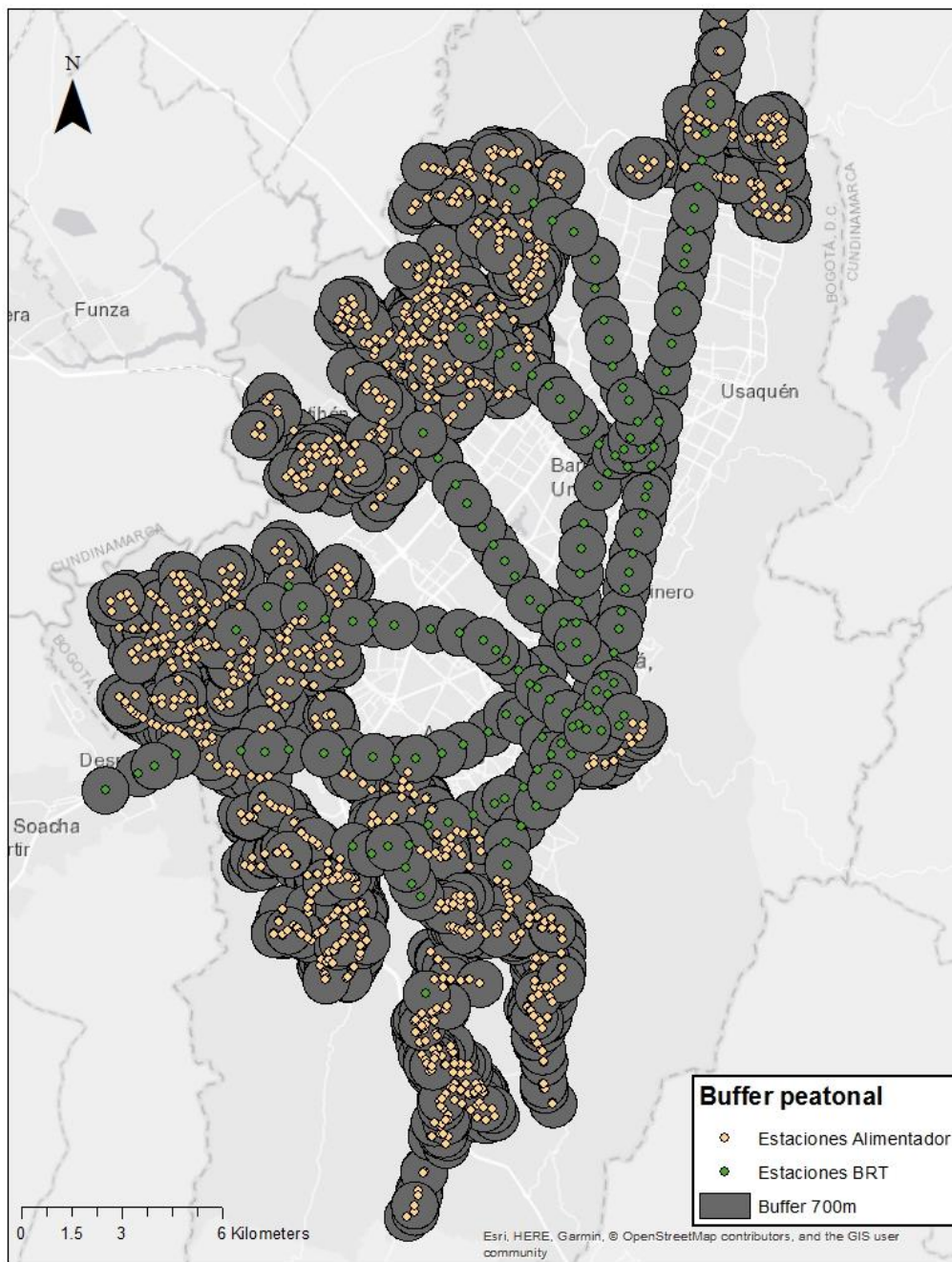
constituido legalmente como entidad sin ánimo de lucro en Colombia en 2011 con el objeto de promover la calidad de vida, en donde expone que actualmente lo máximo que tarda un habitante de la ciudad para ingresar al sistema de transporte público es aproximadamente 10 min, de ser más el tiempo de caminata deciden hacer un cambio en la selección modal.

Adicionalmente, esto se complementa con los conceptos que propone Ángel Molinero es un libro Transporte público: planeación, diseño, administración y operación, en donde expone que una cuenca es el área servida por el sistema de transporte público en la que resulta aceptable caminar, hay dos tipos de cuenca la primaria que es aquella que puede ser recorrida a pie en 5 min, y la secundaria que es de 5 a 10 min.

Finalmente, esto complementado con la guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C en donde se expone que la velocidad promedio de caminata en Bogotá es de 1.15 m/s, se llega a una distancia promedio de caminata de 703,8 metros.

Después de tener definido el radio de red peatonal que se va a utilizar se procede a hacer el corte en la red vial por medio del software ArcMap, primero se delimita la red con un buffer de 700 metros de radio y luego se corta la red sobrante que no será utilizada en el modelo.

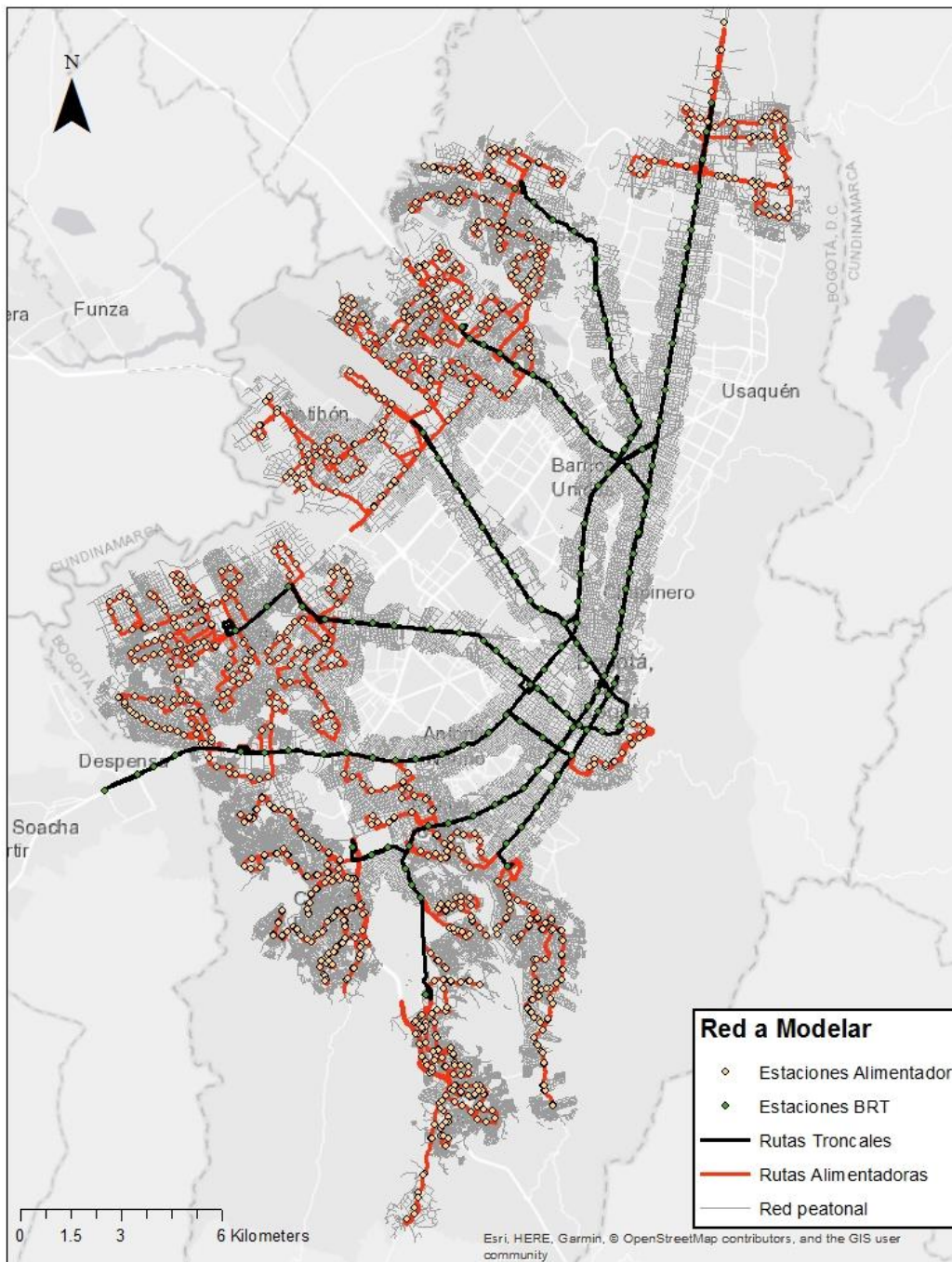
Figura 4-1: Buffer peatonal



Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

En la **Figura 4-2**, se puede observar la red compuesta de las estaciones de BRT y los paraderos de alimentadores y sus respectivas rutas.

Figura 4-2: Red para el análisis de la accesibilidad territorial urbana.



Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria

La red vial está conformada por la agregación de nodos y arcos (segmentos de vía), que se encuentran localizados espacialmente, como se expresó anteriormente. Para el caso particular del presente trabajo, la red de análisis está conformada por más de 1800 arcos

y más de 1231 nodos. Cada tramo posee características físicas propias asociadas con la pendiente, longitud, sección transversal, etc., que pueden ser utilizadas para calcular la velocidad promedio de los vehículos que circulan por ellos. De igual manera los nodos pueden poseer muchas características y/o restricciones, convirtiéndose generalmente en un referente o hito para los diferentes análisis.

El siguiente paso consistió en la corrección y validación de la información, tanto de las características físicas de la red vial, como de los datos arrojados por los equipos GPS. Para la red vial, se contaba con un número tan alto de variables que solía ser frecuente encontrar incoherencias relacionadas con la información base, entre las que se destacan, por ejemplo, la errónea clasificación de la vía, sentidos viales errados, inexistencia de arcos, errores en las conexiones dentro de la red, arcos duplicados, etc. (Escobar & García, 2012).

Tras realizar las correcciones pertinentes, la red queda lista para continuar con los pasos para el cálculo de la accesibilidad.

4.3 Cálculo de velocidades de operación

El procesamiento de toda la información requiere de la aplicación de diferentes cálculos de acuerdo con el desarrollo del proyecto, colocándose especial énfasis en el análisis de la velocidad de operación, dado que esta variable determina el comportamiento de la red.

La velocidad de operación se determinó para cada arco de la red a partir de los datos de tiempo obtenidos en forma continua mediante los equipos GPS y la información primaria. Se analizaron tres parámetros:

- la velocidad del vehículo en cada intervalo de lectura de dato a lo largo de los i -ésimos arcos,
- la velocidad promedio de operación del i -ésimo arco
- la velocidad de operación para cada arco i de una determinada ruta.

4.3.1 Velocidad instantánea

La velocidad de operación por intervalo de tiempo entre dos puntos 1 y 2 fue obtenida mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$v_i = \frac{3.6}{t} \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$$

Donde,

v_i velocidad en km/h,

x_1, y_1 coordenadas del punto 1 en metros,

x_2, y_2 coordenadas del punto 2 en metros,

t intervalo de tiempo en segundos entre dato y dato.

Este parámetro es útil para establecer las variaciones de la velocidad en un arco en particular y para determinar la rata de paradas cuando se obtienen valores iguales a cero.

4.3.2 Velocidad promedio de un viaje en el arco

El segundo parámetro es la velocidad promedio de viaje en un arco, la cual fue obtenida mediante la relación entre la longitud del arco y la diferencia de los tiempos de paso entre el nodo inicial y nodo final del mismo, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$V_i^a = 3.6 \frac{la}{t_2 - t_1}$$

Donde,

V_i^a velocidad i en el arco a (km/h),

la longitud del arco a en metros,

t_1 tiempo de paso en el nodo inicial,

t_2 tiempo de paso en el nodo final.

4.3.3 Velocidad promedio en el arco para un periodo de tiempo

Finalmente, la velocidad promedio en el arco para un período de tiempo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{v}_a = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^a}{n}$$

Donde,

v_a velocidad promedio de operación del arco a ,

n número de datos de velocidad registrados en el arco a , para un periodo de tiempo.

Finalmente, esta velocidad se calculó para cada arco de la red vial, y se usó para establecer las impedancias y para el desarrollo del modelo de predicción de tiempos medios de viaje.

4.4 Calculo de la accesibilidad media global

Esta metodología es tomada del libro Diagnóstico de la movilidad urbana de Manizales por Diego Alexander Escobar G. y Francisco Javier García O.

La accesibilidad media global se analizó a partir del vector de tiempo medio de viaje (\overline{Tvi}), el cual representa el tiempo promedio de viaje desde el nodo i hasta los demás nodos de la red; este indicador tiende a favorecer los puntos ubicados hacia el centro de una red, debido a que los tiempos de viaje desde dichos nodos hacia los demás son menores por su ubicación geográfica.

Para el cálculo de dicho indicador, se utilizó un algoritmo del SIG que permite calcular la menor impedancia entre un nodo específico y los demás nodos de la red, conformando una matriz unimodal de impedancias, a través del software ArcMAP.

A través de esta matriz y conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se elaboró la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, la cual minimiza el tiempo de viaje entre todos los nodos de la red.

Posteriormente, conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se elaboró la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, en la que se minimiza el tiempo medio de viaje entre todos y cada uno de los nodos que conforman la red en estudio.

Una vez determinada la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, se obtuvo el vector de tiempo promedio de viaje (\overline{Tvi}), cuyas entradas se calculan a través de la siguiente ecuación:

$$\overline{Tv_i} = \frac{\sum_{j=1}^m tv_{ij}}{(n-1)}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Donde,

n número de nodos de la red

$\overline{Tv_i}$ tiempo de viaje mínimo promedio entre el nodo i y los demás nodos de la red

$\sum_{j=1}^m tv_{ij}$ sumatoria del tiempo de viaje mínimo entre el nodo i y los demás nodos de la red

El vector de tiempo medio de viaje obtenido ($n \times 1$), se relaciona con las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de cada uno de los nodos, con el fin de generar una matriz de orden ($n \times 3$), por medio de la cual se generaron las curvas isócronas de tiempo promedio de viaje para el análisis de la Accesibilidad media global, para cada uno de los escenarios investigados.

Para la obtención de las curvas isócronas se usa el software ArcMap, primero fue necesario definir cuál método de interpolación usar, para lo cual se verificaron algunos supuestos estadísticos que las variables han de cumplir.

El primer supuesto es verificar la normalidad de los datos, para lo cual se aplicó la prueba no paramétrica de Kolmogorov – Smirnof; si el vector de tiempo resulta ser no normal, se realiza una transformación de los vectores por medio del algoritmo Box-Cox. El segundo supuesto es verificar la existencia o no de estacionalidad; para ello se realizaron gráficos de dispersión entre el vector de tiempo medio de viaje en estudio y la posición geográfica (longitud y latitud, respectivamente), con el fin de establecer cuál es la tendencia que deberá ser removida del modelo de interpolación. El tercer supuesto estadístico considera que la varianza debe ser finita.

La variabilidad espacial está relacionada con el cambio de los datos respecto a la distancia y orientación de los mismos. La medida de la varianza, en geoestadística, es la semivarianza, la cual está definida por la siguiente ecuación:

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{\sum (Z(x+h) - Z(x))^2}{2n}$$

Donde,

$Z(x)$ valor de la variable en un sitio x ,

$Z(x + h)$ valor muestral separado del anterior por una distancia h ,

n número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia.

Esta función muestra las propiedades de dependencia espacial del proceso y se calcula para varias distancias h . A partir de los resultados de esta función se calcula un semivariograma, el cual es la representación gráfica de la semivarianza de los datos respecto a las distancias entre pares de observaciones.

Finalmente, se determinó el método de interpolación a usar (método de Kriging ordinario con semivariograma lineal) como modelo de predicción de los tiempos medios de viaje, y con el fin de asegurar un resultado estadísticamente confiable, se realizó la validación cruzada de los datos; en este proceso, se compararon los valores observados con los valores estimados por el modelo de interpolación seleccionado, teniendo en cuenta que con una regresión lineal es posible establecer la adecuada o inadecuada precisión del modelo usado para la predicción de los datos.

4.5 Calculo de porcentaje de ahorro

Uno de los objetivos del presente trabajo consiste en evaluar cuales son los porcentajes de ahorro en términos de tiempo promedio de viaje que tiene la red actual a partir de incorporar las troncales proyectadas.

Para observar los cambios e impactos generados con las propuestas establecidas en la investigación, se realiza la comparación del tiempo de viaje del escenario futuro con la situación actual para cada uno de los nodos de la red, aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de ahorro} = \frac{(Tv \text{ futuro} - Tv \text{ actual})}{Tv \text{ actual}}$$

Nuevamente se obtendrá una matriz de $n \times 3$ con coordenadas en longitud y latitud, y se puede realizar geoestadística para observar los porcentajes de ahorro en el sistema de información geográfica.

4.6 Análisis de cobertura espacial

El análisis de cobertura espacial se desarrolla superponiendo dos archivos que poseen características geográficas (ubicación), y características descriptivas (datos). Se hace un cruce de la información que se encuentra ubicado en el mismo espacio geográfico, sean puntos, líneas o polígonos, y se busca la relación de los datos de cada archivo.

Una vez obtenidos los resultados de las áreas de cobertura, las isócronas de la accesibilidad media global, y las curvas del porcentaje de ahorro, se realiza una superposición de datos geográficos información socioeconómica de la ciudad de Bogotá (estratos socioeconómicos e ingresos promedio por hogar). A partir de los resultados de contrastar dicha información, se crean ojivas para analizar el porcentaje de cobertura para cada estrato socioeconómico de la ciudad, de igual forma, para los ingresos promedio.

5. Análisis de accesibilidad territorial urbana para sistema de BRT.

Después de describir la metodología, se procede a mostrar los resultados de la presente investigación obtenidos para la accesibilidad media global en el escenario actual y futuro, y su relación existente con los estratos socioeconómicos y los ingresos promedio de los habitantes de la ciudad de Bogotá.

Finalmente, se hace una comparación entre los resultados obtenidos en el escenario actual con el futuro para analizar cuáles son los principales cambios en función de los beneficios y las desventajas que tiene el trazado propuesto y sus afectaciones frente a los habitantes de Bogotá teniendo en cuenta los estratos socioeconómicos y los ingresos promedio por hogar.

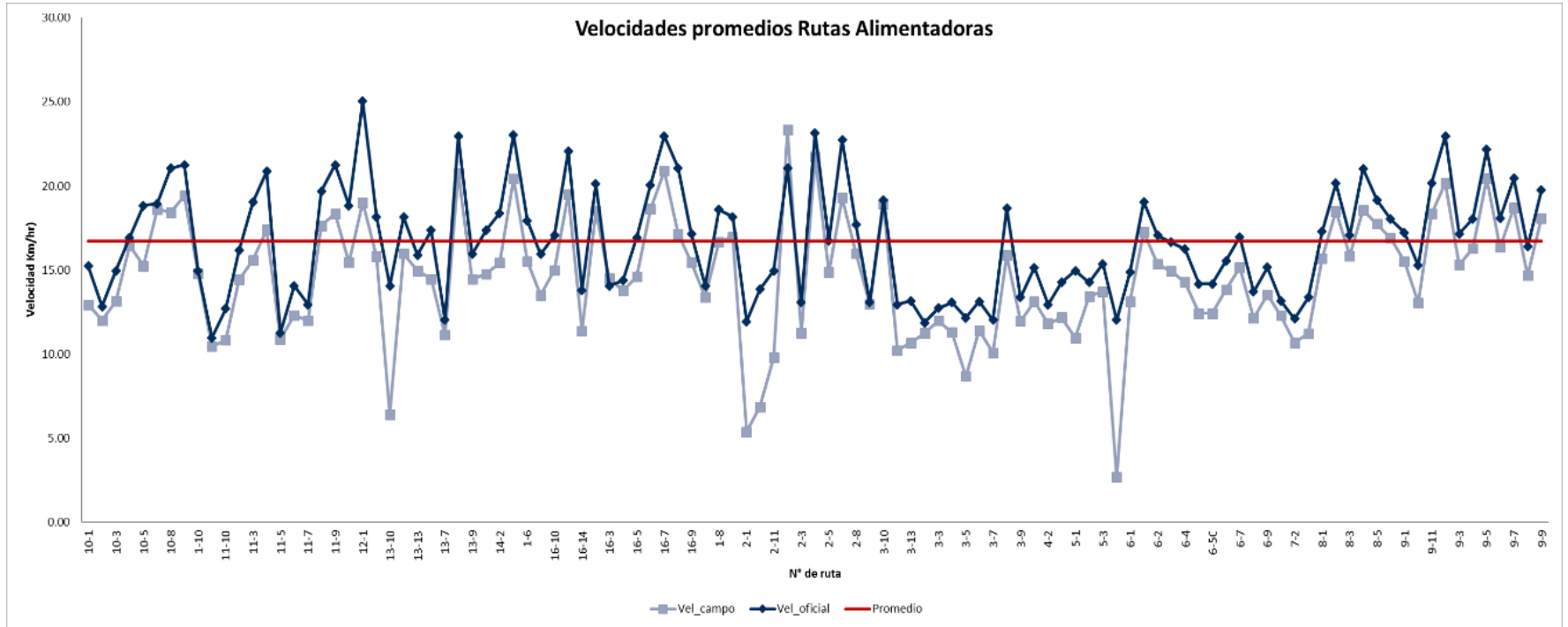
5.1 Análisis de accesibilidad media global ofrecida por la red viaria actual

Como primera medida se pretende mostrar los valores de velocidades que se usaran en el modelo tanto para la red troncal, la de alimentadores y la peatonal.

Para la red de alimentadores, se utilizó información oficial de operación para cada una de las rutas en la hora pico de la mañana y se comparó con información de campo recolectada para las mismas rutas en hora pico.

En la **Figura 5-1**, se puede observar que los datos tanto de una fuente como la otra mantienen ordenes de magnitudes y comportamientos similares, las principales diferencias se deben a que durante la toma de información de campo hubo fuertes lluvias y algunos accidentes que disminuyeron la velocidad de operación, teniendo en cuenta la validación de estas velocidades, se decide trabajar con las brindadas por la fuente oficial. Se obtuvo una velocidad de operación promedio de 16.41 km/h.

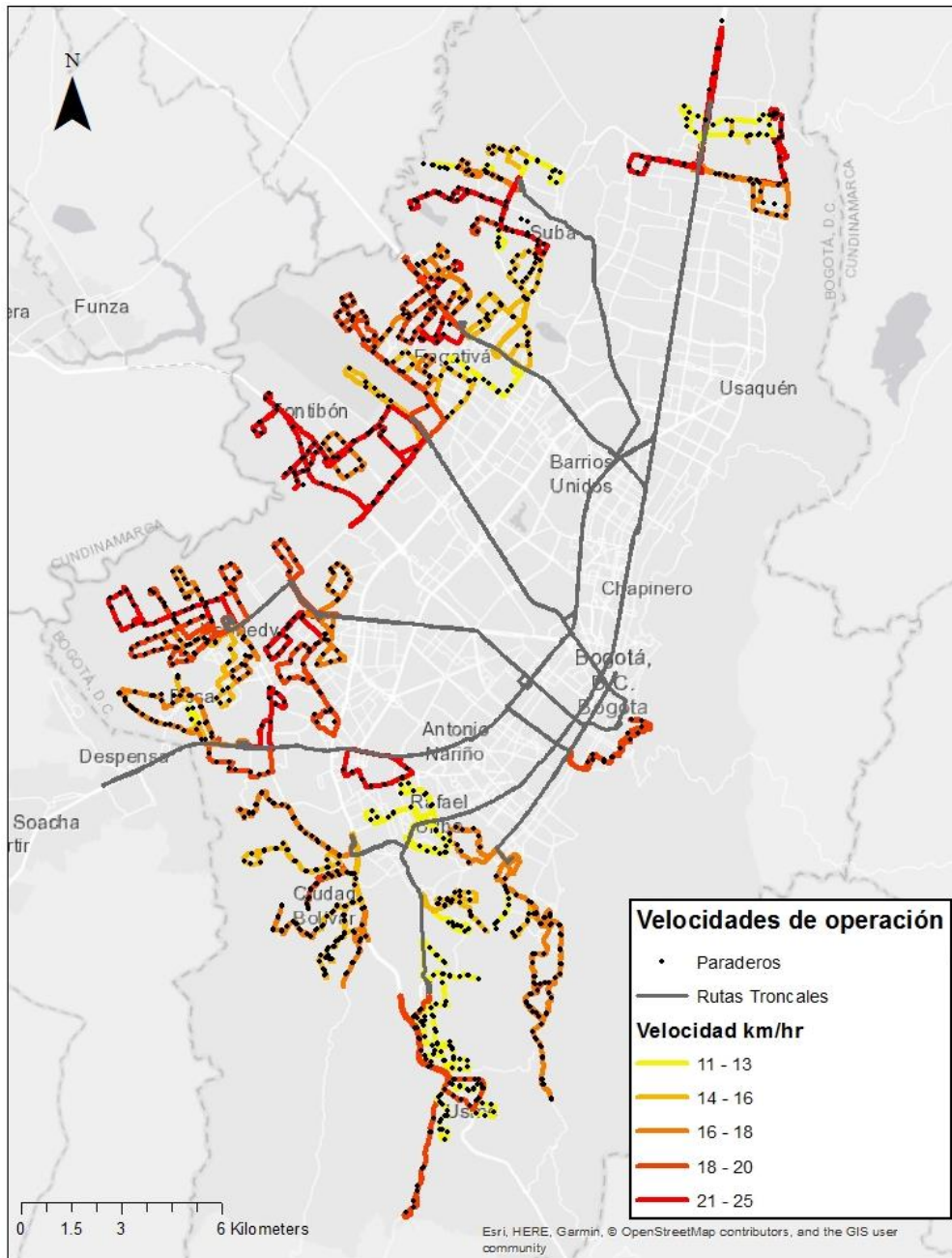
Figura 5-1: Validación de velocidades de alimentadores.



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Transmilenio S.A.

En la **Figura 5-2** se observan las velocidades asignadas para cada una de las rutas alimentadoras del sistema troncal. Es importante resaltar que se obtienen velocidades máximas entre los 20 km/hr y los 25 km/hr, mientras que las menores se encuentran alrededor de los 11km/hr y los 13 km/hr.

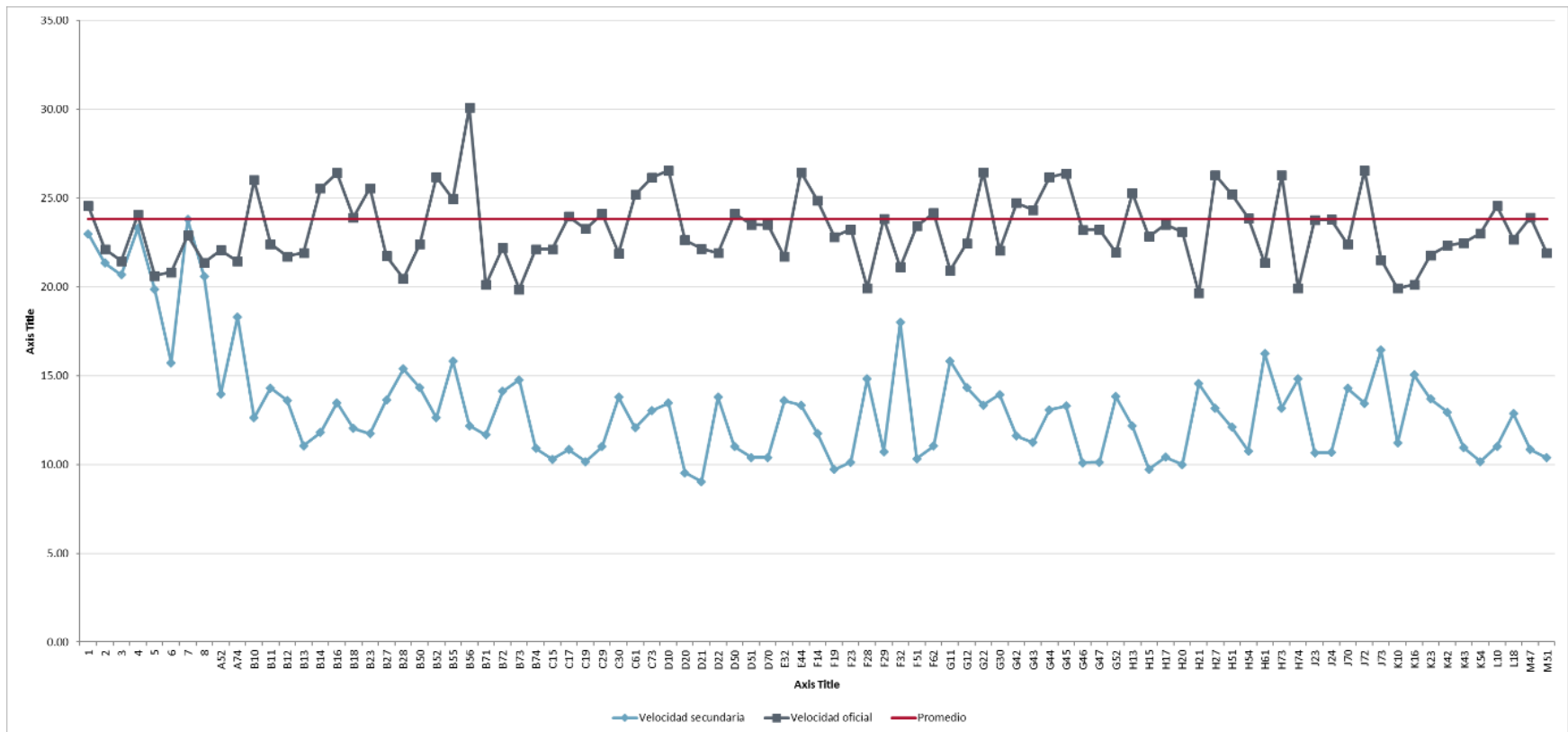
Figura 5-2: Velocidades de las rutas alimentadoras



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Transmilenio S.A.

Por otro lado, como se muestra en la **Figura 5-3**, se encuentran las velocidades de las rutas troncales, la diferencia entra la información oficial y la información obtenida por la aplicación Moovit, en este caso, es mucho mayor. Se puede observar que la secundaria presenta velocidades mucho menores que las oficiales, sin embargo, haciendo un poco más de análisis de la información secundaria, se pudo evidenciar que las velocidades no varían cambiando los horarios y esta información no es en tiempo real, por lo tanto, se decide trabajar con la información oficial, pues es mucho más confiable debido a la rigurosidad con la que esta ha sido determinada.

Figura 5-3: Validación de velocidades troncales

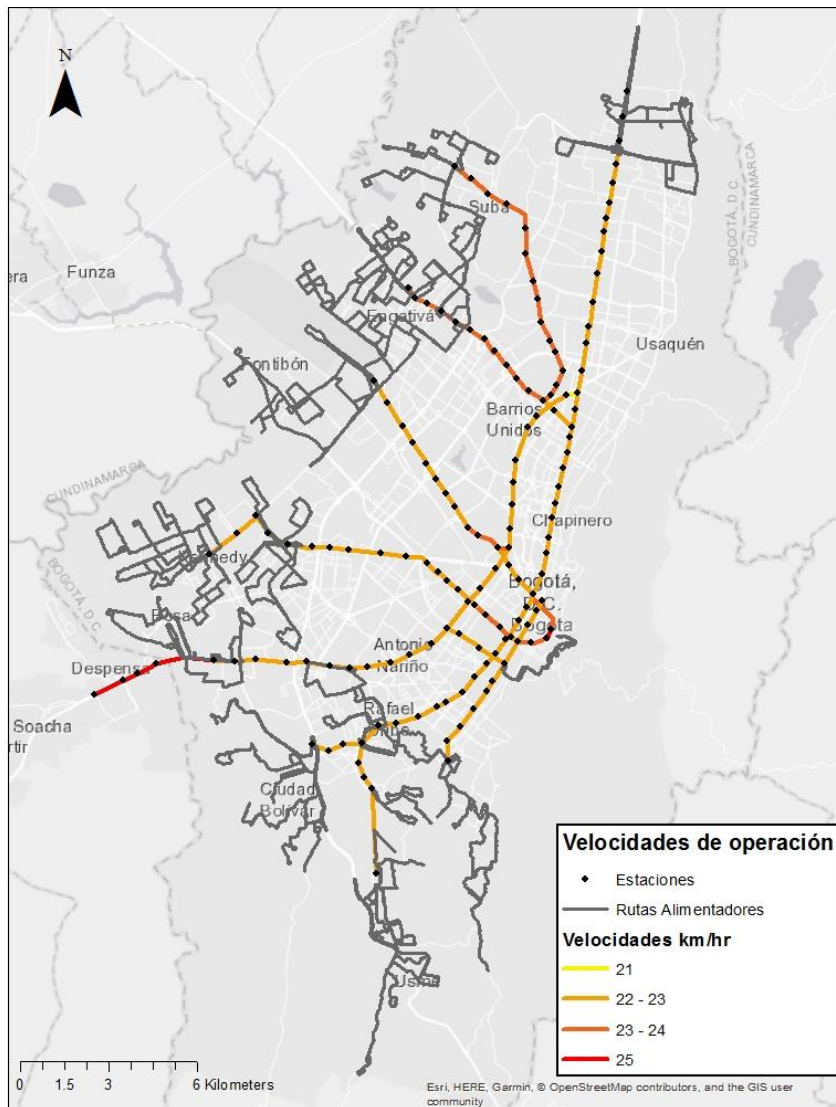


Fuente: Elaboración propia a partir de información de Transmilenio S.A.

Ahora bien, en la **Figura 5-4**, se puede observar las velocidades asignadas para cada uno de los arcos en el sistema troncal. Es importante conocer que esta velocidad fue determinada a partir de un promedio de todas las velocidades de las rutas que pasan por cada uno de los nodos, en la hora pico de la mañana en Bogotá. El sistema troncal presenta 19,66 km/hr como la velocidad más baja y 30,12 km/hr como la más alta, su promedio de operación es de 23,82 km/hr.

Se puede observar que las velocidades del sistema troncal son mayores que las del sistema de alimentadores, esto se debe a la exclusividad de carril que tienen los BRT.

Figura 5-4: Velocidades del sistema troncal.



Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria

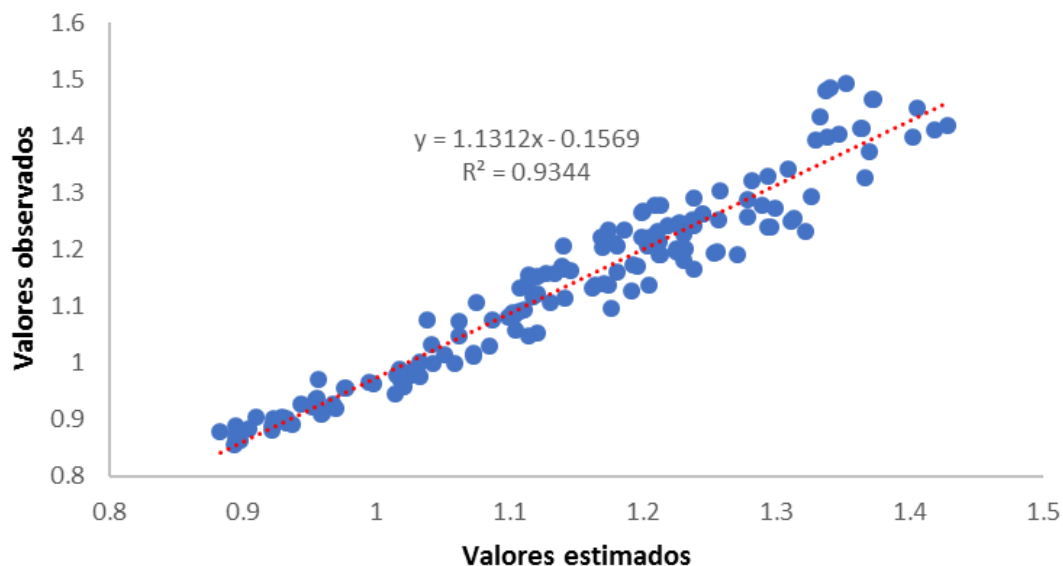
Finalmente, tal y como se comentó en la sección 4.2 la velocidad que se utilizara para la red peatonal en el cálculo del modelo de accesibilidad corresponde a 1.15 m/s.

Tal y como se describió en la metodología, luego se procede a calcular la matriz de tiempos promedio entre los nodos de la red actual para proceder con el cálculo de la interpolación y finalmente obtener las curvas isócronas, a través del software ArcMap.

Las isócronas son aquel espacio geométrico virtual conformado por las posiciones alcanzadas por un objeto en un tiempo T_i partiendo desde un punto i en un arreglo radial, es decir, la red vial de la zona analizada. En el caso del análisis de la accesibilidad media global ofrecida por la red viaria actual del sistema de BRT y alimentadores, las isócronas representan las zonas que podrían ser alcanzadas en un tiempo promedio de viaje determinado, desde cualquier nodo de la red. Este tiempo de desplazamiento depende de las características físicas y operativas de la vía.

Una definición equivalente de las curvas isócronas son las curvas de elevación en un plano topográfico, solo que no son elevaciones sino tiempos medios de accesibilidad para todos los lugares que se encuentran en cada rango de tiempo.

Figura 5-5: Validación cruzada del vector de tiempos medios de viaje (horas) para la red viaria actual.



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 5-5** se observa la validación cruzada de los datos del vector de tiempos medios de viaje ofrecidos por la red actual del sistema BRT, los alimentadores y la peatonal, esta validación consiste en comparar los valores iniciales (observados) que se le designaron a cada uno de los nodos, con los que resultan después de la interpolación (estimados).

Se encontró que la regresión arroja un valor de $R^2 = 0,9344$, el cual es lo bastante alto como para establecer que el modelo de interpolación usado para la predicción de los valores en el espacio geográfico es apropiado.

Ahora bien, en la **Figura 5-6**, se observan las curvas isócronas de accesibilidad media global actual para el vector de tiempos medios de viaje en la red viaria actual.

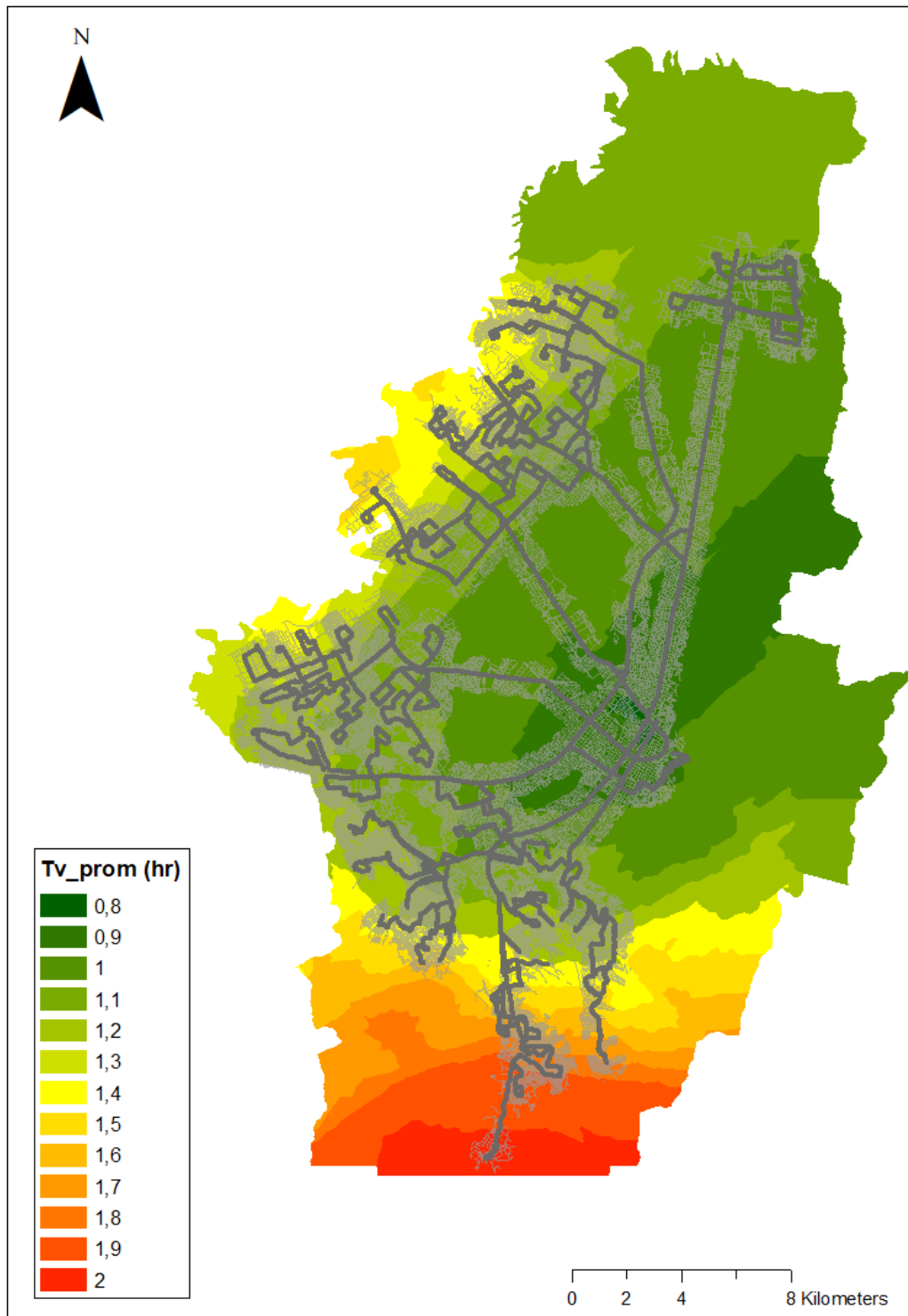
Se observa que la curva isócrona de menor tiempo es la de 0.8 horas (40 minutos), la cual cubre el sector central de la ciudad de Bogotá, mientras que la de mayor tiempo se encuentra alrededor de 2 horas, localizada en las localidades de Usme y Ciudad Bolívar.

Es posible establecer que, dadas las características físicas y operativas de la red actual, en su conjunto, la zona donde se encuentra la red viaria del sistema BRT, está cubierta con curvas de menor tiempo promedio de viaje, por lo tanto, cuentan con más fácil acceso desde cualquier otro nodo de la red analizada.

Es importante resaltar, el cambio de tiempo que se observa entre la red troncal y la red de alimentadores, esto se explica, en la medida que las velocidades del BRT son mucho mayores que las de los alimentadores por la exclusividad del carril preferencial.

También, es importante observar que hay zonas de alimentadores que presentan tiempos promedio de viaje mucho mayores que otras, esto se explican en la velocidad de cada una de las rutas, por lo tanto, se evidencia la importancia que tiene la toma de información de las variables que son la entrada para el modelo de accesibilidad. Algunas de las principales razones que pueden generar la disminución de velocidades de unas rutas alimentadoras respecto a otras se encuentran asociadas con la congestión de determinadas zonas, el mal estado de la infraestructura y vías que superan su capacidad.

Figura 5-6: Curvas isócronas de Accesibilidad media global en la hora pico ofrecidas por la red actual.



Fuente: Elaboración propia

Las curvas isócronas representan un análisis importante, ya que mediante ellas se puede asociar un tiempo promedio de viaje a cada sector geográfico de Bogotá, esto es de gran utilidad pues la interpolación y los métodos geoestadísticos permiten que a partir de conocer los tiempos de viaje en la red de transporte evaluada sea posible conocer el comportamiento en toda el área de análisis y de esta forma asociar estos tiempos a diferentes variables que pueden caracterizar a los usuarios.

Haciendo un análisis de las variables económicas que caracterizan la población de las zonas que se encuentran dentro del área de influencia del estudio, es posible apreciar en la **Tabla 5-1** que un 12% del área de la ciudad de Bogotá tiene una población con ingresos promedio menores de \$750.000 con un tiempo promedio de viaje de 1,64 horas, siendo este el tiempo mayor, mientras que el 7% del área corresponde a habitantes con ingresos superiores a \$3.500.000 y cuentan con un tiempo promedio de viaje de 1,04 horas. Por lo tanto, se concluye que el 74% del área de la capital pertenece a la población con ingresos promedio menores a \$2.500.000 y con los tiempos promedio de viaje mayores (superiores a las 1,07 horas, es decir, 64.2 minutos).

Teniendo en cuenta la información de la **Figura 3-3**, es posible relacionar los valores de las curvas isócronas con las características de ingresos promedio.

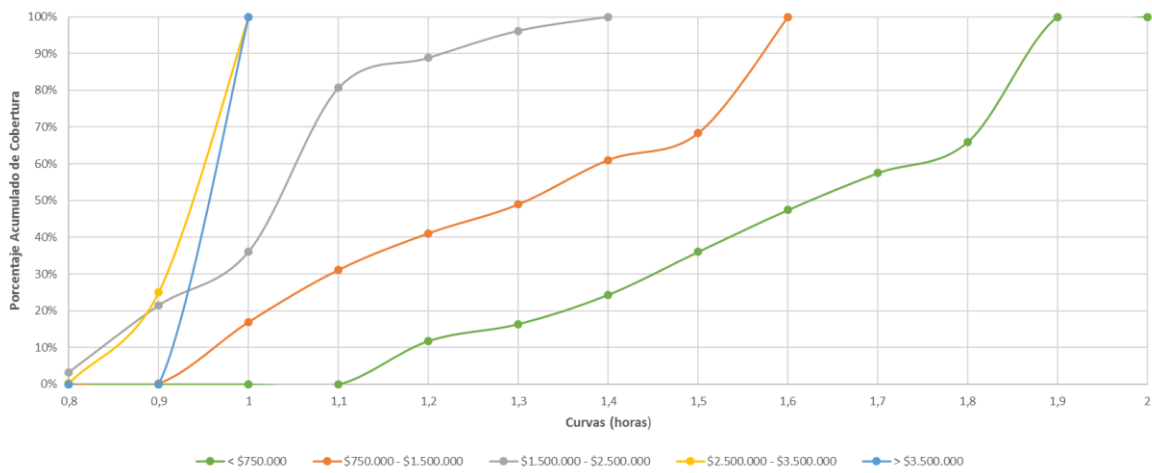
Tabla 5-1: % Población según ingreso promedio en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red actual.

% de area correspondiente	Ingreso Promedio				
	<\$750.000	\$750.000 - \$1.500.000	\$1.500.000 - \$2.500.000	\$2.500.000 - \$3.500.000	>\$3.500.000
Curva Isócrona (hr)					
2,0	0,00%	7,87%	0,00%	0,00%	0,00%
1,9	4,19%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1,8	1,05%	1,18%	0,00%	0,00%	0,00%
1,7	1,24%	1,18%	0,00%	0,00%	0,00%
1,6	1,41%	1,18%	0,00%	0,00%	0,00%
1,5	1,44%	2,62%	0,00%	0,00%	0,00%
1,4	0,98%	4,36%	0,99%	0,00%	0,00%
1,3	0,56%	2,83%	1,92%	0,00%	0,00%
1,2	1,45%	3,58%	2,13%	1,47%	0,00%
1,1	0,00%	5,11%	11,59%	0,99%	2,86%
1	0,00%	6,02%	3,81%	11,38%	4,27%
0,9	0,00%	0,10%	4,74%	4,58%	0,00%
0,8	0,00%	0,00%	0,86%	0,07%	0,00%
Curva Isócrona (hr)	12%	36%	26%	18%	7%
Promedio Ponderado	1,64	1,43	1,07	1,00	1,04

Fuente: Elaboración propia

También es importante analizar para que tiempo promedio de viaje ya se encuentra cubierta completamente la población correspondiente a cada uno de los rangos de ingreso promedio. En la **Figura 5-7** se muestra dicha distribución.

Figura 5-7: Porcentaje de cobertura por ingresos promedio. Situación actual.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, los habitantes con ingresos promedio superiores a \$2.500.000 son los que menos tiempo deben invertir para movilizarse dentro la red troncal y de alimentadores en la ciudad de Bogotá, por otro lado, aquellos que tienen ingresos menores a \$750.000 son los que mayor tiempo de viaje invierten. La población con ingresos entre superiores a \$2.500.000 presentan un comportamiento similar y después de 1 hora el 100% de los habitantes con estas características económicas ya tiene una cobertura total de tiempo de viaje en el sistema. En resumen, a mayor nivel de ingresos, menor tiempo en viaje.

También es importante hacer un análisis de la cobertura que tiene el sistema, es así como los usuarios que presentan ingresos superiores a \$2.500.000 en 0,2 horas alcanzan la cobertura del 100% de la población con dicha característica, es decir, que hay 12 minutos entre el que tiene un menor tiempo promedio de viaje y el de mayor, lo que permite analizar que en términos generales el tiempo es muy similar entre ellos, mientras que, aquellos con ingresos menores a \$750.00 necesitan 0,8 hora (48 minutos) para cubrir todos los usuarios con esta característica.

Por otro lado, los usuarios que tienen un ingreso promedio entre \$750.000 y \$2.500.000, presentan un comportamiento similar, es decir, que para lograr la cobertura de toda su población necesitan aproximadamente 0.7 horas (42 minutos).

Lo anterior puede estar asociado a diferentes razones, la primera a la proximidad en términos de localización de la población con mayores ingresos al componente troncal, mientras que las de menores ingresos se encuentran más cercanas a las rutas alimentadores, que como se analizó anteriormente tienen velocidades mucho más bajas afectando directamente el tiempo de viaje. La segunda razón está asociada a que la cantidad de la población con ingresos altos es mucho menor que los usuarios que presentan ingresos promedio menores.

Así mismo, se hace el análisis con la variable de estrato socioeconómico, en la **Tabla 5-2** se puede observar que a groso modo se cumple el mismo principio que en los ingresos promedio, una relación directa entre el estrato y el tiempo promedio de viaje, es decir que a menor estrato mayor tiempo de viaje.

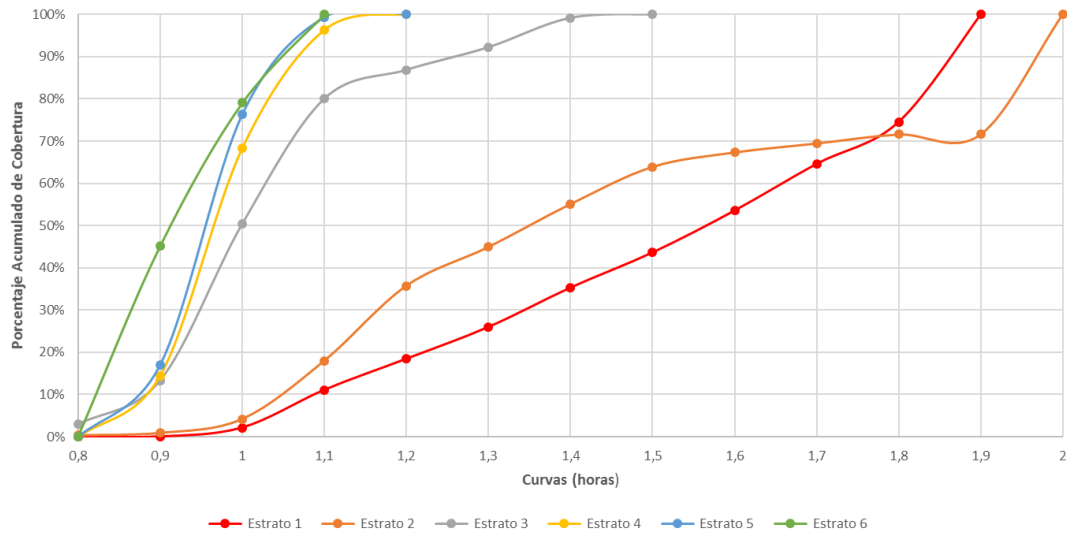
Tabla 5-2: % Población según ingreso estrato socioeconómico en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red actual.

% de area correspondiente	Estrato socioeconómico					
	1	2	3	4	5	6
Curva Isócrona (hr)						
2.0	0.00%	7.87%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.9	4.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.8	1.64%	0.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.7	1.83%	0.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.6	1.64%	0.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.5	1.37%	2.44%	0.24%	0.00%	0.00%	0.00%
1.4	1.54%	2.81%	1.99%	0.00%	0.00%	0.00%
1.3	1.24%	2.54%	1.53%	0.00%	0.00%	0.00%
1.2	1.21%	4.92%	1.96%	0.50%	0.05%	0.00%
1.1	1.47%	3.82%	8.47%	3.75%	1.57%	1.47%
1	0.35%	0.91%	10.57%	7.22%	4.05%	2.38%
0.9	0.00%	0.16%	2.97%	1.94%	1.16%	3.18%
0.8	0.00%	0.09%	0.83%	0.00%	0.00%	0.00%
Total Población	16%	28%	29%	13%	7%	7%
Promedio Ponderado	1.57	1.50	1.08	1.02	1.01	0.98

Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que más del 70% del área de Bogotá corresponde a poblaciones con estratos entre 1, 2 y 3 y tiempos promedio de viaje mayores. Por ejemplo, el estrato 1 tiene un tiempo promedio de viaje de alrededor de 1 hora y media, mientras que el del estrato 6 es de 0.98 horas, es decir, un 37% menor.

Figura 5-8: Porcentaje de cobertura por estrato socioeconómico. Situación actual



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 5-8** se puede observar que, en el caso de los estratos socioeconómicos, la población que mayor tiempo invierte en los viajes dentro del sistema de transporte público en el componente troncal y de alimentadores corresponde a los estratos 1 y 2, siendo para el 2 el tiempo más desfavorable. Por otro lado, el estrato 5 y 6 corresponden a los habitantes que menos tiempo deben invertir. El 100% de la población que se encuentra dentro del estrato 4 a las 1.2 horas alcanza la cobertura total en el sistema. Finalmente, el estrato 3, tiene una cobertura total de su población a las 1.4 horas. Es evidente que los estratos más bajos tienen tiempos promedios de viaje mayores.

Un aspecto importante a tener en cuenta son las pendientes que se generan en la gráfica, para los estratos más bajos el valor de la pendiente es aproximadamente de 1 mientras que para los altos es de 3, esto quiere decir que los estratos bajos tienen un rango más amplio de tiempo promedio de viaje que cubre su población que los altos.

Al analizar la cobertura que se genera en esta gráfica se puede observar que, los estratos 4, 5 y 6 en términos generales presentan un comportamiento similar en donde hay 0,3 horas (18 minutos) entre el usuario que menos tiempo de viaje tiene con el de mayor tiempo. Por otro lado, el estrato 3 ya cuenta con 0.7 horas (42 minutos) para generar una cobertura total de su población. Finalmente se encuentra el estrato 1 y 2 que presentan una diferencia de 1.2 horas (72 minutos), es decir, que con respecto a los de estrato más

altos se están demorando 54 minutos más en cubrir el total de los usuarios con estas características.

5.2 Análisis de accesibilidad media global ofrecida por la red viaria futura

Para el análisis de accesibilidad ofrecida por la red futura, fue necesario realizar los cambios correspondientes en el grafo de análisis, dichos cambios solamente se llevan a cabo para el trazado y nuevas velocidades de operación de los tramos que serán intervenidos:

- Troncal de la Av. Carrera 7^a.
- Troncal de la Av. Ciudad de Cali.
- Troncal de la Av. Boyacá
- Troncal de la Av. Carrera 68.

Son estas troncales las que se incluyeron en el escenario futuro, pues fueron los trazados que ya se encuentran definidos por parte de Transmilenio S.A, además de que ya tienen definidas sus fuentes de financiación, siendo este el escenario futuro más probable.

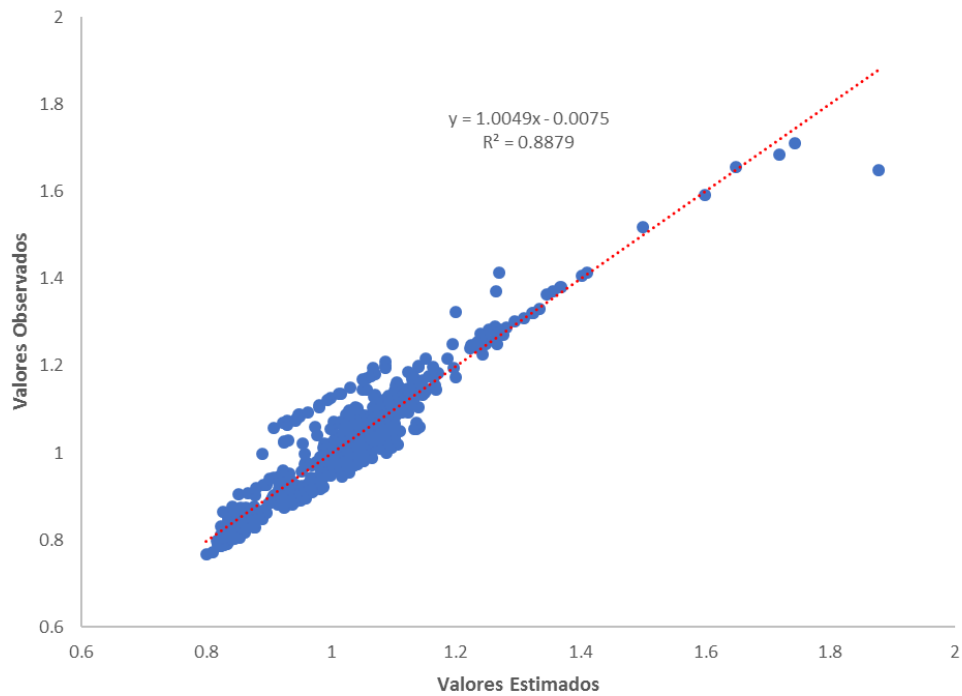
Como no se cuenta con información de velocidades para estas nuevas troncales, ya que aún no están en operación, se asignarán asociándolas con las velocidades de las troncales actuales, según tengan características similares. La troncal de la Av. Carrera 7^a, tendrá las velocidades de la troncal de la Avenida Caracas por las similitudes asociadas a semáforos, intersecciones y carriles. La troncal de la Av. Carrera 68 y la de la Av. Ciudad de Cali, tendrán las velocidades de la Avenida NQS. Finalmente, la troncal de la Av. Boyacá tendrá las de la Autopista Norte, por la longitud y los carriles.

En el caso del análisis de la Accesibilidad media global ofrecida por la red futura de la ciudad de Bogotá, las isócronas representan las zonas que podrían ser alcanzadas en un tiempo promedio de viaje determinado, desde cualquier nodo de la red, con las características adicionadas.

En la **Figura 5-9** se observa la validación cruzada de los datos del vector de tiempos medios de viaje ofrecidos por la red viaria futura, encontrando que la regresión arroja un valor de $R^2 = 0,8879$, el cual es lo bastante alto como para establecer que el modelo de

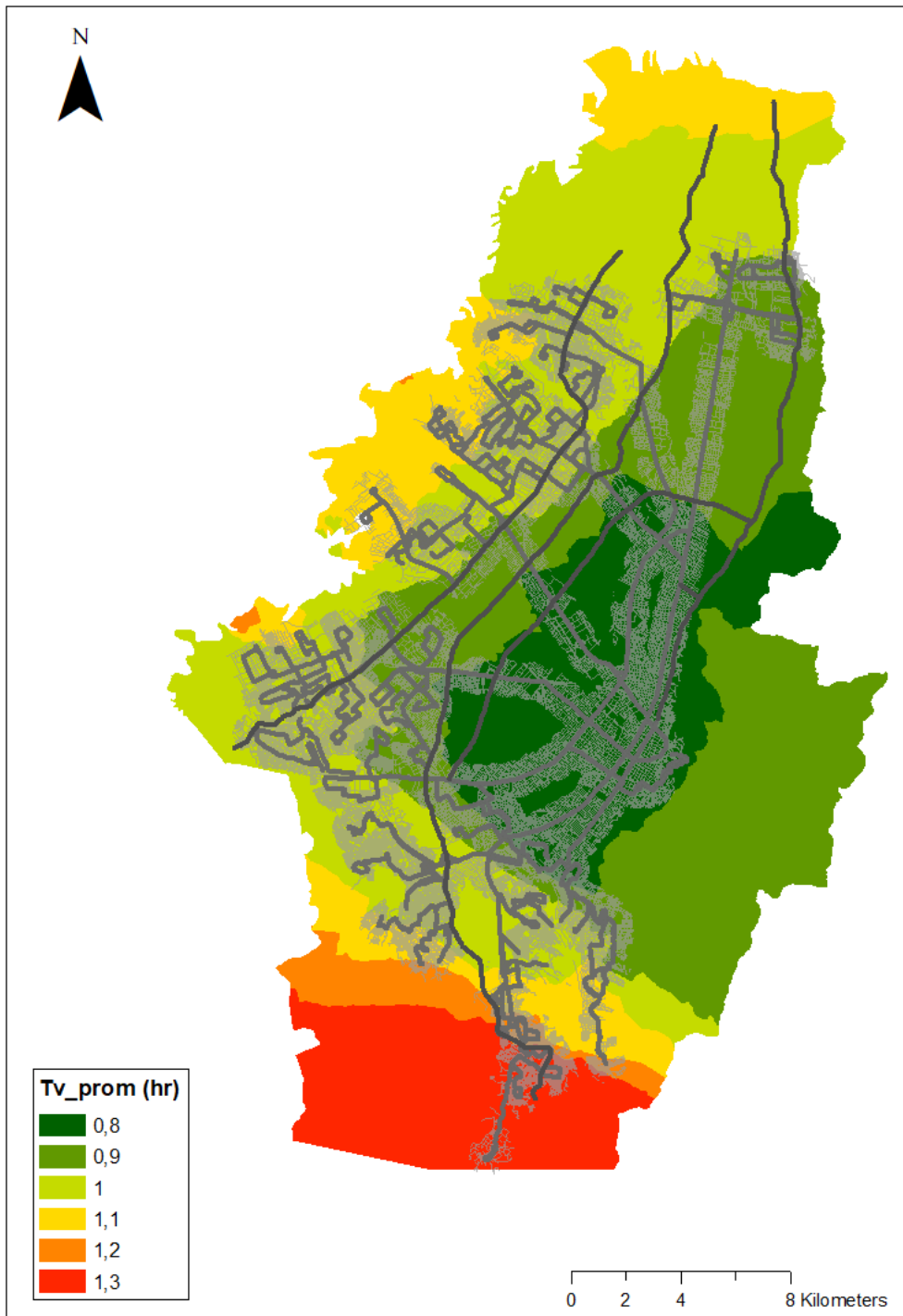
interpolación usado para la predicción de los valores en el espacio geográfico es apropiado.

Figura 5-9: Validación cruzada del vector de tiempos medios de viaje para la red viaria futura



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10: Curvas isócronas de Accesibilidad media global en la hora pico ofrecidas por la red futura.



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 5-10** se aprecian las curvas isócronas de Accesibilidad media global para el escenario futuro, ya se puede observar un escenario en tiempos promedio de viaje muy diferente al escenario actual, no solamente porque la curva isócrona con valor de 0.8 horas cubre mucha más área, sino que también porque la curva con el tiempo más alto disminuye de 2 horas a 1,3 horas. En la figura anterior se puede observar que las troncales futuras (tono más oscuro) pretenden llegar hasta la periferia de la ciudad, una de las razones que explica la mejoría en los tiempos de viaje, además, aunque algunas de esas zonas actualmente tienen cobertura del sistema de alimentadores, la velocidad es mucho mayor en el sistema BRT, favoreciendo el tiempo promedio de viaje para los habitantes de Bogotá.

Bajo este análisis, ya se puede ir viendo la importancia de esta metodología de accesibilidad que permite analizar que modificaciones en tiempos promedios de viaje se generan sobre Bogotá al agregar nuevas troncales a la red.

Ahora bien, entrando un poco más en detalle respecto a la población según la distribución de los ingresos promedio, se puede observar que, para todos los rangos, los tiempos de viaje disminuyeron, estos cambios se ampliarán a fondo en la sección de análisis de resultados. En la **Tabla 5-3** se puede observar que el área cubierta por la población con ingresos superiores a \$3.500.000 tiene un tiempo promedio de viaje alrededor de las 0.87 horas, por otro lado, los habitantes con ingresos menores a \$750.000 lo tienen alrededor de la 1.22 horas. Es importante resaltar que definitivamente la entrada en operación de las nuevas troncales generan un impacto positivo en tiempos promedio de viaje para la población en general.

Tabla 5-3: % Población según ingreso promedio en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red futura.

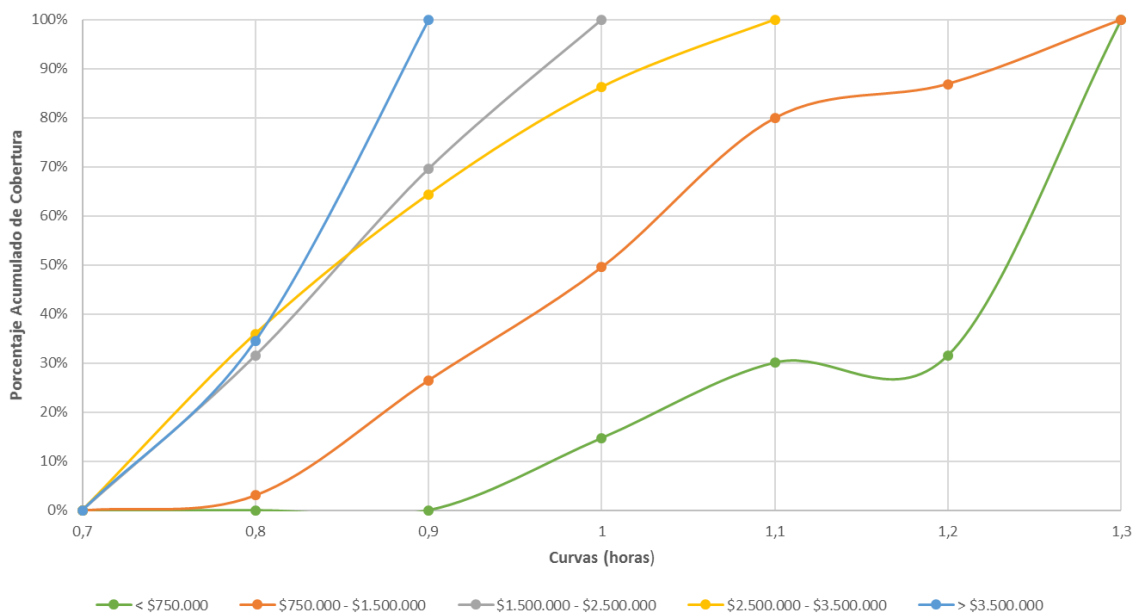
% de area correspondiente	Ingreso Promedio				
	<\$750.000	\$750.000 - \$1.500.000	\$1.500.000 - \$2.500.000	\$2.500.000 - \$3.500.000	>\$3.500.000
Curva Isócrona (hr)					
1,3	7,87%	4,76%	0,00%	0,00%	0,00%
1,2	0,18%	2,52%	0,00%	0,00%	0,00%
1,1	1,77%	11,04%	0,00%	2,19%	0,00%
1	1,69%	8,37%	8,35%	3,48%	0,00%
0,9	0,00%	8,52%	10,45%	4,53%	5,72%
0,8	0,00%	1,13%	8,66%	5,75%	3,03%
Total Población	12%	36%	26%	18%	7%
Promedio Ponderado	1,22	1,05	0,90	0,80	0,87

Fuente: Elaboración propia

En términos de cobertura la población con ingresos menores a \$750.000 son los que más deben invertir en tiempos de viaje, además en la **Figura 5-11** se puede observar que ningún

porcentaje de la población con dicha característica socioeconómica se encuentra por debajo de 0.9 horas, a diferencia de todos los demás rangos de ingresos que algún porcentaje de su población si se cubre con el tiempo promedio de viaje menor. Con la entrada en operación de las nuevas trocales propuestas, los habitantes con ingresos promedio entre \$2.500.000 y \$3.500.000 son los que deberán invertir menos tiempos de viaje, seguidos por aquellos que presentan ingresos superiores a \$3.500.000, por otro lado, para los ingresos entre \$2.50.000 y \$3.500.000 la cobertura total de la población se da a las 1.1 horas.

Figura 5-11: Porcentaje de cobertura por ingreso promedio. Situación futura



Fuente: Elaboración propia

En esta gráfica la tendencia de pendiente es similar para todos los estratos, no tan marcada como en la **Figura 5-8**.

Adicionalmente, se debe resaltar que con la implementación de las nuevas rutas troncales la cobertura total de cada una de las poblaciones analizadas se alcanza en un tiempo menor respecto al escenario actual. Si bien, sigue existiendo una brecha en el tiempo de viaje entre los usuarios con menores ingresos con los de mayores, en términos de la cantidad de tiempo que el sistema tiene para cubrir la totalidad de cada una de las poblaciones se están acercando mucho más.

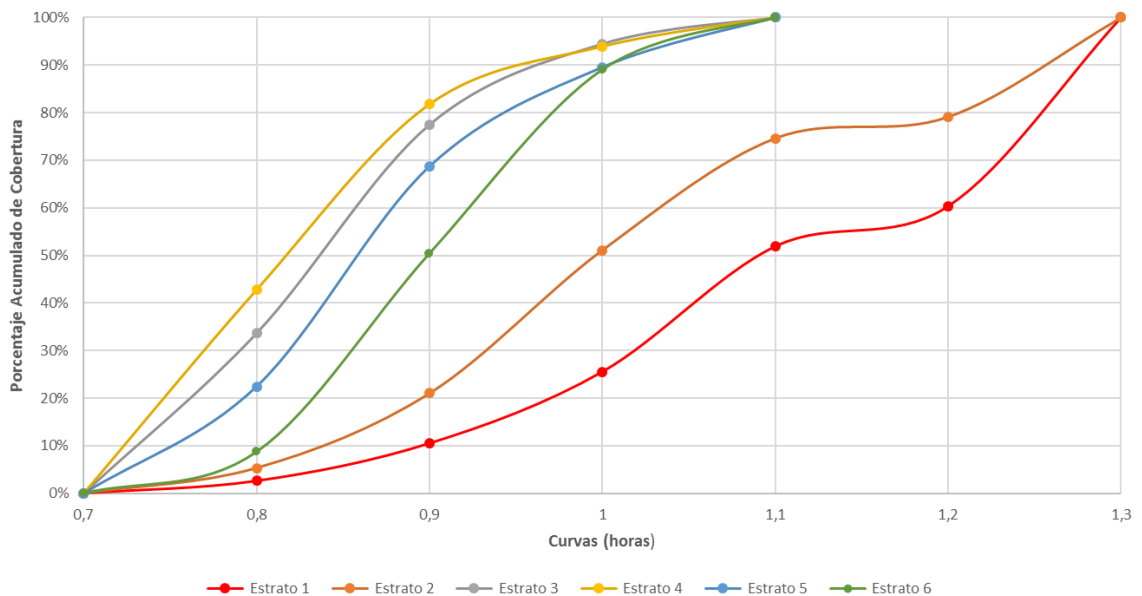
Por otro lado, se encuentra el análisis en función de los estratos socioeconómicos, en la **Tabla 5-4** se puede observar que el escenario futuro presenta un impacto positivo en los tiempos promedios de viaje para todos los estratos en comparación con el actual, en este caso el estrato 1 cuenta con un tiempo promedio de viaje de 1.15 horas, mientras que para el estrato 6 es de 0.95 horas, es decir un 17% menor.

Tabla 5-4: % Población según estrato socioeconómico en el área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red futura.

% de area correspondiente	Estrato socioeconómico					
	1	2	3	4	5	6
Curva Isócrona (hr)						
1.3	6.79%	5.84%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.2	1.44%	1.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.1	4.51%	6.57%	1.49%	0.74%	0.74%	0.95%
1	2.58%	8.41%	4.58%	1.47%	1.47%	3.38%
0.9	1.35%	4.39%	11.84%	4.73%	3.27%	3.65%
0.8	0.45%	1.49%	9.09%	5.19%	1.59%	0.76%
Total Población	17%	28%	27%	12%	7%	9%
Promedio Ponderado	1.15	1.07	0.89	0.88	0.92	0.95

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-12: Porcentaje de cobertura por estrato socioeconómico. Situación futura



Fuente: Elaboración propia

Igualmente, que la anterior, en esta gráfica la tendencia de pendiente es similar para todos los estratos.

Ahora bien, en la **Figura 5-12** se puede observar la cobertura del escenario futuro desagregada por estratos socioeconómicos, se puede observar una distribución más homogénea entre las diferentes condiciones económicas, en este caso, los estratos 3, 4, 5, y 6 alcanzan la cobertura total de la población para tiempo de viaje en 1.1 horas, mientras que el estrato 1 y 2 invierten más tiempo promedio de viaje (1.3 horas) en el sistema troncal y alimentadores.

Finalmente, es importante tener en cuenta que el estrato 3 tiene una ganancia importante al referirse a cobertura, ya que, con la incorporación de las rutas futuras, están mejorando en casi 20 minutos en el tiempo que se requiere para cubrir el total de los usuarios con esta característica económica, igualándose mucho en tiempos a los estratos 4, 5 y 6.

Por otro lado, los estratos 1 y 2 también generan ganancias importantes en cuanto a cobertura se refiere.

5.3 Análisis de las curvas gradientes de accesibilidad media global entre la red viaria actual y futura

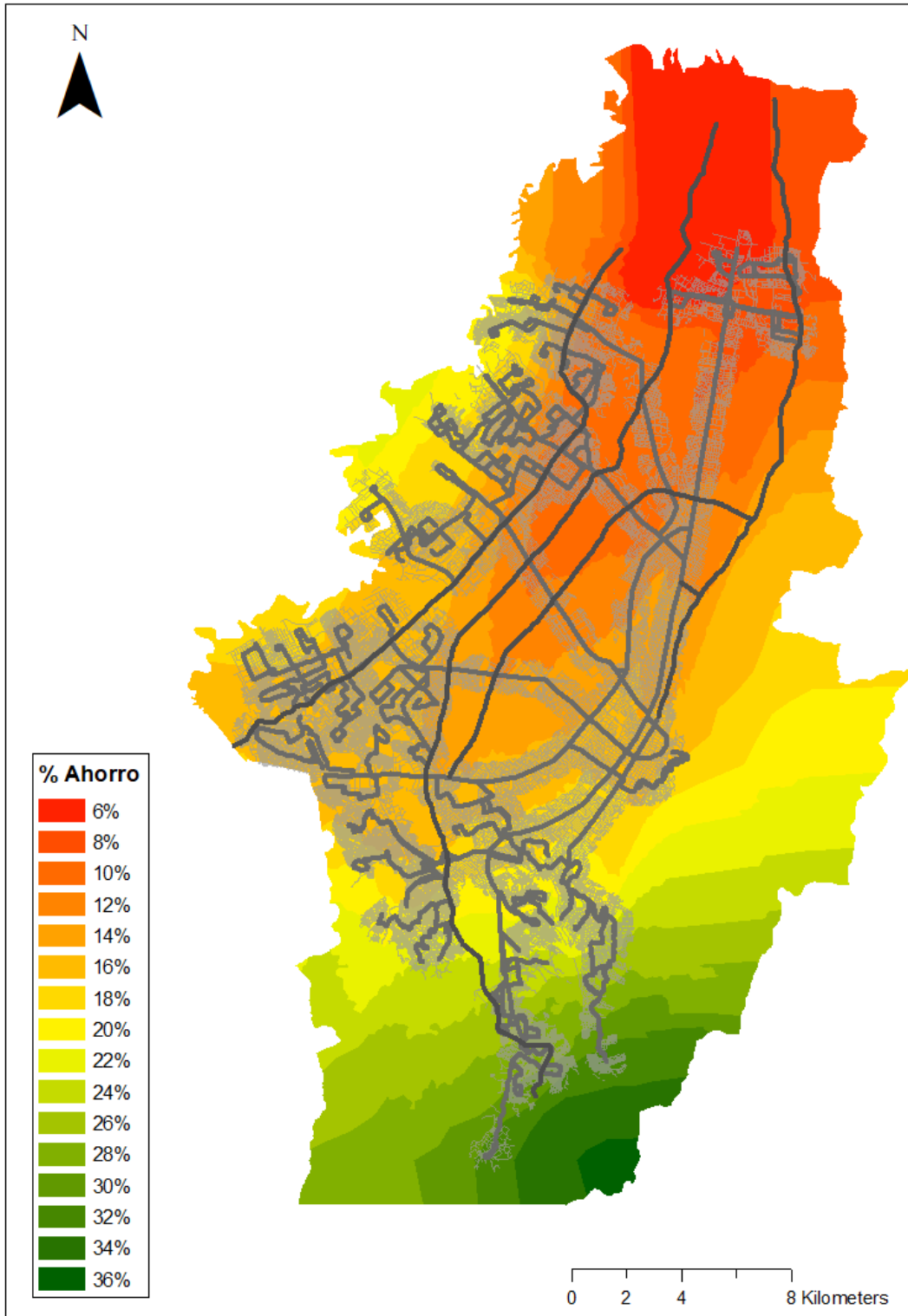
A continuación, se hace el análisis de las curvas gradientes de tiempos de viaje entre la red actual y futura.

Las curvas isócronas gradientes de tiempo, se obtienen mediante la diferencia matemática de las curvas isócronas de tiempo medio de viaje para cada uno de los casos, las cuales se calculan mediante cada uno de los vectores de tiempos medios de viaje estudiados, tal cual como se explicó en el capítulo de la metodología.

En términos generales se puede observar que todos los nodos de la red generan ganancias de tiempo con la modificación de la red, es decir, que la ciudad de Bogotá mejora sus tiempos promedio de viaje con la entrada en operación de las nuevas troncales propuestas por la actual administración.

En la **Figura 5-13** se muestra que hay ganancias de tiempo entre 36% y 6% en toda la red, esto quiere decir el porcentaje de ganancia de tiempo que hay al incorporar las nuevas troncales, se puede observar que estas son mayores en las zonas perimetrales de la

ciudad, esto se debe a que los trazados de las nuevas troncales llegan a puntos extremos de Bogotá y por ende compiten en velocidades con zonas donde únicamente el sistema tenía cobertura con el sistema de alimentadores, el cual tenía velocidades mucho menores.

Figura 5-13: % de ahorro de tiempo entre el escenario actual y el futuro.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, con el fin de validar el principal objetivo del presente estudio es necesario hacer el análisis de ahorro de tiempo en función de la población según sus ingresos promedio y estratos socioeconómicos.

El % de tiempo de ahorro, es la ganancia de tiempo promedios de viaje que tiene la red, al entrar en operación las nuevas troncales.

Al hacer una comparación entre los tiempos del escenario actual y el futuro se puede observar que según el análisis de accesibilidad en toda la ciudad hay ganancias en tiempo, es decir, que para cualquier punto dentro de Bogotá al incorporar las nuevas troncales va a existir una ganancia en tiempo para los usuarios del sistema.

Es evidente que los ahorros más grandes de tiempo se están generando en la periferia de la ciudad, si bien, hay ganancias en la zona central, los usuarios localizados en el perímetro de la ciudad tendrán los mayores beneficios en términos de ahorro de tiempo.

Según los ingresos promedio la población que mayor % de ahorro de tiempos promedio de viaje tendría con el cambio de la red actual, sería aquella población con ingresos menores a \$750.000, con un ahorro de tiempo promedio de aproximadamente del 26%. Por otro lado, la ganancia de tiempo de viaje para la población con ingresos superiores a \$2.500.000 está alrededor del 11 %. Es importante analizar que las personas con menores ingresos serían las más beneficiadas con la incorporación de las nuevas troncales. Estos resultados se pueden observar en la **Tabla 5-5**.

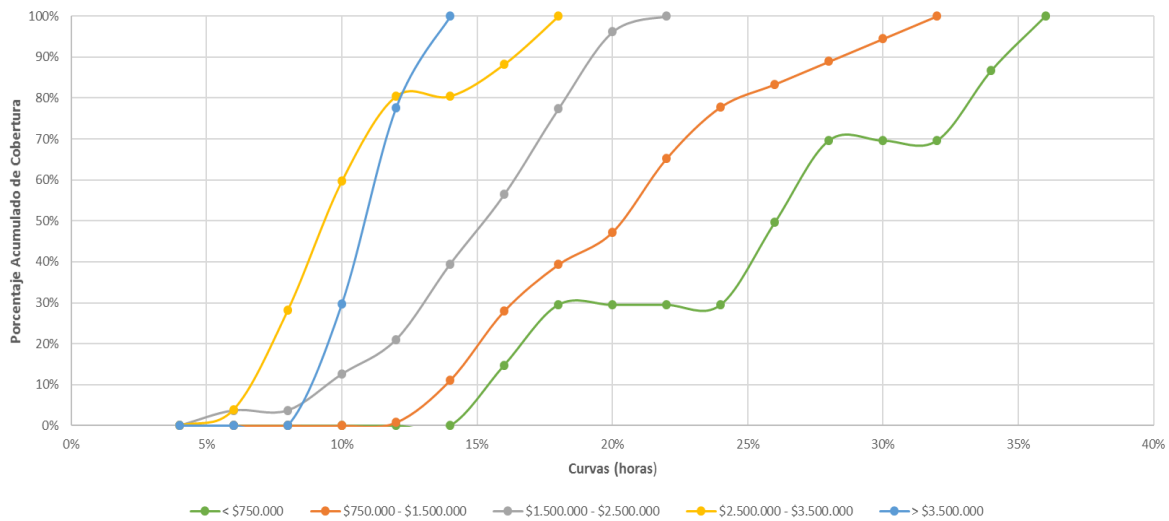
Tabla 5-5: % Población según ingreso promedio en el área de influencia según % de ahorro de tiempo.

% de area correspondiente	Ingreso Promedio				
	< \$750.000	\$750.000 - \$1.500.000	\$1.500.000 - \$2.500.000	\$2.500.000 - \$3.500.000	> \$3.500.000
% Ahorro					
36%	1,57%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
34%	2,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
32%	0,00%	2,02%	0,00%	0,00%	0,00%
30%	0,00%	2,02%	0,00%	0,00%	0,00%
28%	2,38%	2,02%	0,00%	0,00%	0,00%
26%	2,38%	2,02%	0,00%	0,00%	0,00%
24%	0,00%	4,59%	0,00%	0,00%	0,00%
22%	0,00%	6,55%	0,98%	0,00%	0,00%
20%	0,00%	2,89%	4,78%	0,00%	0,00%
18%	1,75%	4,13%	5,31%	2,21%	0,00%
16%	1,75%	6,17%	4,32%	1,47%	0,00%
14%	0,00%	3,75%	4,69%	0,00%	1,67%
12%	0,00%	0,28%	2,14%	3,91%	3,58%
10%	0,00%	0,00%	2,25%	5,94%	2,22%
8%	0,00%	0,00%	0,00%	4,55%	0,00%
6%	0,00%	0,00%	0,95%	0,74%	0,00%
Total Población	12%	36%	26%	18%	7%
Promedio Ponderado	26,44	21,28	15,79	11,18	11,85

Fuente: Elaboración propia

En términos de cobertura en la **Figura 5-14** se puede observar que las personas con ingresos menores a \$750.000 tienen un rango de % de ahorro entre 14% y 36%. Por otro lado, la población con ingresos superiores a \$3.500.000 solamente tienen un ahorro de tiempo con las nuevas troncales entre el 8% y el 14%. Es importante resaltar que dentro de la población con ingresos entre \$1.500.000 y \$2.500.000, hubo usuarios que solamente tuvieron ganancias de tiempo de alrededor del 4%.

Figura 5-14: Porcentaje de cobertura por ingreso promedio. (% ahorro)



Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, al hacer este mismo análisis de ahorro de tiempo con la variable de estrato socioeconómico, se puede observar en la **Tabla 5-6** los resultados obtenidos.

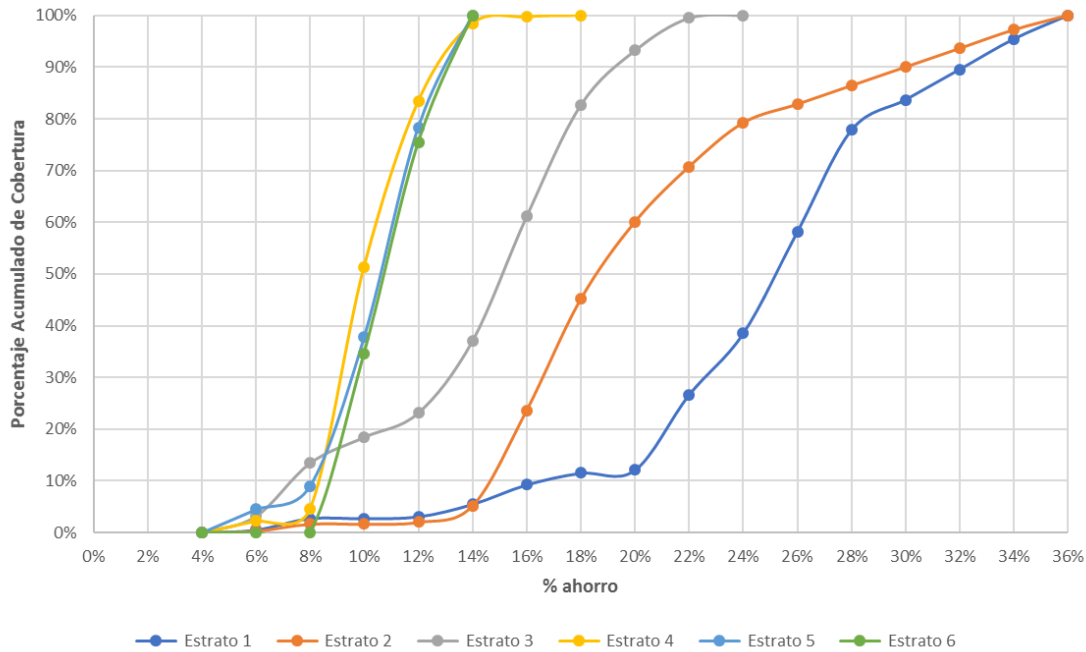
Tabla 5-6: % Población según estrato socioeconómico en el área de influencia según % de ahorro de tiempo.

% de area correspondiente	Estrato socioeconómico					
	1	2	3	4	5	6
% Ahorro						
36%	0.79%	0.79%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
34%	1.01%	1.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
32%	1.01%	1.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30%	1.01%	1.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
28%	3.39%	1.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
26%	3.39%	1.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
24%	2.04%	2.39%	0.16%	0.00%	0.00%	0.00%
22%	2.51%	3.00%	2.02%	0.00%	0.00%	0.00%
20%	0.10%	4.20%	3.38%	0.00%	0.00%	0.00%
18%	0.39%	6.06%	6.92%	0.03%	0.00%	0.00%
16%	0.65%	5.19%	7.72%	0.14%	0.00%	0.00%
14%	0.41%	0.88%	4.46%	1.62%	1.17%	1.56%
12%	0.06%	0.10%	1.51%	3.44%	2.19%	2.60%
10%	0.00%	0.00%	1.62%	5.04%	1.55%	2.21%
8%	0.38%	0.38%	3.30%	0.24%	0.24%	0.00%
6%	0.10%	0.10%	1.01%	0.24%	0.24%	0.00%
Total Población	17%	28%	32%	11%	5%	6%
Promedio Ponderado	25.65%	21.20%	15.36%	11.21%	11.41%	11.80%

Fuente: Elaboración propia

Para este caso, el porcentaje de ahorro de tiempo mayor también se presenta en los estratos más bajos de la ciudad de Bogotá. En el estrato 1, con los cambios en la infraestructura de la red actual se consigue un 25% de ganancia en los tiempos de viaje, mientras que para el estrato 6 está alrededor del 11.8%.

En términos de cobertura en la **Figura 5-15** se puede analizar que para el estrato 1 el rango de ganancia de tiempo se encuentra entre el 8% y el 36%, donde más del 50% de la población total de ese estrato tiene ganancias superiores al 24%, mientras que en contraste para el estrato 6 los tiempos de ahorro oscilan entre el 8% y el 14%, solamente el 30% de su población tiene ganancias superiores al 12%.

Figura 5-15: Porcentaje de cobertura por estratos socioeconómicos. (% ahorro)

Fuente: Elaboración propia

5.4 Asequibilidad al sistema troncal.

La pobreza es uno de los grandes retos del transporte urbano, este es un tema común en todas las ciudades que hacen parte de los países en vías de desarrollo. El transporte constituye un estimado entre el 10% y el 30% del total de gastos de un hogar (Kunieda & Gauthier, 2007). Por lo tanto, no solo es importante el estudio de la accesibilidad en el transporte público mencionada en los capítulos anteriores, sino también la asequibilidad que consiste en precios que sean favorables en las tarifas para los usuarios del sistema.

La importancia del transporte público colectivo para una ciudad radica en que, a través de este, la mayoría de las funciones sociales, laborales, educativas y culturales deben ser satisfechas de una manera eficiente y favorable para la ciudad.

Por lo tanto, esta sección pretende realizar un análisis histórico de asequibilidad al sistema troncal, en función del comportamiento de la tarifa al usuario, respecto del salario mínimo.

En la **Tabla 5-7** se muestra la tarifa del sistema desde el año 2000 hasta el año 2018, igualmente el salario mínimo legal vigente en Colombia para cada uno de los años. El valor costos de transporte resulta a partir de asumir que un usuario viaja dos veces al día durante

la semana completa (7 días). A partir de este análisis es posible observar que en promedio un ciudadano de Bogotá se gasta el 17.85% de su salario en temas de transporte, esto suponiendo que con ese salario solo se sustenta una persona, y es importante resaltar que hay muchos hogares en Colombia que viven con un salario mínimo, lo que quiere decir, que el porcentaje de costos en transporte puede llegar a ser mucho mayor.

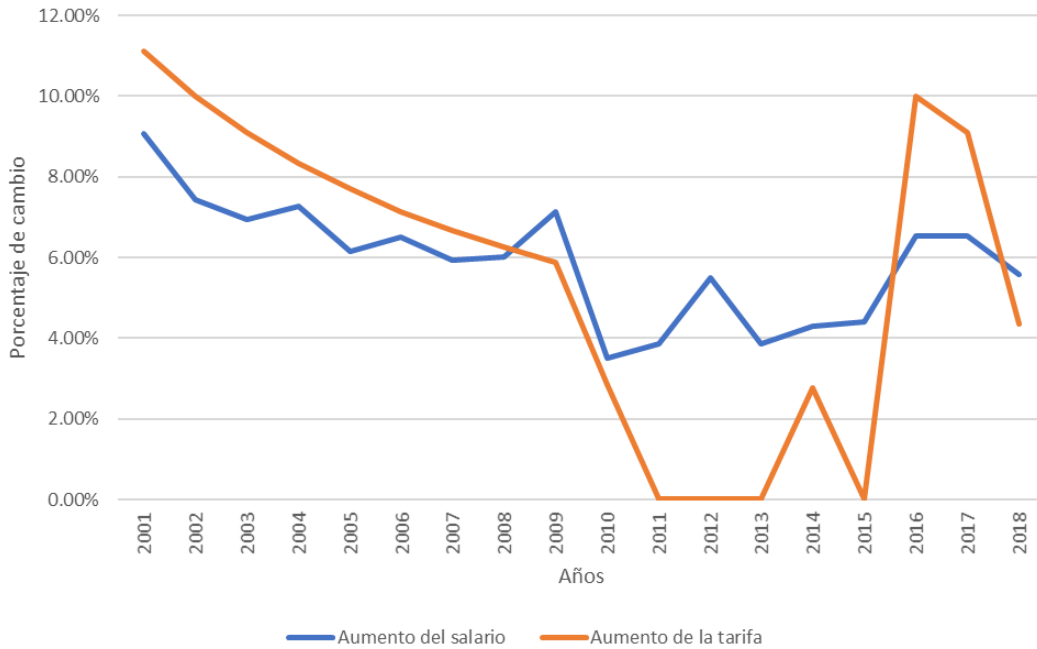
Tabla 5-7: Análisis histórico de tarifa del componente troncal vs Salario mínimo legal vigente.

Año	Salario Mínimo Legal Vigente	Tarifa	Costos de transporte	% del salario
2000	\$ 260,100	\$ 800	\$ 44,800	17.22%
2001	\$ 286,000	\$ 900	\$ 50,400	17.62%
2002	\$ 309,000	\$ 1,000	\$ 56,000	18.12%
2003	\$ 332,000	\$ 1,100	\$ 61,600	18.55%
2004	\$ 358,000	\$ 1,200	\$ 67,200	18.77%
2005	\$ 381,500	\$ 1,300	\$ 72,800	19.08%
2006	\$ 408,000	\$ 1,400	\$ 78,400	19.22%
2007	\$ 433,700	\$ 1,500	\$ 84,000	19.37%
2008	\$ 461,500	\$ 1,600	\$ 89,600	19.41%
2009	\$ 496,900	\$ 1,700	\$ 95,200	19.16%
2010	\$ 515,000	\$ 1,750	\$ 98,000	19.03%
2011	\$ 535,600	\$ 1,750	\$ 98,000	18.30%
2012	\$ 566,700	\$ 1,750	\$ 98,000	17.29%
2013	\$ 589,500	\$ 1,750	\$ 98,000	16.62%
2014	\$ 616,000	\$ 1,800	\$ 100,800	16.36%
2015	\$ 644,350	\$ 1,800	\$ 100,800	15.64%
2016	\$ 689,455	\$ 2,000	\$ 112,000	16.24%
2017	\$ 737,717	\$ 2,200	\$ 123,200	16.70%
2018	\$ 781,242	\$ 2,300	\$ 128,800	16.49%
Promedio				17.85%

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Transmilenio S.A y Banco de la Republica.

Por otro lado, es importante analizar la tasa de crecimiento que ha tenido históricamente el aumento del salario mínimo respecto al de la tarifa del sistema troncal. Como se puede observar en la **Figura 5-16**, entre los años 2000 y 2008 el aumento de la tarifa fue mayor que el aumento del salario mínimo, situación que continua entre los años 2016- 2017, por otro lado, en el periodo comprendido entre el año 2009 y 2015, el aumento de la tarifa fue menor que el aumento del salario mínimo, con años donde esta no tuvo ningún aumento. Finalmente, en el 2018 aumento más el salario mínimo que la tarifa del sistema troncal.

Figura 5-16: Tasa de crecimiento de salario mínimo legal vigente de Colombia vs la tarifa del sistema troncal.



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Transmilenio S.A y Banco de la Republica.

5.5 Precio Generalizado

Uno de los análisis interesantes que se pueden determinar a partir de los resultados obtenidos por medio de la metodología de accesibilidad media global, es establecer esos ahorros de tiempo de cada usuario cuanto representan en términos de precio generalizado.

Primero es importante resaltar que según (De Rus, 2003) cuando un usuario desea trasladarse de un punto a otro no solo considera cuanto le va a costar el viaje, sino también el tiempo que le tomará realizar el trayecto y en qué condiciones estará (comodidad, seguridad, etc.).

Por lo tanto, el autor expone que resulta muy conveniente evaluar en una sola variable todos los aspectos mencionados anteriormente, con el fin de medir el coste de oportunidad que representa el transporte para cada individuo y es así como surge el concepto de precio generalizado.

El precio generalizado está definido como la suma del valor monetario de todos los determinantes de la demanda de transporte para un individuo.

La expresión más utilizada es la siguiente:

$$g = p + vt + \theta$$

En donde,

g : precio generalizado

p : componentes monetarios del viaje

vt : valor total del tiempo empleado en el mismo

θ : valoración monetaria del resto de elementos cualitativos que intervienen en la toma de decisión

A partir de estos conceptos, se pretende determinar a cuánto equivalen monetariamente los ahorros de tiempo determinados para cada usuario analizado.

Por lo tanto, es importante definir las variables que se van a utilizar en este análisis. Por un lado p representa el valor en el que el usuario debe incurrir para utilizar el sistema de Transmilenio, en este caso corresponde a la tarifa del sistema que corresponde a \$2.300. Si bien, las troncales proyectadas son un escenario futuro, para efectos prácticos se determinará el precio generalizado a moneda del 2018.

La segunda variable por definir es vt , v corresponde al valor del tiempo de cada usuario y t el tiempo en el que incurre para hacer el recorrido, en este caso el t equivale al tiempo promedio de viaje calculado con la metrología de accesibilidad media global.

Para la valoración del tiempo en el análisis económico, se adoptó la aproximación de costo de oportunidad. Se asume que el tiempo que destinan los bogotanos a transportarse se traduce en un sacrificio de su productividad medida a través de los ingresos laborales que deja de generar.

Para encontrar este valor, se utilizaron los valores generados en el estudio (Steer, 2014). Estos valores los determinaron a partir de la Gran Encuesta Integrada de Hogares del I trimestre de 2013 del DANE para Bogotá. Seleccionaron los hogares que reportan tenencia

de vehículos y el ingreso laboral promedio de cada una de las personas ocupadas del hogar. El equivalente a hora lo obtuvieron asumiendo que se trabajan 176 horas al mes.

Para convertir el valor del tiempo de valores de 2013 a precios actuales (2018), se utilizó la tasa de crecimiento del PIB per cápita para la ciudad de Bogotá a partir de los datos del DANE.

Tabla 5-8: Valor de hora para los usuarios desagregados por estrato socioeconómico.

Estrato	Valor hora (2013)	Valor hora (2018)
1	\$5.562	\$7.049
2	\$5.797	\$7.347
3	\$8.843	\$11.207
4	\$22.451	\$28.454
5	\$18.071	\$22.903
6	\$37.421	\$47.427

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Steer.

Por otro lado, para determinar el valor de hora de los usuarios en función de sus ingresos promedio, se calcula un ingreso promedio de cada uno de los rangos analizados y se asume que se trabajan 176 horas al mes. Los ingresos promedio fueron obtenidos de la Encuesta de Movilidad de 2011, por lo tanto, se convierte el valor de la hora a precios actuales como se describió anteriormente.

Tabla 5-9: Valor de hora para los usuarios desagregados por ingreso promedio del hogar.

Rango	Ingreso promedio	Valor hora (2011)	Valor hora (2018)
<\$750.000	\$528.152	\$ 3.001	\$ 3.960
\$750.000-\$1.500.000	\$1.111.800	\$ 6.317	\$ 8.336
\$1.500.000-\$2.500.000	\$1.930.500	\$ 10.969	\$ 14.476
\$2.500.000-\$3.500.000	\$2.891.867	\$ 16.431	\$ 21.684
>\$3.500.000	\$4.735.707	\$ 26.907	\$ 35.509

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Encuesta de movilidad 2011.

Finalmente, para efectos del presente proyecto no se considerará θ , ya que, resulta muy difícil cuantificarla de forma objetiva, además en este caso se está evaluando el mismo sistema, por lo tanto, las condiciones de comodidad y seguridad son similares entre los diferentes usuarios y no determinan un impacto importante en el precio generalizado que se está analizando, como sí lo son las otras variables.

Después de tener una descripción de las variables a utilizar se procede a calcular los ahorros en términos de precio generalizado para cada uno de los casos analizados en la metodología de accesibilidad media global.

5.5.1 Ahorro en precio generalizado por estratos socioeconómicos

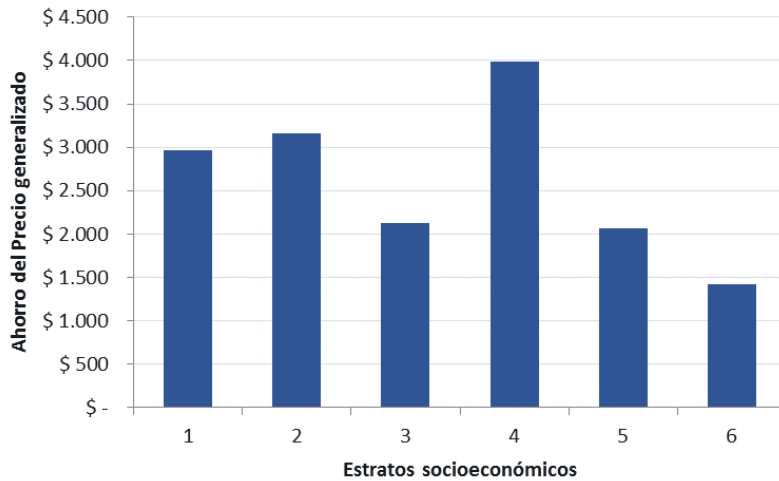
Para determinar cuál es el ahorro que se genera en términos de precios para cada uno de los usuarios categorizados por estrato socioeconómico, se procede a calcular el precio generalizado en el que incurren los usuarios con la red actual y el precio en el cual incurrirían con las troncales proyectadas en funcionamiento. Para esto se utilizan los tiempos obtenidos en la metodología descrita anteriormente.

Es importante tener en cuenta que t_1 , corresponde al tiempo promedio de viaje de cada usuario con el sistema troncal actual, mientras que t_2 , es el del escenario futuro, es decir, con las troncales proyectadas.

Tabla 5-10: Precio generalizado en función de estratos socioeconómicos

Estrato	t_1 (hr)	t_2 (hr)	t_1-t_2 (hr)	v (\$/hr)	p	g_1	g_2	Ahorro
1	1,57	1,15	0,42	\$ 7.049	\$ 2.300	\$ 13.367	\$ 10.406	\$ 2.961
2	1,5	1,07	0,43	\$ 7.347	\$ 2.300	\$ 13.321	\$ 10.161	\$ 3.160
3	1,08	0,89	0,19	\$ 11.207	\$ 2.300	\$ 14.404	\$ 12.274	\$ 2.130
4	1,02	0,88	0,14	\$ 28.454	\$ 2.300	\$ 31.323	\$ 27.340	\$ 3.983
5	1,01	0,92	0,09	\$ 22.903	\$ 2.300	\$ 25.432	\$ 23.371	\$ 2.061
6	0,98	0,95	0,03	\$ 47.427	\$ 2.300	\$ 48.778	\$ 47.356	\$ 1.422

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-17: Ahorro del precio generalizado por cada estrato socioeconómico

Fuente: Elaboración propia

Este análisis permite obtener apreciaciones importantes respecto a las conclusiones obtenidas cuando se analiza únicamente el tiempo, en ese sentido la ganancia de tiempo fue mayor para los estratos más bajos. Sin embargo, al realizar hacer el análisis en función del precio generalizado los resultados que se obtienen son diferentes.

Por un lado, el estrato 4 es el que mayor ganancia tiene en el precio generalizado, esto fundamentado en el valor de la hora que tienen estos usuarios en relación con el tiempo que se ahorran con la incorporación de las nuevas troncales. Después continúa el estrato 1 y 2 en donde su ahorro en precio se encuentra alrededor de los \$3.000 por trayecto. En ese sentido, el estrato 3 y 5 presentan un ahorro en precio muy similar, a pesar de tener un valor del tiempo distinto, la diferencia al comparar los dos escenarios es aproximadamente \$2.000.

5.5.2 Ahorro en precio generalizado por ingreso promedio

A continuación, se presenta el mismo análisis en función de los ingresos promedio por hogar.

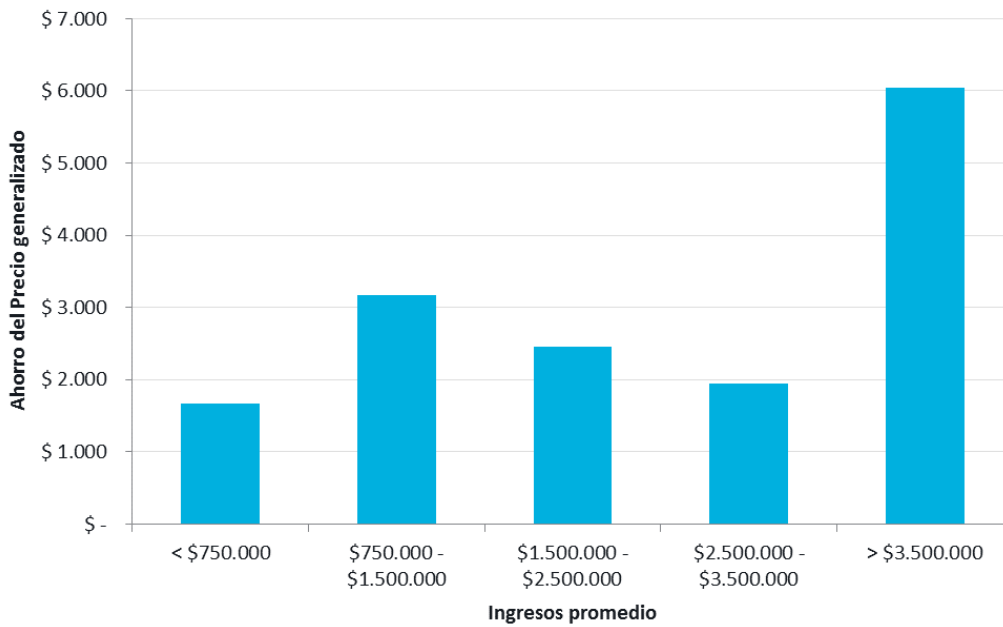
Tabla 5-11: Precio generalizado en función de ingresos promedio

Rango	t1 (hr)	t2 (hr)	t1-t2 (hr)	v (\$/hr)	p	g1	g2	Ahorro
< \$750.000	1,64	1,22	0,42	\$ 3.960	\$ 2.300	\$ 8.794	\$ 7.131	\$ 1.663

Rango	t1 (hr)	t2 (hr)	t1-t2 (hr)	v (\$/hr)	p	g1	g2	Ahorro
\$750.000 - \$1.500.000	1,43	1,05	0,38	\$ 8.336	\$ 2.300	\$ 14.220	\$ 11.053	\$ 3.167
\$1.500.000 - \$2.500.000	1,07	0,90	0,17	\$ 14.476	\$ 2.300	\$ 17.789	\$ 15.328	\$ 2.461
\$2.500.000 - \$3.500.000	1,00	0,91	0,09	\$ 21.684	\$ 2.300	\$ 23.984	\$ 22.032	\$ 1.952
> \$3.500.000	1,04	0,87	0,17	\$ 35.509	\$ 2.300	\$ 39.229	\$ 33.193	\$ 6.036

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-18: Ahorro del precio generalizado por cada estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis del precio generalizado en función de los ingresos promedio, se llega a una conclusión muy diferente que para el caso de los estratos socioeconómicos, en ese sentido se puede concluir que las personas con ingresos superiores a \$3.500.000 tienen el mayor ahorro en el precio generalizado, esto porque su valor del tiempo es mucho mayor a comparación de la ganancia en tiempo que hay, por otro lado, los usuarios con ingresos menores a \$750.000, aunque tienen una ganancia importante en tiempo, su valor del tiempo es bajo y en términos de precio generalizado, la ganancia no es mucha.

Finalmente, el análisis de esta sección permite visualizar que, si bien la ganancia en tiempos promedio de viaje es mayor para los usuarios con condiciones económicas desfavorables, cuando se habla de precio generalizado hay una ganancia importante para usuarios que tienen un valor del tiempo mayor.

6. Análisis de Resultados

El modelo de accesibilidad permitió hacer el análisis del sistema de transporte público de Bogotá (componente troncal, los alimentadores y el acceso peatonal) en función del tiempo promedio de viaje, caracterizando los usuarios a partir de sus condiciones económicas y planteando diferentes escenarios para evaluar las implicaciones que tiene hacer cambios en la red actual.

Esta herramienta se utilizó para determinar los tiempos promedio de viaje en los usuarios categorizados por ingresos promedio y estratos socioeconómicos de la ciudad de Bogotá, es decir, la accesibilidad media global de la red troncal actual de Transmilenio respecto de la red proyectada.

El hecho de poder identificar si el nivel de accesibilidad de la red troncal a los sectores poblacionales que mayor necesidad tiene del servicio de transporte público ayuda a ratificar la función social que ha de cumplir la planificación del transporte, más allá de solo obedecer a un esquema basado en demanda.

6.1 Modelo de Accesibilidad

El modelo de accesibilidad, tal y como se observó en el marco conceptual es una herramienta de planeación de gran utilidad para los diferentes sistemas de transporte, pues presenta la ventaja de mostrar resultados importantes a partir de las modificaciones que se pueden generar en una determinada red, es decir que es una herramienta de planeación del transporte que no está basada en la demanda sino en la oferta.

Hoy en día, el mundo del transporte intenta migrar a una movilidad sostenible, potenciando el uso del transporte público y los sistemas no motorizados, la metodología utilizada en el presente estudio también presenta una ventaja en ese sentido, pues puede ser utilizada

para todo tipo de modos, obteniendo resultados importantes para su planificación y operación.

En cuanto a la metodología se identificó como proceso fundamental la toma de información, pues de la exactitud y precisión que esta tenga serán los resultados obtenidos en el modelo, el cual es muy sensible a las variaciones en velocidades. Adicionalmente, el análisis de las velocidades debe hacerse detalladamente como principal entrada del modelo, teniendo en cuenta las diferentes tipologías que existen. La caracterización de la red debe ser minuciosa, en función del número de carriles, sentidos de la vía, localización de nodos, rutas y diferentes tipos de giro.

El uso de programas computacionales especializados en manejo de información espacial fue de vital importancia para el desarrollo de la metodología del modelo de accesibilidad, pues es a partir de los algoritmos internos de los programas que fue posible calcular los tiempos promedios de viaje de todos los nodos de la red y la interpolación de esta a través del modelo geoestadístico.

Los modelos geoestadísticos han venido tomando fuerza a través de los años, pues logran relacionar las características físicas de una localización geográfica con variables particulares de esta, a partir de esas condiciones similares hacen una interpolación estadística, que tiene una alta precisión tal y como se mostró en las figuras de validación cruzada

El análisis de la red por medio de la distribución espacial de la accesibilidad al sistema (curvas isócronas), permitió observar de manera gráfica sectores dentro de la ciudad de Bogotá que tienen el mismo tiempo promedio de viaje frente a la red evaluada, de esta manera es posible analizar espacialmente cuales son las características de la población que se encuentra dentro de cada curva, en este caso fueron de tipo económico, pero puede hacerse con variables poblacionales, sociales, académicas o de salud.

Finalmente, se concluye que la metodología utilizada para los modelos de accesibilidad presenta resultados importantes frente al análisis espacial de variables y modificaciones en la red evaluada, que pueden contribuir a decisiones importantes de planificación, políticas, sociales, económicas y culturales según sea el caso de estudio. Por ejemplo, en este estudio se pudo identificar las zonas que se favorecen al incorporar nuevas rutas

troncales e identificar según las características económicas de la población, cuáles son los más favorecidos con dichos cambios.

6.2 Escenario Actual

Uno de los objetivos del presente estudio consistía en evaluar la red actual del sistema troncal y de alimentadores con acceso peatonal de la ciudad de Bogotá y hacer un análisis con la población en función de variables económicas como lo es el ingreso promedio y los estratos socioeconómicos, con el fin de conocer si los habitantes de la ciudad más afectados en términos de accesibilidad territorial urbana (en tiempos promedio de viaje para acceder a la red de Transmilenio), son aquellos con ingresos más bajos y de menor estrato socioeconómico.

La accesibilidad media tiende a favorecer los puntos ubicados hacia el centro de una red, ya que, por su ubicación geográfica, los tiempos de viaje desde dichos nodos a los demás son menores, como se pudo observar en la figura presentada de curvas isócronas para el escenario actual, donde la zona central de Bogotá cuenta con los mejores tiempos promedio de viaje.

En el caso del análisis de la accesibilidad media global ofrecida por la red viaria actual, las isócronas representan las zonas que podrían ser alcanzadas en un tiempo promedio de viaje determinado, desde cualquier nodo de la red. Este tiempo de desplazamiento depende de las características físicas y operativas de la vía según variables como la topografía, la velocidad de operación promedio, la localización de paraderos y estaciones, etc. Los resultados obtenidos conjugan todos estos factores.

Los resultados de la investigación permitieron establecer que la curva isócrona de menor tiempo corresponde a la de 0.8 horas, esto quiere decir que la población que se encuentra dentro de la cobertura de esta curva representa aquella que cuenta con más fácil acceso desde cualquier otro nodo de la red analizada. Por otro lado, la curva de 2 horas corresponde a la de mayor tiempo promedio de viaje y la población que se encuentra dentro de ella es la que más tiempo promedio invierte en viajar dentro de la red.

Es importante observar que a medida que las velocidades del sistema disminuyen, los tiempos promedio de viaje se vuelven mayores, se nota un sesgo importante entre el componente troncal y de alimentadores, donde hay una importante disminución de

velocidad debido al cambio de carril exclusivo en el sistema troncal al no tenerlo en el sistema de alimentadores y por ende alrededor de estos nodos los tiempos promedio de viaje aumentan notablemente.

Ahora bien, en términos de ingresos promedio se identificó que efectivamente la población con ingresos menores es la que tienen tiempos promedios de viaje mayores, situación contraria en los de ingresos promedio mayores, que cuentan con los menores tiempos promedio de viaje. Además, es importante resaltar que la diferencia de tiempo entre los más vulnerables económicamente (1,64 h) y los de mejores condiciones (1,04 h) se encuentra alrededor de un 37%.

En cuanto a la cobertura se puede analizar que mientras el 100% de la población que tiene ingresos superiores a \$2.500.000 se encuentra cubierta totalmente en un tiempo promedio de viaje de 1 hora, aquellos con ingresos menores a \$750.000 solo logran la totalidad en 1,9 horas, es decir casi el doble de tiempo. Esto corrobora la hipótesis que los de menores ingresos son los que tienen tiempo promedio de viaje mayores y la cobertura de la población con dichas características alcanza su totalidad en tiempos de viaje mayores a los de mejores condiciones económicas.

Por otro lado, se realizó el mismo análisis con estratos socioeconómicos para la población de Bogotá. Como primera medida se llegó a la conclusión de que se guarda la misma relación que la variable anterior, es decir, que las personas con condiciones económicas más vulnerables son los que mayores tiempos promedio de viaje deben invertir para acceder a la red, en este caso el estrato 1 cuenta con un tiempo promedio de viaje de 1.57 horas, mientras que los de estrato 6 de 0.98 horas, es decir que tienen una diferencia de tiempo de 38%, un poco más baja que la que se presenta en ingresos promedio (43%).

Ahora bien, analizando la cobertura según el estrato socioeconómico se observó que el estrato 1 demora 1.9 horas en tener su población cubierta completamente en tiempos promedio de viaje, pero en este caso la de mayor tiempo es el estrato 2 con 2 horas promedio. El estrato 5 y 6 alcanzan un tiempo de viaje para cubrir totalmente su población a las 1.1 horas, contando con tiempos promedio de viaje de inclusive 0.9 horas para casi el 50% de la población.

Con este escenario se puede concluir que la red actual del sistema cuenta con tiempos de viaje promedio mayores para la población con ingresos menores y estratos más bajos.

6.3 Escenario Futuro

El escenario futuro consiste en evaluar el sistema actual agregándole las nuevas troncales propuestas por la actual administración y analizar como sería la nueva distribución de tiempos promedios de viaje para la población según sus ingresos promedio y los estratos socioeconómicos.

Ya de entrada se pudo observar una importante ganancia de tiempo a comparación del escenario actual, pues se encuentra que, aunque la curva isócrona de menor tiempo es la de 0,8 horas, esta tiene una cobertura de área mucho mayor que el escenario anterior. Además, la curva de mayor tiempo disminuye de 2 horas a 1,3 horas, en donde en términos generales se puede concluir que la movilidad de Bogotá presenta un impacto positivo en términos e tiempos de viaje al entrar en funcionamiento las nuevas troncales propuestas.

En términos de ingresos promedio se observó que, si bien hubo una mejoría en tiempos de viaje, se mantiene el patrón de que los de menores ingresos presentan los tiempos promedio de viaje mayores. Para la población con ingresos menores a \$750.000 se observó un tiempo de viaje promedio de 1,22 horas, mientras que 0,87 horas es la población con ingresos superiores a \$3.500.000, es decir, que las personas con ingresos menores deben invertir un 30% de tiempo más para movilizarse.

En términos de cobertura se observó que la totalidad de la población con ingresos menores a \$750.000 lo logra con un tiempo promedio de viaje de 1,3 horas, mientras que los ingresos superiores a \$3.500.000 logran su cobertura total en 0,9 horas, es importante tener en cuenta que en 0,9 horas el 0% de la población con los ingresos más bajos es cubierta.

En cuanto el estrato socioeconómico se mantiene el patrón observado en los otros análisis, el estrato 1 tuvo el tiempo promedio de viaje de mayor respecto a todos los otros estratos, sin embargo, en este caso el estrato 4 fue el que obtuvo mejores tiempos promedio de viaje. Si bien el tiempo promedio de viaje no es directamente proporcional al estrato económico, se observa un continuo patrón en que los que peores condiciones económicas presentan obtuvieron el tiempo promedio de viaje mayor.

Cuando se analizó la cobertura se observó una distribución más homogénea que en el escenario actual, en esta situación los estratos 3, 4, 5 y 6 alcanzan su cobertura total en

un tiempo de viaje promedio de 1.1 horas, mientras que el estrato 2 y 3 lo hacen en 1.3 horas, en donde hay una diferencia en tiempos de viaje de un 15%.

Finalmente, este escenario permite concluir que hubo una ganancia de tiempo para toda la población en el caso de las dos variables económicas, se ratifica que las personas con menos ingresos y de menores estratos socioeconómicos cuentan con tiempos promedios de viaje mayores que el resto de la muestra.

6.4 Escenario Actual vs Futuro

Una de las hipótesis de la presente investigación consistía en obtener que la propuesta de trazado a futuro de la red mejoraría los índices de accesibilidad para los usuarios con ingresos y estratos más bajos, cumpliendo con las políticas planteadas por la actual Alcaldía.

Tal y como se mencionó en el capítulo 3 la actual alcaldía de Bogotá en su plan de Desarrollo pretende generar acciones de tipo integral, orientadas principalmente a las personas en condición de pobreza extrema y quienes se encuentran en mayor grado de vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad.

Con los resultados de este estudio se puede concluir que en términos de movilidad al entrar en operación las nuevas troncales de Transmilenio propuestas por la actual administración, se está cumpliendo con la política planteada, pues los principales beneficios de ahorro de tiempo promedio de viaje se evidencian en la población con mayor vulnerabilidad socioeconómica, tanto aquellos con ingresos menores como los de estratos socioeconómicos bajos.

Ahora bien, respecto a los ingresos promedio se observó que la ganancia de tiempo para los habitantes con los ingresos más bajos, es decir, menores a \$750.000, es un 55% mayor que la población con ingresos superiores a \$3.500.000, por otro lado, la ganancia de tiempo fue disminuyendo en función de que aumentarían los ingresos de los ciudadanos.

Una de las razones fundamentales que generó obtener estos resultados es el alcance de las nuevas troncales propuestas, pues sus trazados llegan a localidades las cuales actualmente solo pueden movilizarse en sistema alimentador, por ende, estos usuarios tendrán la posibilidad de utilizar el sistema de BRT que es mucho más rápido, disminuyendo en gran porcentaje sus tiempos de viaje.

Cuando se generaron las curvas de cobertura se pudo observar que los usuarios con ingresos menores a \$750.000 cubren la totalidad de su población en un rango entre 14% y 36% de porcentaje de tiempo de ahorro, mientras que el máximo porcentaje de ahorro en aquellos con ingresos superiores a \$2.500.000 es del 17%. Es importante resaltar que más del 50% de la población de ingresos bajos presenta ahorros de tiempo superiores al 25%, es decir, que esta modificación de la red podría favorecer a una gran proporción de los usuarios de condiciones económicas vulnerables.

Por otro lado, al analizar los estratos socioeconómicos se corrobora que no solamente la hipótesis se cumple para ingresos promedio, sino que también lo hace para esta variable. Es decir, que las personas con estratos socioeconómicos más bajo de la ciudad son los que presentaron un porcentaje de ahorro de tiempo mayor.

La ganancia de tiempo promedio de viaje para el estrato 1 fue un 54% mayor que la del estrato 6. El 45% de la población total corresponde a habitantes de estrato 1 y 2, es decir, que los ahorros de tiempo mayores favorecen a casi la mitad de la población. Para este caso el estrato 4 fue el que obtuvo ahorro en tiempos de viaje menores en comparación con el resto de la población, sin embargo, son valores muy similares al estrato 5 y 6.

Al analizar la cobertura de los porcentajes de ahorro según el estrato socioeconómico se observó que el estrato 1 presenta un rango de ahorro entre el 8% y el 36%, y más de la mitad de su población tiene ahorros superiores al 26%. Por otro lado, los estratos 4, 5 y 6 no presentan ahorros superiores al 14%. Para el estrato 3 se observó ahorros del 6% al 20%, donde la mitad de su población no supera el 15% de ahorros con los cambios generados en la red actual.

En términos generales se observó que, si bien hay un ahorro en tiempos de viaje en toda la red analizada, el porcentaje es mayor para los usuarios más vulnerables de la red, en los dos casos analizados, estratos socioeconómicos e ingresos promedio por hogar.

Finalmente, se evidencia que en un futuro con los cambios planteados habría ganancia de tiempo promedio de viaje para todos los bogotanos que acceden al componente troncal y de alimentadores del actual Sistema Integrado de Transporte público, lo que se vería reflejado directamente en la economía de la ciudad pues sus habitantes estarían invirtiendo menos tiempo en transportarse y por ende, este tiempo podría utilizarse en otras actividades, potenciando así la calidad de vida de todos los usuarios.

6.5 Asequibilidad en el transporte público

Si bien la presente investigación hace un énfasis especial en la accesibilidad del transporte público, es importante tener en cuenta que no es la única cualidad con la que este debe contar. Seguridad, comodidad, eficacia, frecuencias continuas, amigable con el medio ambiente y asequibilidad son variables importantes que se deben evaluar a la hora de planificar e implantar determinado sistema de transporte.

La asequibilidad es la capacidad que tiene el usuario de pagar la tarifa para acceder al sistema transporte, se pudo llegar a la conclusión de que en Bogotá los costos de transporte de un habitante representan un 17% sobre el valor del salario mínimo legal vigente, lo que es un porcentaje alto teniendo en cuenta que en muchos casos el salario mínimo representa el sustento de un hogar completo y, por lo tanto, el porcentaje de costos en transporte puede llegar a ser mayor.

También se analizó la tasa de crecimiento que ha tenido la tarifa del sistema troncal a lo largo de su historia respecto a la tasa del aumento del salario mínimo y se observó que en algunos periodos el incremento porcentual de la tarifa fue mayor, es decir, que los ciudadanos debían invertir un porcentaje mayor de su salario mínimo en transportarse. Es claro que esta situación afecta en mayor medida a la población de escasos recursos trayendo diferentes implicaciones sociales, pues en muchos casos la falta de solvencia económica para pagar el sistema de transporte público les impide llegar a sus lugares de trabajo y por ende no pueden mejorar sus condiciones económicas y sociales.

Es importante entender el transporte público como un derecho para todos los ciudadanos de una región, pues es por medio de este que es posible acceder a diferentes actividades y servicios, como lo son la educación, el trabajo, la salud, las actividades culturales etc. Y cuando no es posible movilizarse para llegar al destino necesario la calidad de vida de los ciudadanos puede disminuir y esto genera implicaciones sociales y económicas.

Finalmente, se concluye que la planeación de las diferentes características que debe tener un sistema de transporte óptimo es de vital importancia para la calidad de vida de los ciudadanos y tienen repercusiones económicas y sociales de gran impacto en una sociedad.

6.6 Precio Generalizado

Una de las aplicaciones importantes que se pudo generar a partir de los resultados obtenidos en el modelo de accesibilidad media global, es decir, los ahorros en tiempo promedio de viaje que tienen los usuarios categorizados por sus ingresos promedio y estrato socioeconómico, es hacer un análisis en términos de precio generalizado.

El precio generalizado es una función que permite evaluar monetariamente en cuanto deben incurrir los usuarios para determinado trayecto al transportarse.

Al realizar este análisis se pudo apreciar, que a pesar de que el ahorro en tiempo promedio de viaje si es mayor para los usuarios de estratos bajos y de menores ingresos, al evaluar el precio generalizado, se obtiene que el estrato 4 y los usuarios con ingresos superiores a \$3.500.000 son los más beneficiados con la entrada en operación de las nuevas troncales.

Por lo tanto, es importante evaluar las ganancias desde diferentes perspectivas para determinar los beneficios tanto en tiempo como en precio para los usuarios.

Si bien la hipótesis del presente trabajo consistía en validar que la ganancia en tiempos promedio de viaje de los usuarios menos favorecidos económicamente con las troncales proyectadas era mayor, y efectivamente se demostró, este tipo de análisis permiten entender la importancia de evaluar el valor del tiempo de los usuarios, y buscar el equilibrio en que tanto la ciudad como su población encuentren beneficios en la modificación de la infraestructura actual, en donde mejore la calidad de vida de los habitantes y por ende, la economía de la ciudad.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

A lo largo del presente trabajo se pudo establecer la utilidad de la metodología de accesibilidad para planeación de transporte público en una escala general, si bien, no es una herramienta para diseño operacional, si es conveniente para comprobar la viabilidad de un proyecto frente a ciertas características, además presenta importantes análisis geoestadísticos que permiten determinar la precisión de los resultados.

A lo largo del presente estudio se hace la evaluación de dos escenarios. En primer lugar, se analizó el Escenario Actual, que comprende la situación de la red de transporte de Bogotá en el 2017 específicamente las rutas troncales y alimentadoras. Al utilizar la metodología de accesibilidad global se pudo observar que los tiempos promedio de viaje menores se encuentran en la zona central de la ciudad, mientras que los mayores están en la periferia. Se puede concluir que no solamente se debe a la localización geográfica de las zonas respecto al centro, sino también, porque muchas de las zonas periféricas son alcanzadas con rutas alimentadoras y estas presentan velocidades mucho más bajas que las de las rutas troncales.

Al comparar las curvas isócronas obtenidas con la distribución geográfica de ingresos promedio y estratos socioeconómicos se concluye que, en ambos casos, los tiempos promedio de viaje son mayores para las personas con menos capacidad económica, es decir, menores estratos y los ingresos más bajos. Mientras que, aquellos con mejores condiciones económicas presentan los mejores tiempos promedio de viaje.

Por otro lado, se hizo un análisis de la red de transporte de Bogotá incorporando las troncales futuras que plantea el actual alcalde de la ciudad. Como primera conclusión al generar las curvas isócronas, se puede observar que la incorporación de las nuevas rutas troncales genera una ganancia de tiempo para toda la ciudad, es decir, que los tiempos promedio de viaje disminuyen para todos los usuarios.

Al desagregar este análisis por ingresos promedio y estratos socioeconómicos se observa que se sigue manteniendo el mismo patrón que en el Escenario Actual, es decir que, los usuarios con condiciones económicas menos favorables continúan con los tiempos promedio de viaje mayores, si bien disminuyen, el comportamiento se mantiene.

Cuando se hace la comparación de los escenarios evaluados, se determina que la incorporación de las nuevas rutas troncales está generando una mayor ganancia de tiempo promedio de viaje para las personas con menores ingresos y estratos más bajos. Si bien, hay ganancias de tiempo en toda la red, porcentualmente los usuarios con condiciones económicas menos favorables están siendo más beneficiados.

Por lo tanto, esta metodología permite concluir que la incorporación de las nuevas rutas troncales planteadas por la actual administración, están mejorando en mayor proporción los tiempos promedio de viaje para los usuarios que presentan menores ingresos promedio y hacen parte de los estratos socioeconómicos más bajos, por lo tanto, disminuyendo la brecha de tiempos que hay dentro de los diferentes usuarios caracterizados por condiciones socioeconómicas.

Uno de los análisis realizados fue el de asequibilidad que permite concluir que no solamente es importante trabajar en los tiempos promedio de viaje de los usuarios, sino también en entender lo que representa el pago de la tarifa del sistema para aquellos con condiciones económicas menos favorables, es decir, que la administración de la ciudad debe velar por un transporte público para todos los usuarios que sea seguro, eficiente, asequible y que dignifique la calidad de vida de la población.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo, se realizó un análisis de precio generalizado que permitió entender lo que significaban los ahorros de tiempo en valores monetarios, por lo tanto, es importante concluir que la metodología planteada junto con análisis de economía del transporte, constituyen una herramienta de planeación del transporte útil e importante desde el punto de vista de la oferta y no de la demanda.

7.2 Recomendaciones

Actualmente en Colombia la metodología utilizada en la presente investigación ha venido siendo desarrollada en el Eje Cafetero, es importante continuar utilizando este modelo en la ciudad de Bogotá pues resulta una herramienta muy útil de planeación.

Como se mencionó anteriormente tiene la versatilidad de utilizarse para el análisis de diferentes modos de transporte, por lo que se recomienda generar estudios similares para el sistema de bicicletas públicas de la ciudad de Bogotá y analizar la sensibilidad e impactos de modificar las localizaciones de las estaciones del sistema.

Con la consolidación del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá, resulta importante desarrollar un modelo de accesibilidad con la totalidad del sistema y evaluar en función de diferentes características económicas de la población las ventajas o desventajas que hay en tiempos promedios de viaje al modificar alguna de las rutas o componentes del sistema.

Una de las ventajas de este modelo es que sirve para hacer análisis en diferentes escalas, por ejemplo, se recomienda trabajar a nivel regional, se pueden sacar estudios importantes al modificar la red viaria actual con las carreteras proyectadas a futuro de los proyectos nacionales de 4G y analizar las ganancias de tiempo promedio de viaje para determinada región.

También, es importante hacer análisis con otro tipo de variables diferentes a las económicas, se recomienda desarrollar estudios asociados a la localización de los centros de salud y la cobertura que estos tienen en tiempos promedio de viaje a los ciudadanos de Bogotá, e identificar la localización óptima que estos deberían tener.

Existe una cantidad de estudios y proyectos que se pueden desarrollar a partir de las diferentes tipologías de accesibilidad, se recomienda continuar implementando su uso en

Bibliografía

- Universidad de los Andes (2015). La triste historia del transporte público en Bogotá [Grabado por Facultad de Ingeniería]. Bogotá: Autor
- Banister, D., & Hall, P. (1981). Transport and public policy planning London. London: Mansell.
- Biehl, D. (1991). The role of Infrastructure in Regional Development. *Infrastructure and Regional Development*. Pion, 300-318.
- Alcaldía de Bogotá (2011). Encuesta de percepción sobre las condiciones y calidad del servicio de Transporte Público Colectivo y TransMilenio. Bogotá: Autor
- Cebollada, Miralles, & Guasch. (2003). Movilidad y Transporte. Opciones políticas para la ciudad. Madrid: Fundación Alternativas.
- Celis & Villalobos (2013). Impacto del sistema integrado de transporte público de Bogotá en la productividad de la empresa Transportes Bermudez S.A. Repositorio Universidad del Rosario.
- Condeço, A. M., Demirel, H., Kompil, M., Navajas, E., & Christidis, P. (2016). The impact of measuring internal travel distances on self-potentials and accessibility. *EJTIR*, 300-318.
- Departamento Administrativo de Planeación (2004). Recorriendo Bogotá, D.C. Una aproximación desde las localidades del Distrito. Bogotá: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). CONPES 3882. Bogotá: Autor
- De Rus, G., Campos, J. & Nombela, G. (2003). Economía del Transporte. Antoni Bosch. Barcelona
- Escobar, D. (2008). Indicadores de accesibilidad del transporte público, diagnosis de partida hacia una ciudad sostenible. aplicación en la ciudad de Manizales (Colombia).
- Escobar, Cadena, & Salas (2015). Cobertura geoespacial de nodos de actividad primaria. Análisis de los aportes de a la sostenibilidad urbana mediante un estudio de accesibilidad territorial. *EIA*, 13-27.

-
- Escobar, D. & Urazán, C. (2014). Accesibilidad territorial: instrumento de planificación urbana y regional. *Revista Tecnura*, Edición especial, 241-253.
- Escobar, D. & García, F. J. (2011). Impacto de los sistemas de transporte tipo cable sobre la movilidad urbana en términos de accesibilidad territorial: Caso Manizales (Colombia). *Acta XV Chileno de Ingeniería de Transporte*.
- Escobar, D. & García, F. (2012). Análisis de accesibilidad a nodos de actividad en Manizales.
- Escobar, D., García, F. & Tolosa, R. (2013). Análisis de accesibilidad territorial a nivel regional. Manizales: Editorial Blanecolor S.A.S.
- Escobar, D., Holguín, J. & Zuluaga, J. (2016). Accesibilidad de los centros de ambulancias y hospitales prestadores del servicio de urgencias y su relación con la inequidad espacial. Caso de estudio Manizales- Colombia. *Espacios*, 20.
- Fransen, K., Neutens, T., Farber, S., De Maeyer, P., Deruyter, G., & Witlox, F. (2015). Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels. Elsevier *B.V.*, 176-187.
- Geurs, K. (2006). *Accessibility, Land Use and Transport: Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Developments and Policy Strategies*. Eburon.
- Geurs, K. & Östh, J. (2016). Advances in the Measurement of transport Impedance in Accessibility Modelling. *EJTIR*, 294-299.
- Geurs, K., & B. van Wee. (2004). Accessibility evaluation of land- use transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 127-140.
- Geurs, K., Ponce Dentinho, T. & Patuelli, R. (2016). *Accessibility, equity and efficiency*. Elgar.
- Gilbert, A. & Garcés, M. (2008). *Bogotá: Progreso, Gobernabilidad y Pobreza*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Hansen, W. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25, 2, 73-76.
- Hernández, D. (2012). Activos y estructuras de oportunidades de movilidad. Una propuesta analítica para el estudio de la accesibilidad por transporte público, el bienestar y la equidad. *EURE*, 117-135.
- Herrera, J. (2015). La región Bogotá-Cundinamarca: dinámica económica y potencialidades. Observatorio de Desarrollo Económico.

- Hine, J. (2009). Transport and Social Exclusion. *International Encyclopedia of Human Geography*. ELSEVIER, 429-434.
- Izquiero, R. (1991). *Transportes un Enfoque Integral*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Camiones, Canales y Puertos de Madrid.
- Jones, P. & Lucas, K. (2012). The social consequences of transport decision-making: clarifying concepts, synthesising knowledge and assessing implications. *J. Transp. Geogr.*, 4-16.
- Karen, L. (2010). *Transport and social exclusion: where are we now?* Lisbon, Portugal: WCTR.
- Kauffman, C. (2016). SEMANA. Recuperado el 11 de Octubre de 2016, de <http://www.semana.com/opinion/articulo/transporte-publico-en-bogota-no-beneficia-los-mas-pobres/457391-3>
- Kenyon, K., Lyons, G. & Rafferty, J. (2003). Transport and social exclusion: investigating the possibility of promoting social exclusion through virtual mobility. *Journal of Transport Geography*, 207-219.
- Kunieda, M. & Gauthier, A. (2007). Bonn: Deutsche Gesellschaft .
- Levine, J. & Frank, L. (2006). *Transportation And Land-Use Preferences And Residents' Neighborhood Choices: The Sufficiency Of Compact Development In The Atlanta Region*. Transportation.
- Levinson, D. & Geneidy, A. (2006). *Development of Accessibility Measures*. Minnesota: University of Minnesota's Center for Transportation Studies.
- Linneker, B. (1997). *Transport Infrastructure and Regional Economic Development in Europe: A Review of theoretical and methodological approaches*. University of Sheffield, Department of Town and Regional Planning.
- Litman, T. (2003). *Measuring Transportation: Traffic, Mobility and Accessibility*. ITE Journal, 28-32.
- Litman, T. (2014). *Evaluating Accessibility for Transportation Planning*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.
- Lucas, K., van Wee, B., & Maat, K. (2015). *A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches*. Springer.
- Martens, K. (2006). *Basing Transport Planning on Principles of Social Justice*. Berkeley Planning Journal.

-
- Peñalosa, E. (2016). Plan de Desarrollo para Bogotá 2016-2020. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Puello, L. & Geurs, K. (2016). Integration of unobserved effects in generalised transport access costs of cycling to railway stations. *EJTIR*, 385-405.
- Salas, M., García, P. & Gutiérrez, J. (2016). Distance deterrence, trade barriers and accessibility. An analysis of market potential in the European Union. *EJTIR*, 319-343.
- SITP. (2018). Transmilenio. Obtenido de http://www.sitp.gov.co/Publicaciones/el_sistema/informacion_general
- Steer Davies & Gleave. (2014). Cobros por congestión para la ciudad de Bogota D.C. Bogotá: Autor.
- Subnational Statistics of United Kingdom. (2012). Accessibility Statistics Guidance . United Kingdom.
- Urazán, C., Rondón, H. & Escobar, D. (2013). Vehículo privado vs. Transporte público. Comparación de su operatividad mediante análisis geoestadístico. *Tecnura*, 100-112.
- VTPI. (2006). Online TDM Encyclopedia. Recuperado el 9 de Septiembre de 2016, de Victoria Transport Policy Institute: www.vtppi.org/tdm
- Wachs, M. & Kumagai, G. (1973). Physical accessibility and a social Indicator. *Economic Planning Science*, 437-456.
- Wang, G., Zhong, Y., Teo, C.-P. & Liu, Q. (2015). Flow-based accessibility measurement: The Place Rank. *ELSEVIER*, 335-345.
- Wang, Y., Monzon, A. & Di Ciommo, F. (2015). Assessing the accessibility impact of transport policy by a land-use. *ELSEVIER*, 126-135.
- Younes, C., Escobar, D. A., & Holguín, J. M. (2016). Equidad, Accesibilidad y Transporte. Aplicación explicativa mediante un Análisis de Accesibilidad al Sector Universitario de Manizales (Colombia). *Scielo*.