



EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA PARA LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Informe Resumen

13 de septiembre de 2017



Deloitte Consulting SLU, España
Deloitte Asesores y Consultores Ltda. Colombia

**EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA PARA LA PRIMERA
LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ**
Informe Resumen

Versión 170913-12

13 de septiembre de 2017

Índice

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Introducción. Contenido del Informe | 11 |
| 2 | Antecedentes | 14 |
| 3 | Objetivos de la evaluación socioeconómica | 16 |
| 3.1 | Objetivos generales | 16 |
| 3.2 | Objetivos específicos | 16 |
| 4 | Metodología utilizada | 18 |
| 4.1 | Fases y metodologías para la evaluación socioeconómica | 18 |
| 4.2 | Identificación y cuantificación de impactos en los proyectos de transporte urbano | 19 |
| 4.3 | Análisis costo beneficio en proyectos de Metro | 20 |
| 4.4 | Metodología costo/beneficio empleada para el proyecto del metro de Bogotá: costos evitados | 22 |
| 5 | Identificación y descripción de los impactos | 24 |
| 5.1 | Descripción y análisis de los impactos a considerar inicialmente | 24 |
| 5.2 | Impactos directos | 25 |
| 5.3 | Impactos indirectos o externalidades | 27 |
| 5.4 | Otros impactos no contemplados | 30 |
| 5.5 | Resumen de los Impactos considerados en este estudio | 31 |
| 6 | Fuentes de información primaria: encuesta DAP y preferencias declaradas | 33 |
| 6.1 | Programa de trabajo de campo: objetivos de la encuesta | 33 |
| 6.2 | Diseño muestral | 33 |
| 6.3 | Cuestionario | 35 |
| 6.4 | Breve descriptivo de los resultados | 35 |
| 7 | Fuentes de información secundaria | 47 |
| 7.1 | Principales fuentes informativas | 47 |
| 7.2 | El modelo de demanda | 50 |
| 8 | Definición de escenarios | 51 |
| 8.1 | Consideraciones generales sobre los escenarios | 51 |
| 8.2 | Escenario Base | 53 |
| 8.3 | Escenario de metro elevado | 53 |
| 8.4 | Escenario de metro subterráneo | 54 |
| 9 | Estimación de costos directos | 55 |
| 9.1 | Precios económicos (precios-sombra) y su aplicación | 55 |
| 9.2 | Estimación del Capex y Opex del proyecto en precios económicos | 56 |
| 9.3 | Resumen de costos directos | 70 |
| 10 | Cuantificación de impactos | 71 |

| | | |
|------|---|-----|
| 10.1 | El modelo de demanda | 71 |
| 10.2 | Caso Base..... | 73 |
| 10.3 | Valor del tiempo | 78 |
| 10.4 | Ahorros de tiempo | 81 |
| 10.5 | Costos de operación del transporte público | 82 |
| 10.6 | Costos de operación de vehículos privados..... | 89 |
| 10.7 | Ahorros en la accidentalidad | 92 |
| 10.8 | Ahorros en las emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero | 97 |
| 10.9 | Otros impactos no cuantificados, que se consideran en la evaluación cualitativa | 100 |
| 11 | Modelo costo/beneficio | 109 |
| 11.1 | Hipótesis generales e indicadores | 109 |
| 11.2 | Análisis de sensibilidad..... | 110 |
| 12 | Resultados del proyecto de metro elevado y comparación con el proyecto de Metro Subterráneo | 111 |
| 12.1 | Caso Base..... | 111 |
| 13 | Bibliografía..... | 114 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Identificación de impactos en proyectos de transporte | 19 |
| Tabla 2 Benchmark de análisis costo/beneficio en proyectos de metro | 20 |
| Tabla 3 Impactos y su medición | 24 |
| Tabla 4 Impactos considerados en el análisis CB e impactos tratados de manera cualitativa | 31 |
| Tabla 5 Número de hogares por dominio | 34 |
| Tabla 6 Tamaño de muestra de hogares por Dominio..... | 35 |
| Tabla 7 Encuestas realizadas y factor de expansión | 37 |
| Tabla 8 Cálculo del error final | 37 |
| Tabla 9 Cálculo del <i>deff</i> final | 37 |
| Tabla 10 Impactos del proyecto | 41 |
| Tabla 11 Posturas..... | 42 |
| Tabla 12 Posturas..... | 42 |
| Tabla 13: información secundaria..... | 47 |
| Tabla 14 Escenarios de infraestructura contemplados en el análisis | 52 |
| Tabla 15: Razones precio-cuenta..... | 56 |
| Tabla 16 Metro elevado. Composición del Capex | 57 |
| Tabla 17 Metro Elevado. Composición del CAPEX de obra civil..... | 57 |
| Tabla 18 Metro Elevado. Costo de la Obra civil a efectos del modelo Costo - Beneficio | 57 |
| Tabla 19 Metro Elevado. Composición del Capex de los Equipos | 58 |
| Tabla 20 Metro Elevado. Costo de los Equipos a efectos del modelo Costo - Beneficio | 58 |
| Tabla 21 Metro elevado. Composición del Capex del Material Rodante..... | 58 |
| Tabla 22 Metro Elevado. Costo del Material Rodante a efectos de Costo - Beneficio | 59 |
| Tabla 23 Clasificación del Capex a efectos de cálculo de precios-sombra | 59 |
| Tabla 24 Razones de precio-cuenta utilizados para el metro elevado..... | 60 |
| Tabla 25. Precios de Mercado y Económicos Metro Elevado..... | 60 |
| Tabla 26. Cronograma de ejecución del Metro Elevado..... | 60 |
| Tabla 27 Discriminación del Opex del Metro Elevado..... | 60 |
| Tabla 28. Razones de precio de cuenta Opex metro elevado | 62 |

| | |
|--|----|
| Tabla 29 Total Costo de Opex a precios de mercado y de económicos Metro Elevado | 62 |
| Tabla 30 Discriminación de las actividades del metro subterráneo para precios económicos | 63 |
| Tabla 31 Razones de precio de cuenta Capex metro subterráneo..... | 63 |
| Tabla 32 Precios de Mercado y Económicos Metro Subterráneo | 64 |
| Tabla 33 Cronograma de inversión del metro subterráneo | 64 |
| Tabla 34. OPEX del metro subterráneo (COP2014) | 64 |
| Tabla 35. OPEX del metro subterráneo (COP2016) | 64 |
| Tabla 36 Metro Subterráneo. Descomposición del Opex..... | 65 |
| Tabla 37 Metro Subterráneo. Discriminación por capítulos del Opex a efectos de aplicación de precios económicos | 65 |
| Tabla 38 Metro Subterráneo. Razones de precio de cuenta Opex | 65 |
| Tabla 39 Metro Subterráneo. Total Costo de Opex a precios de mercado y de económicos.. | 65 |
| Tabla 40 Troncales de Transmilenio en el escenario de Metro elevado. Costo de la infraestructura Av. Ciudad de Cali, Av. 68 y Troncal Boyacá | 66 |
| Tabla 41 Troncales de Transmilenio en el escenario de Metro elevado. Costo de la infraestructura Avenida Séptima | 67 |
| Tabla 42 Troncales de Transmilenio. Discriminación de costos a efectos de precios económicos | 67 |
| Tabla 43 Troncales de Transmilenio. Razones de precio-cuenta | 67 |
| Tabla 44 Precios de Mercado y Económicos troncal Boyacá (Autosur - Calle 26) | 68 |
| Tabla 45 Precios de Mercado y Económicos troncal Avenida 68 | 68 |
| Tabla 46 Precios de Mercado y Económicos troncal Ciudad de Cali | 69 |
| Tabla 47 Precios de Mercado y Económicos troncal Avenida Séptima y prolongación Caracas | 69 |
| Tabla 48 Cronograma de referencia para las troncales Boyacá y Avenida ciudad de Cali | 69 |
| Tabla 49 Cronograma de referencia para la troncal Avenida 68 | 69 |
| Tabla 50. Resumen Capex (precios económicos) | 70 |
| Tabla 51. Resumen Opex (precios económicos)..... | 70 |
| Tabla 52 Caso Medio. Demanda de viajes..... | 73 |
| Tabla 53 Modelo MD-SDM. Vehículos x Km en hora pico (salidas del modelo de demanda) . | 74 |
| Tabla 54 Modelo MD-SdM. Tiempos totales de viaje en hora pico (horas) | 75 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 55 Modelo MD-SdM. Tiempos promedio (min/viaje) | 76 |
| Tabla 56 ahorros de tiempo de los escenarios con metro | 77 |
| Tabla 57 Valor del tiempo. Resultados de la estimación a partir de la encuesta de preferencias declaradas | 80 |
| Tabla 58 Evolución del ingreso per cápita en Bogotá | 81 |
| Tabla 59 Beneficios por ahorros de valor del tiempo | 82 |
| Tabla 60 Costos de operación del Transporte Público. Costo financiero / km x tipo de bus .. | 84 |
| Tabla 61: Canasta de costos operación de vehículos públicos..... | 84 |
| Tabla 62 Costos de operación del Transporte Público. Razón precio cuenta según componentes de la canasta de costo..... | 85 |
| Tabla 63: Costos de operación del Transporte Público. Precio económico por km por tipo de bus..... | 85 |
| Tabla 64 Caso Base: Abordajes en transporte público | 86 |
| Tabla 65 Km de servicio en transporte público, corregidos con Abordajes/IPK | 86 |
| Tabla 66 Factores de expansión transporte público | 87 |
| Tabla 67 Distribución de km recorridos por tipos de bus y escenarios | 87 |
| Tabla 68: Costos de operación de vehículos privados. Recursos por 1.000 vehículos-km para rugosidad media con IRI de 4,62m/km | 90 |
| Tabla 69: Costos de operación de vehículos privados. Costos unitarios vehículos privados .. | 90 |
| Tabla 70: Costo económico por kilómetro por tipo de vehículos..... | 91 |
| Tabla 71 Factores de expansión transporte privado | 91 |
| Tabla 72: Costos económicos por tipo de accidentes | 93 |
| Tabla 73: Cálculo tasa de accidentalidad "solo daños" | 95 |
| Tabla 74: Cálculo tasa de accidentalidad "con heridos" | 95 |
| Tabla 75: Cáculo tasa de accidentalidad "con muertos" | 96 |
| Tabla 76 Tasa de accidentes del metro de Nueva York | 96 |
| Tabla 77: Factores de emisión vehículos privados (g/km)..... | 98 |
| Tabla 78: Factores de emisión vehículos públicos (g/km) | 98 |
| Tabla 79 Costo asociado a cada tipo de emisión de contaminantes | 99 |
| Tabla 80 – Resumen de las calificaciones de las alternativas | 108 |
| Tabla 81 Caso base metro elevado – indicadores..... | 111 |

Tabla 82: Caso base metro elevado - importe de cada impacto 111

Tabla 83 Caso base metro subterráneo – indicadores..... 112

Tabla 84: Caso base metro subterráneo - importe de cada impacto 112

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 - Zonas para la toma de información | 36 |
| Figura 2 – Grupo socioeconómico | 38 |
| Figura 3 - Rangos de edad..... | 38 |
| Figura 4 - Estado civil | 39 |
| Figura 5 - Nivel de educación..... | 39 |
| Figura 6 - Licencia de conducción | 40 |
| Figura 7 – Personas promedio por hogar | 40 |
| Figura 8 - Ingresos promedio..... | 41 |
| Figura 9 – Fotos comparativas para determinar el impacto estético | 43 |
| Figura 10 – Cantidad de viajes al día por persona..... | 43 |
| Figura 11 – Cantidad de viajes al día por persona..... | 44 |
| Figura 12 – Modo de transporte seleccionado..... | 44 |
| Figura 13 – Preferencia del viaje | 45 |
| Figura 14 – Afectación por transbordos | 45 |
| Figura 15 – Porcentaje de costos de viajes | 46 |
| Figura 16 Participación del Transporte público en la movilidad motorizada | 74 |
| Figura 17 Tiempos de viaje de cada escenario (hora pico) | 76 |
| Figura 18 Ahorros de tiempo en los escenarios con Metro..... | 78 |
| Figura 19 Costos de operación de vehículos públicos..... | 88 |
| Figura 20 Ahorros en costos de operación del Transporte Público | 88 |
| Figura 21 Costos de operación vehículos privados | 91 |
| Figura 22 Ahorros en costos de operación de vehículos privados | 92 |
| Figura 23 Costos de accidentalidad..... | 97 |
| Figura 24 Ahorro en costos de accidentalidad..... | 97 |
| Figura 25 Estimación de costos de emisiones contaminantes | 100 |
| Figura 26 Estimación de beneficios monetarios derivados de la reducción de contaminantes | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura 27 Identificación de árboles afectados..... | 101 |
| Figura 28 Ejemplo de la identificación de las áreas de conservación y consolidación..... | 103 |
| Figura 29 Ejemplo del cálculo de impacto visual | 104 |
| Figura 30 Interferencia del trazado con los cuerpos de agua | 105 |

1 Introducción. Contenido del Informe

- 1.1.1 El presente Informe sobre la Evaluación Socioeconómica de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB) forma parte de la documentación indicada en el CONPES 3882 como necesaria para que el proyecto de la Primera Línea de Metro sea elegible para financiación por la nación.

En efecto, el CONPES 3882 se hace eco de los diez requisitos técnicos exigidos en el CONPES 3677 para acceder a la cofinanciación de la nación. Estos son:

1. Modelación de la demanda de la Región Capital Bogotá – Cundinamarca.
2. Modelo operacional
3. Modelo de costos e ingresos
- 4. Evaluación económica y análisis costos beneficio**
5. Modelo de remuneración
6. Modelo financiero para los componentes elegibles para la financiación del a nación.
7. Integración
8. Priorización
9. Delimitación y distribución de los riesgos de los componentes elegibles
10. Mecanismos de coordinación entre las entidades

- 1.1.2 El CONPES detalla el contenido del requisito 4, objeto del Informe, de la siguiente forma:

- Alcance:

“Estimación de beneficios y costos del proyecto, como mínimo incluyendo los beneficios socioeconómicos (ahorros en tiempo y costo) y ambientales. Comparar dichos beneficios con los costos de inversión y operación, presentar la relación beneficio-costos, el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto. Adicionalmente, en caso de existir, se debe comparar con anteriores versiones de cada proyecto.”

- Entregable

“Documento describiendo el análisis, los supuestos y los resultados de la evaluación económica que considera el análisis costo-beneficio.”

- 1.1.3 En consecuencia, este Informe presenta la metodología, supuestos, análisis y resultados que se han seguido para realizar la evaluación socioeconómica de la línea de metro. Asimismo, y de acuerdo con lo indicado en el alcance, se realiza un análisis comparado con la línea de metro subterránea, promovida en una fase anterior.

1.1.4 Este Informe forma parte de un trabajo más extensor dirigido al análisis de los efectos socioeconómicos de la línea de metro y su evaluación. La consultoría fue contratada en enero de 2017 por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el marco de una cooperación técnica para la realización de *“Evaluación socioeconómica y análisis costo beneficio de la primera línea del metro de Bogotá revisión y evaluación del proyecto primera línea del metro de Bogotá- PLMB¹”*.

La consultoría del BID incluye importantes trabajos adicionales, como la realización de una encuesta de preferencias declaradas y el análisis de los impactos socioeconómicos con metodologías alternativas a la del Costo/Beneficio; en particular, la metodología de *“disponibilidad a pagar”* o DAP.

1.1.5 El Informe se organiza en cinco partes:

1. Planteamiento general de la metodología a seguir, discusión sobre su aplicación a la PLMB, identificación de los impactos a tener en cuenta y propuesta conceptual para llevar a cabo el análisis costo/beneficio.
2. Descripción de la información primaria obtenida; en particular, de la encuesta de preferencias declaradas realizada a una muestra de más de 1.800 bogotanos a efectos de calcular el valor del tiempo que se aplica a los ahorros estimados por el nuevo proyecto.
3. Cálculo de los costos directos de CAPEX y OPEX, así como su conversión en precios sombra para poder ser comparados en el análisis costo/beneficio.
4. Cálculo de los impactos que generan costos y beneficios, principalmente ahorros de tiempo, resultados y metodología de análisis del modelo de demanda utilizado², principal herramienta empleada para determinar los ahorros de tiempo, costos de operación, reducción de accidentes y costo de la emisión de contaminantes.
5. Desarrollo de un modelo costo/beneficio, aplicación de los insumos anteriores y resultados obtenidos.

1.1.6 Cabe indicar que esta consultoría ha realizado una amplia revisión de las distintas metodologías y experiencias en la evaluación de los impactos socioeconómicos. Para ello, se han revisado manuales y recomendaciones de instituciones públicas nacionales y bancos multilaterales, y se han analizado estudios similares realizados para otros sistemas de metros en el mundo.

1.1.7 Fruto de esta reflexión ha sido plantear un análisis de costos y beneficios que sea altamente transparente, evite duplicidades en la consideración de impactos y pueda ser fácilmente monetizable al disponer de los insumos necesarios.

- Transparencia. Todos los insumos se presentan justificados y apoyados por documentación fiable. Cuando un impacto es difícil de medir o cuantificar, se ha optado por no considerarlo o incluirlo en un grupo de impactos “cualitativos”.
- Duplicidades. Como se justificará más adelante, se ha evitado la consideración de impactos que puedan ser contados dos veces. En particular, no se consideran efectos en los precios del suelo o en los desarrollos urbano porque el efecto diferencial de estos precios en fase sin proyecto o con proyecto de metro, entendemos está

¹ Cooperación Técnica BID, no reembolsable ATN/OC-15167-CO

² El modelo de demanda utilizado ha sido el de la Secretaría de Movilidad de Distrito Capital.

considerado en los ahorros de tiempo y en la consiguiente mejora de la accesibilidad de los predios al sistema de transporte. Otro caso sería el efecto de la emisión de contaminantes en las enfermedades y el doble conteo que se derivaría de considerar ambos impactos.

- Impactos monetizables. Siguiendo las recomendaciones del manual *“Value for Money Assessment: Advice Note for Local Transport Decision Makers”* del Departamento de Transporte de UK³, el análisis Costo/Beneficio (ACB) debe avanzar en una primera fase en la identificación y aplicación de los impactos monetizables. En una segunda fase, se analizan los impactos cuantificables y no cuantificables (cualitativos) para complementar el análisis. La distinción entre impactos directamente monetizables e impactos no directamente monetizables es importante para evitar sesgos en los resultados del ACB. En este caso, se ha seguido el criterio de considerar sólo impactos que puedan ser directamente monetizables y sacar del análisis otros impactos cuya conversión en términos monetarios es difícil o poco fiable.

- 1.1.8 Por último, indicar que los resultados del análisis costo/beneficio se presentan según los indicadores habituales, recogidos también en el documento CONPES. Es decir, valor presente neto (VPN), Tasa interna de retorno (TIR) y relación beneficios/costos. En ese sentido, indicar que aunque se ha utilizado la tasa oficial de descuento social del 12%, el estudio incluye un análisis de sensibilidad a un distinto rango de tasas, con un mínimo del 4,4% para un horizonte de 25 años, tasa recomendada por el Banco Mundial para Colombia hasta el máximo del 12% indicado.⁴

³ (UK Department for Transport, 2013)

⁴ (López, 2008)

2 Antecedentes

- 2.1.1 Bogotá fue una de las primeras ciudades Latinoamericanas en plantear la necesidad de avanzar en un sistema integrado de transporte que incluyera corredores troncales de alta capacidad. Los primeros estudios sobre el metro de la ciudad se inician hace más de 50 años, dándose un primer impulso al diseño del nuevo metro en fechas tan tempranas como principio de los años setenta.
- 2.1.2 Durante la década de los años ochenta y noventa, las administraciones distritales avanzaron en distintos estudios de pre inversión de una línea de metro. Cabe mencionar, entre otros, los realizados por Sofretu-Ineco-CS (1981) y JICA (Japan International Cooperation Agency) en 1996.
- 2.1.3 En 1998 se publica el documento CONPES 2999 que presenta ya una red de metro junto con corredores troncales de autobús. Este documento fue objeto de seguimiento mediante el CONPES 3093 de 2000 “Sistema de Servicio Público Urbano de Transporte Masivo de Pasajeros para la Ciudad de Santa Fe de Bogotá”, que permitió la implementación del actual Transmilenio, en cuatro fases durante un periodo de quince años.
- 2.1.4 Ya en 2009, el Decreto 309 incorpora en el Plan Maestro de Movilidad las estrategias de movilidad y se reitera la necesidad de implementar un sistema metro en la ciudad de Bogotá como respuesta a la creciente demanda de transporte masivo.

También en 2009, se contrata la consultoría para el “*Diseño conceptual de la Red de Transporte Masivo Metro y diseño operacional, dimensionamiento legal y financiero de la primera línea en el marco del Sistema Integrado de Transporte Público –SITP- para la ciudad de Bogotá*”. Este trabajo incluye ya un trazado de la primera línea.

- 2.1.5 En julio de 2010 se aprueba el CONPES 3677 que contiene un análisis de la movilidad global de la Región Capital, presenta un diagnóstico de las condiciones de transporte y describe el grado de avance en la estructuración de algunos de los proyectos que podrían ser cofinanciados por la nación.

Este mismo documento establece los requisitos técnicos y financieros que deben cumplir los proyectos postulados por el Distrito Capital para acceder a la cofinanciación de la Nación, requisitos que serán mantenidos en el documento CONPES 3882 (2017).

- 2.1.6 En el año 2013, el Distrito contrató los estudios de ingeniería básica avanzada y la realización de los estudios de suelos. Con esta revisión, entre 2013 y 2014, la administración distrital realizó los estudios de ingeniería fase II, aunque algunos componentes se llevaron a nivel de detalle con el fin de disminuir la incertidumbre en los costos.

La propuesta desarrollada tanto en el Diseño conceptual como en los estudios de ingeniería era la de una línea de metro subterráneo.

- 2.1.7 Simultáneamente, y para cumplir con uno de los diez requisitos establecidos en el CONPES 3677, sobre la necesidad de realizar un “Evaluación Económica y Análisis Costo Beneficio”, se contrata la consultoría “*Evaluación Socioeconómica ex-ante del Proyecto, Primera Línea del Metro de Bogotá*”, que se presenta en 2014.

- 2.1.8 En el año 2015, a través de un convenio con el Distrito, la Financiera de Desarrollo Nacional (FDN) contrató la realización de un estudio de ingeniería de valor con objeto de revisar diseños y costo de los estudios de ingeniería realizados previamente.

- 2.1.9 Con el nuevo equipo de gobierno para la alcaldía del Distrito-Capital, la Administración Distrital incluye en el Plan Distrital de Desarrollo 2016-2019 “Bogotá Mejor para Todos”, el programa Mejor Movilidad para todos. El eje estructurador de este programa es el Sistema Integrado de Transporte Masivo, compuesto por Transmilenio y Metro.
- 2.1.10 En lo que se refiere al Metro, se plantea como objetivo la realización de los estudios necesarios para la contratación e inicio de la construcción de la primera línea. A tal efecto, y dadas las nuevas orientaciones en materia de movilidad urbana y el complicado contexto macroeconómico colombiano, con importantes pérdidas de valor del Peso colombiano frente al Dólar americano, el equipo de gobierno plantea un cambio conceptual para la primera línea. Este cambio incluye el análisis de otras tipologías distintas a la de metro subterráneo, la revisión del trazado y la inclusión, dentro del techo de financiación previsto, de nuevas troncales de Transmilenio que aprovecharían los menores costos del metro elevado frente al subterráneo. De esta manera se diversificaba la inversión favoreciendo al conjunto del sistema masivo y no sólo a la línea de metro.
- 2.1.11 En febrero de 2016, la nueva administración distrital a través de la FDN, contrató el “ Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio”. Este estudio incluye un análisis preliminar de tipo costo/beneficio y una evaluación multicriterio sobre los impactos comparados de las distintas alternativas de metro.
- 2.1.12 Los criterios empleados en la evaluación multicriterio de las ocho alternativas fueron: i) optimización de la inversión de los recursos; ii) beneficios sociales derivados de la implementación del proyecto; iii) riesgos tanto geotécnicos como sísmicos, e impactos sobre la explotación de la línea y sobre el territorio que la atraviesa; iv) impactos del proyecto durante el periodo de construcción de las obras; v) coherencia de la inserción del proyecto en la dinámica urbana; vi) restricciones ambientales que podrían impactar las alternativas propuestas, así como la racionalización del uso de los recursos naturales, y menores impactos negativos al medio ambiente; y vii) percepción del usuario del sistema de transporte a partir de su experiencia de viaje. El estudio selecciona como óptima la solución de Metro Elevado, en una primera fase entre el Portal de las Américas y la Calle 72, complementado con tres troncales alimentadoras: a) Avda. Carrera 68 (entre Autosur y Calle 26); b) Boyacá (entre Autosur y Calle 26) y, c) Avda. Ciudad de Cali (entre el límite de Bosa y el Portal de Las Américas)
- 2.1.13 Ya, en 2017, la nueva empresa Metro de Bogotá contrata a través de FDN los estudios de estructuración técnica, financiera y legal, junto a otros estudios complementarios. Entre ellos, y a través de una cooperación técnica del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se contrata la consultoría *“Evaluación socioeconómica y análisis costo beneficio de la primera línea del metro de Bogotá revisión y evaluación del proyecto primera línea del metro de Bogotá- PLMB”*. Los resultados de la consultoría dan lugar a este Informe.

3 Objetivos de la evaluación socioeconómica

3.1 Objetivos generales

- 3.1.1 La realización de obras de infraestructura de transporte genera un enorme interés por parte de las entidades públicas y la ciudadanía en general por la medición del impacto de este tipo de obras en la generación de costos y beneficios y, en efecto, sobre el bienestar de la sociedad.
- 3.1.2 En el caso de la PLMB, un interés como el descrito cobra especial relevancia, tanto por el volumen de inversión como por la visibilidad y significación que tiene un proyecto como este. Por ello, se espera que la sociedad colombiana invierta en el proyecto, si el valor económico de los beneficios sociales supera con creces el valor económico de los costos sociales que se generen por afrontarlo, entendiendo que independientemente del beneficio o costo que generen estos impactos, estos se verán reflejados en un cambio sobre el bienestar de la población en general.
- 3.1.3 Desde este entendimiento, el Informe centra su atención en los aspectos siguientes:
- A lo largo del tiempo, se han realizado varios estudios sobre la rentabilidad socioeconómica de la PLMB. En este sentido, cabe destacar como referente más próximo la *Evaluación Socioeconómica ex-ante del Proyecto "Primera Línea del Metro de Bogotá"* (2014)⁵. Entendemos que la nueva evaluación socioeconómica no puede ser ajena a los mismos y que el producto del análisis costo/beneficio debe facilitar, en la medida de lo posible, su comparabilidad y contraste con los estudios anteriores.
 - Lo anterior no quiere decir que se asuman como propias las orientaciones metodológicas de trabajos anteriores; en particular, en aquellos aspectos que todavía se encuentran sujetos a discusión y opinión (por ejemplo, la existencia o no de doble contabilidad de beneficios a la hora de considerar contemporáneamente el ahorro de tiempo de viaje y la variación del precio del suelo, o la necesidad de aislar los beneficios de la inversión planteada de aquellos derivados de la mejora del conjunto del sistema de transporte).
 - Adicionalmente, la mayor definición técnica de las alternativas y la generación de nuevas opciones como el Metro elevado, conlleva la necesidad no sólo de evaluar la bondad del proyecto frente al escenario "sin proyecto", sino la de capturar de manera efectiva aquellos aspectos diferenciales de cada alternativa susceptibles de traducirse en distintos costos o beneficios para la sociedad.

3.2 Objetivos específicos

En línea con el objetivo general anteriormente enunciado, el Informe centra su atención en los siguientes objetivos específicos:

- 3.2.1 *Establecer una delimitación clara del proyecto y sus alternativas:* El proyecto debe estar claramente delimitado como unidad de análisis independiente. En particular, las actuaciones previstas en el mismo deben conducir a un objetivo específico y a un conjunto coherente y

⁵ (IDU I. d., 2014)

coordinado de medidas y funciones. Este aspecto es particularmente relevante a la hora de definir el perímetro hasta donde se percibirán los costos y beneficios que deben ser incluidos en el análisis.

- 3.2.2 *Establecer una definición clara del “escenario contra factual” o “escenario Base” de comparación:* Dado el carácter relativo de la evaluación costo-beneficio, es de capital importancia definir con sumo cuidado el escenario Base de comparación o escenario contra factual contra el que se medirán las alternativas de proyecto propuestas.

En el caso de la PLMB, la definición del escenario Base exige establecer cuál sería la evolución del sistema de transporte en caso de no realizar intervención alguna (escenario de no hacer nada) o de realizar un mínimo de actuaciones dirigidas a evitar su colapso (escenario de hacer lo mínimo).

- 3.2.3 *Identificar los costos y beneficios de las alternativas planteadas:* Aun cuando puedan existir costos y beneficios de difícil valoración por la inexistencia de mercados específicos para los mismos, es necesaria su identificación, en aras de disponer de un mapa lo más completo posible de los potenciales impactos generados por las distintas alternativas planteadas. En todo caso, y como se plantea en apartados posteriores, se ha optado por incluir los impactos claramente monetizables, a los que se puede acceder mediante fuentes informativas fiables.
- 3.2.4 *Monetizar en la medida de lo posible los costos y beneficios identificados:* Para ello se propone combinar el análisis de experiencias de evaluaciones similares en otras ciudades, la estimación individual de costos y beneficios con metodologías generalmente aceptadas y la estimación de la disponibilidad a pagar de la sociedad (como método capaz de obtener una estimación agregada de los beneficios esperados de las distintas alternativas).
- 3.2.5 *Determinar el valor presente neto social para las distintas alternativas:* A partir de la selección de la tasa de descuento más adecuada, se requiere descontar los flujos futuros de costos y beneficios monetizados para estimar el valor presente neto social (VPNS) de cada alternativa. Otros parámetros habituales de comparación son la razón beneficio/costo (B/C) o el cálculo de la tasa interna de retorno social, definida como aquella tasa de descuento que genera un VPNS igual a cero.
- 3.2.6 *Realizar un análisis de sensibilidad de los resultados:* Con el propósito de poder comparar de manera más ajustada las alternativas objeto de evaluación y favorecer así el proceso de toma de decisiones, se plantea llevar a cabo un tratamiento probabilístico de las variables principales del análisis. Para ello se establecerán hipótesis sobre la variabilidad de ciertos insumos (como el CAPEX del proyecto, o el valor del tiempo), realizando un análisis de sensibilidad de los resultados.

Asimismo, el análisis de resultados incluye consideraciones sobre variables referenciales y, en particular sobre la tasa de descuento social, oficialmente fijada en un 12%.

4 Metodología utilizada

4.1 Fases y metodologías para la evaluación socioeconómica

4.1.1 De manera general, el análisis de evaluación socioeconómica busca identificar y cuantificar los efectos tanto directos como indirectos sobre la sociedad, producidos por el desarrollo de un proyecto en específico, con el fin de medir el aporte neto sobre el bienestar social generado por el desarrollo del mismo.

Se pretende determinar si el beneficio neto para la sociedad logra superar el costo, y de esta manera compensar los posibles impactos negativos de dicho proyecto. En este tipo de análisis se tienen en cuenta no solo los efectos directos generados por el proyecto, sino que también se calculan los efectos indirectos los cuales pueden generar tanto un costo como un beneficio para la sociedad.

4.1.2 Para abordar el proceso de implementación de la evaluación socioeconómica⁶ se llevan a cabo tres etapas básicas, las cuales deben ser adaptadas a cada proyecto y a los propósitos que en particular se pretenden buscar con dicho análisis.

- En primer lugar, se clasifican los efectos directos e indirectos, tanto negativos como positivos, generados por el proyecto.
- Se comparan dos escenarios, el base en el cual se da un escenario sin el desarrollo de dicho proyecto y el segundo un escenario con el proyecto implementado, en donde se identifican varios aspectos, como, el costo de oportunidad de la sociedad desde el inicio de construcción del proyecto, los elementos que perdería la sociedad si no se desarrolla el proyecto, cuál sería el sacrificio de la sociedad al implementarse el proyecto y cuáles serían los beneficios de este sacrificio.
- Una vez identificados los efectos de los escenarios con y sin proyecto, es necesario asignarle un valor monetario o de bienestar a cada uno de los aspectos encontrados. A partir de aquí, es necesario desarrollar metodologías que ayuden a cuantificar el impacto de cada uno de estos, ya sea negativo o positivo, para que de esta manera puedan ser comparables. Generalmente, el proceso de monetización se realiza a partir de los precios sombra⁷ (precios económicos o precios cuenta).

4.1.3 En la literatura existen principalmente dos metodologías:

1. Los costos evitados – la cual estima los beneficios percibidos en otros mercados asociados a la implementación de un proyecto de infraestructura pública.
2. La estimación de la disponibilidad a pagar⁸ — la cual es medida según el valor que un sujeto está dispuesto a dar al beneficio o costo que le pueda generar un proyecto determinado.

4.1.4 Finalmente, en ambas metodologías se realiza el flujo de caja, que incluye los efectos directos e indirectos medidos en los pasos anteriores para así determinar la rentabilidad

⁶ Ver (de Rus G. B., 2006), (European Union, 2015), (Transportation Research Board, 2002)

⁷ Los precios cuenta o precios sombra reflejan el bienestar social en términos de valor.

⁸ La disponibilidad a pagar corresponde a la cantidad máxima de dinero que podría pagar un individuo por adquirir un determinado bien o beneficio.

social del proyecto mediante el cálculo del valor presente neto social⁹ (VPNS), la razón beneficio costo¹⁰ o la tasa interna de retorno.

4.2 Identificación y cuantificación de impactos en los proyectos de transporte urbano

- 4.2.1 De la misma manera que en los análisis socioeconómicos en general, el objetivo de la evaluación de la infraestructura de transporte es estimar y evaluar los costos y beneficios de un proyecto o política establecidos, y asegurarse de que los recursos, que suelen ser escasos, se asignan eficientemente con el fin de maximizar el bienestar social.
- 4.2.2 A pesar de que el enfoque de Análisis Costo-Beneficio (ACB) ha construido una base para la evaluación de los impactos de varios proyectos de transporte, muchas veces excluye algunos efectos indirectos sobre agentes económicos, entorno urbano y otros efectos causados por proyectos de infraestructura urbana. Por esta razón se introduce un enfoque complementario en los ACB de transporte que permite una evaluación más amplia de los proyectos (Ustaoglu, 2014).
- 4.2.3 En la Tabla 1 podemos ver a título de ejemplo cómo, para los ACB de transporte, se tienen en cuenta más efectos externos a los proyectos, los cuales muchas veces no son calculados para proyectos de ACB tradicionales. Esta tabla es una aproximación orientativa de algunos de los análisis complementarios que se tienen en los estudios de ACB, pero no corresponden a los impactos que se identifican y miden en este Informe.

Tabla 1 Identificación de impactos en proyectos de transporte

| ACB tradicional | Análisis complementario |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • BENEFICIOS DEL USUARIO <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de viaje: Los ahorros de tiempo se valoran con base en el costo de oportunidad. - Costos de funcionamiento del vehículo: Se identifican ahorros de costos según la variación de su uso. - La seguridad: La valoración se basa en el análisis de riesgo de los accidentes de transporte asociado con un proyecto | <ul style="list-style-type: none"> • EFECTOS SOBRE LA RED DE TRANSPORTE <ul style="list-style-type: none"> - Viajes inducidos: Los beneficios y costos de los usuarios se valoran de acuerdo con el impacto en el proyecto al inducir nuevos viajes o causar cambios en los extremos del viaje o en los tiempos de viaje. - Cambio modal: Basado en el modelado y la evaluación de los cambios de modalidad, es decir, conmuta entre los modos de viaje. - Confiabilidad: Está relacionado con la variación y consistencia en los tiempos de viaje y la confiabilidad relacionada con factores externos - Calidad del servicio de transporte: La calidad del recorrido, el hacinamiento, el ambiente, la calidad de la información, el confort, etc. se valoran mediante el uso de medidas de disponibilidad a pagar • EFECTOS SOBRE MEDIO AMBIENTE <p>El medio ambiente se evalúa teniendo en cuenta los impactos sobre el cambio climático, la acidificación, los recursos naturales, la biodiversidad, la calidad del agua, el ruido, etc.</p> |

⁹ El $VPNS=VPBS-VPSC$, donde $VPBS$ es el valor presente de los beneficios sociales y el $VPSC$ es el valor presente de los costos sociales

¹⁰ La razón beneficio costo está dada por la siguiente fórmula, $\frac{B}{C} = \frac{VPBS}{VPSC}$

| ACB tradicional | Análisis complementario |
|-----------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • EXCEDENTES SOCIOECONÓMICOS <ul style="list-style-type: none"> - Empleo - Eficiencia y rendimiento - Inclusión social - El efecto de uso de la tierra - Accesibilidad |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Ustaoglu, 2014)

4.3 Análisis costo beneficio en proyectos de Metro

4.3.1 A nivel mundial se han realizado varios análisis costo beneficio aplicado al desarrollo de nuevos sistemas de metros o para ampliaciones de líneas de metros existentes, por lo que es un análisis muy común para determinar el bienestar para la sociedad al construir este tipo de infraestructura. En la Tabla 2 podemos ver una comparación de varios análisis costo beneficio que se han realizado a diferentes sistemas de metro, con la descripción de los impactos que se tuvieron en cuenta en cada uno de éstos y como se relacionan entre sí.

Tabla 2 Benchmark de análisis costo/beneficio en proyectos de metro

| Metros | México | S. de Chile | Quito | Delhi | Madrid | Londres | Dublín |
|---|--------|-------------|-------|-------|--------|---------|--------|
| Beneficios | | | | | | | |
| Reducción en tiempos de viaje | | | | | | | |
| Liberación de recursos de la economía | | | | | | | |
| Disminución de Emisiones contaminantes | | | | | | | |
| Mejora en la salud | | | | | | | |
| Disminución de daños materiales | | | | | | | |
| Aumento visibilidad | | | | | | | |
| Dinamismo en la movilidad | | | | | | | |
| Generación de empleo | | | | | | | |
| Ahorro en el consumo de combustible | | | | | | | |
| confort y convivencia | | | | | | | |
| Valor salvamento | | | | | | | |
| Ahorro en el costo de operación de los vehículos | | | | | | | |
| Disminución en la exposición al ruido | | | | | | | |
| Costos | | | | | | | |
| Obras civiles | | | | | | | |
| Sistemas electrónicos | | | | | | | |
| Costos fijos de operación | | | | | | | |
| Costos variables de operación | | | | | | | |
| Costos de mantenimiento | | | | | | | |
| Costos pre-operativos | | | | | | | |
| Costos para los usuarios | | | | | | | |
| Costos para el transporte colectivo | | | | | | | |
| Adquisición de edificios cercanos | | | | | | | |
| Externalidades | | | | | | | |
| Incremento en el tiempo de viaje durante el período de construcción | | | | | | | |
| Desgaste de vehículos privados | | | | | | | |
| Incremento gases contaminantes por privados | | | | | | | |

| Metros | México | S. de Chile | Quito | Delhi | Madrid | Londres | Dublín |
|---|--------|-------------|-------|-------|--------|---------|--------|
| Desgaste de vehículos públicos | | | | | | | |
| Incremento gases contaminantes por públicos | | | | | | | |
| Valorización del suelo | | | | | | | |
| Valorización de las propiedades urbanas | | | | | | | |
| Disminución de la congestión vehicular | | | | | | | |
| Mejoramiento de la red vial | | | | | | | |
| Reducción de gases contaminantes | | | | | | | |
| Mejoramiento del espacio | | | | | | | |
| Cambios en el uso del suelo | | | | | | | |
| Reducción seguridad pública | | | | | | | |
| Reducción tiempos de desplazamiento | | | | | | | |
| Transporte público y taxis | | | | | | | |
| Sustitución de recursos | | | | | | | |
| Incremento ingresos fiscales | | | | | | | |
| Disminución en el costo operacional | | | | | | | |
| Reducción accidentalidad | | | | | | | |
| Disminución demanda otros tipos de transporte | | | | | | | |
| Variación tiempo de viaje | | | | | | | |
| Indicadores | | | | | | | |
| Valor Neto Actual beneficios sociales | | | | | | | |
| Valor Neto Actual de costos sociales | | | | | | | |
| Valor Neto Actual Social | | | | | | | |
| Tasa Interna de Retorno Social | | | | | | | |
| Excedente neto social | | | | | | | |
| Rentabilidad sobre los activos | | | | | | | |
| Rentabilidad sobre el patrimonio | | | | | | | |
| Matrices DOFA | | | | | | | |
| Razón costo beneficio social | | | | | | | |
| Índice de cobertura | | | | | | | |
| Indicador de costo del tiempo de viaje | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

- 4.3.2 Se puede ver cómo en cuestión de beneficios hay una homogeneidad en la medición de algunos de los impactos, como en la reducción en los tiempos de viaje, que todos los estudios los calculan. Otro rubro que se repite en al menos cuatro estudios es el de la disminución en emisiones contaminantes.
- 4.3.3 En cuanto a los costos, en los diferentes estudios existe un patrón claro a partir de la medición de los costos directos de inversión y operativos y de mantenimiento. Por su parte en la identificación de impactos externos, cada proyecto identifica impactos diversos y no siempre se consideran posibles conteos duplicados. Esta es la razón por la que el presente análisis se realiza sobre una relación limitada de impactos, que no sean susceptibles de doble contabilidad.

4.4 Metodología costo/beneficio empleada para el proyecto del metro de Bogotá: costos evitados

4.4.1 La evaluación socioeconómica tiene como objeto identificar y cuantificar cuál es la contribución del proyecto al bienestar de la sociedad. Para ello se parte de la consideración de que cuando se destinan recursos para la ejecución del proyecto, se está renunciando al mismo tiempo a los beneficios que se habrían obtenido si esos recursos se hubieran dedicado a otras necesidades. Así, teniendo en cuenta el hecho de que los recursos disponibles en cualquier sociedad son limitados y sus usos son excluyentes, es preciso comparar los beneficios esperados del proyecto con su costo de oportunidad. Si los beneficios sociales superan a aquellos beneficios a los que la sociedad renuncia en la mejor alternativa disponible, entonces puede afirmarse que dicho proyecto contribuye a aumentar el bienestar social.

4.4.2 El (ACB) es una técnica de evaluación económica de actuaciones, en este caso sobre infraestructuras de transporte, que se basa en comparar las ventajas e inconvenientes medidas en una unidad común. Las particularidades de esta metodología, tal y cómo se describen en los distintos manuales de referencia (de Rus G. B., 2006), (European Union, 2015), (Transportation Research Board, 2002) (CEDEX, 2010), incorpora la intensidad de las preferencias de los individuos en la sociedad con respecto a los bienes y servicios en un sentido amplio, y expresa estas preferencias en una unidad común (valores monetarios) mediante técnicas económicas para medir las equivalencias monetarias.

Por tanto, el objetivo del ACB es identificar y monetizar todos los efectos posibles, a fin de determinar los costos y los beneficios de los distintos proyectos que componen cada uno de los escenarios analizados. A continuación, se agregan los resultados (beneficios netos) y se extraen conclusiones sobre si el proyecto es deseable y sobre si merece la pena ponerlo en marcha.

4.4.3 La evaluación económica de un proyecto de transportes debe realizarse de manera incremental, es decir, comparando el equilibrio alcanzado en los mercados de transporte con proyecto, con la situación en dichos mercados sin proyecto. Por lo tanto, es fundamental definir el escenario de referencia con respecto al cual se evalúan las alternativas. La metodología aplicada en el presente análisis busca la comparación de los costos directos e indirectos con los beneficios calculados, siguiendo el método de "**costos evitados**"; es decir, beneficios equivalentes a reducción de costos potencialmente ocasionados.

4.4.4 La metodología de **costos evitados o inducidos** es un método indirecto bastante utilizado para valorar beneficios, que se basa en el cálculo de las pérdidas en las que incurrirían los agentes económicos en caso de no existir la inversión analizada. Dicho análisis puede realizarse en el momento previo a la existencia de los costos evitados (valoración por prevención) o posterior a la misma (valoración por reparación).

4.4.5 Por sus características, el proyecto de la PLMB generará unos beneficios que pueden ser entendidos en su mayoría como resultado de un ahorro en recursos o disminución de costos, debido a una mayor eficiencia en la producción del transporte. Esta mejora de la eficiencia previsiblemente generará menores tiempos de viaje para los usuarios del sistema de transporte, menores costos de operación que los modos de transporte alternativos o menores impactos ambientales para el conjunto de los bogotanos.

4.4.6 En lo relativo a los costos, la perspectiva que se propone en este análisis se alinea con (Litman, 2003), para quien los costos se refieren a las compensaciones por el uso de bienes, servicios o factores, y pueden incluir dinero, tiempo, suelo o la pérdida de oportunidades de obtener beneficios.

Por lo tanto, los costos a considerar no coinciden de manera exacta con los percibidos por el usuario, ya que éstos no necesariamente son iguales a los que sufre la sociedad por la

realización de esos desplazamientos: la presencia de subsidios o impuestos o las externalidades, por ejemplo, dan lugar a diferencias significativas entre esos valores.

- 4.4.7 Una clasificación genérica de los costos del transporte desde el punto de vista de la sociedad, es aquella que distingue los costos internos o soportados por los usuarios y/o beneficiarios y externos o causados a terceros por la realización de esa actividad, sin que se vean reflejados en los precios de mercado.
- Los costos internos, también llamados privados o de los usuarios corresponden básicamente a aquellos que los consumidores - viajeros perciben o sufragan directamente y que como se dijo antes, son su referente para la toma de decisiones; típicamente son los directos de operación, los de infraestructura y los costos de tiempo.
 - Los costos externos, de acuerdo con (Azqueta, 1996) y (Ortuzar, 2005), se derivan de externalidades, o acciones realizadas por un agente económico, que tiene un impacto sobre la utilidad o sobre la función de producción de un tercero, sin incorporar los efectos económicos de dicho impacto sobre sus cuentas privadas. En esencia, y de acuerdo con (Boarnet, 2001), el problema de los costos externos está en que los individuos que incurren en estos no los perciben o no son conscientes de ellos y, por lo tanto, hacen que un tercero que en este caso se agrupa globalmente como la sociedad, deba pagar por ellos.
- 4.4.8 Entre las externalidades negativas del transporte, las que más han sido descritas y evaluadas en la literatura son la parte no compensada de la accidentalidad, el ruido, la contaminación local, el cambio climático, la afectación al paisaje, el efecto de barrera, la pérdida de áreas urbanas, los costos no pagados de la infraestructura o los costos de la congestión. En relación con ésta última, algunos autores la consideran separadamente de las externalidades, por cuanto es causada por los propios usuarios del sistema y no por agentes externos y se presenta de forma típica en el tráfico rodado de calles y carreteras.
- 4.4.9 Sobre la estimación numérica del valor monetario equivalente de las externalidades, subsiste aún en la comunidad científica un alto grado de incertidumbre, debido en la mayoría de los casos a las características del fenómeno, a las dificultades para precisar la magnitud del efecto y a las características de las técnicas de valoración o conversión de los impactos a precios de mercado.

5 Identificación y descripción de los impactos

5.1 Descripción y análisis de los impactos a considerar inicialmente

- 5.1.1 Se presenta la síntesis de los impactos que, en el marco de la metodología de los costos evitados, podrían ser eventualmente considerados en un análisis costo-beneficio para un proyecto de Metro. El listado tiene vocación de ser exhaustivo, si bien de la revisión llevada a cabo se desprende que mientras algunos impactos son comunes en estudios de este tipo y cuentan tanto con metodologías generalmente aceptadas con la información local para cuantificarlos fácilmente, otros son más difíciles de medir y no cuentan con metodologías maduras en la literatura o en los estudios realizados en Colombia.
- 5.1.2 En la Tabla 3 se presenta una matriz resumen que incluye el conjunto de todos los impactos y costos potencialmente aplicables. Se clasifican por su tipología (impactos directos y externalidades) y se han diferenciado en función de la fase en el cual se miden: construcción (pre-operacional) y operacional. La matriz resumen indica:
- Si el elemento considerado es un costo (C) o un beneficio (B), según la fase
 - Si el elemento considerado tiene una posible duplicación con otros impactos
 - Si el elemento considerado se encuentra analizado en la consultoría de la PLMB anterior (2014).

Tabla 3 Impactos y su medición

| ID en fase de constr. | ID en fase de operac. | Impactos | Fase Constr. | Fase Operac. | Posible duplicación | Incluido en ACB L1 | Observaciones |
|---|-----------------------|---|--------------|--------------|---------------------|--------------------|--|
| Impactos directos | | | | | | | |
| IDC1 | IDO1 | Ahorros de tiempo | C | B | NO | SI | Impacto clave y crítico en un ACB |
| IDC2 | IDO2 | Costo operación TM-SITP | C | B | NO | SI | Impacto habitual en ACB |
| IDC3 | IDO3 | Costo operación Vehículos privados | C | B | NO | SI | Impacto habitual en ACB |
| IDC4 | IDO4 | Accidentalidad | C | B | NO | SI | Impacto habitual en ACB |
| IDC5 | IDO5 | Confort | C | B | NO | NO | Podría cuantificarse por ocupación, pero no relevante en ACB |
| IDC6 | IDO6 | Seguridad ciudadana | C | C/B (*) | NO | SI | Dificultad para su cuantificación con fiabilidad. Dificultad de comparar las dos tipologías de Metro |
| IDC7 | IDO7 | Afectación a población por interferencias | C | N/A | NO | NO | Dificultad para su cuantificación con fiabilidad. |
| Costos directos (Inversión, operación y mantenimiento) | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------|------|---------------------------------|-----|-----|----|----|---|
| CDC1 | CD01 | Adquisición predios | C | N/A | NO | SI | Necesario en ACB |
| CDC2 | CD02 | Construcción | C | N/A | NO | SI | Necesario en ACB |
| CDC3 | CD03 | Adquisición material rodante | C | N/A | NO | SI | Necesario en ACB |
| CDC4 | CD04 | Ocupación de predios | C | N/A | NO | NO | Necesario en ACB |
| CDC5 | CD05 | Residuos | C | N/A | NO | SI | Necesario en ACB |
| CDC6 | CD06 | Mantenimiento ordinario y mayor | N/A | C | NO | SI | Necesario en ACB |
| CDC7 | CD07 | Operación del Metro | N/A | C | NO | SI | Necesario en ACB |
| CDC8 | CD08 | Ingresos del operador | B | B | NO | SI | El CB PLMB1 incluye los ingresos en el VPN de los costos directos. No se incluye en el ACB DTT por ser considerado una transferencia. |

Fuente: Elaboración propia

5.2 Impactos directos

5.2.1 Variación en el tiempo de viaje

Este efecto está asociado al ahorro de tiempo que previsiblemente generará la implementación de la PLMB en la ciudad de Bogotá tanto para los usuarios de transporte público como para los no usuarios (debido a la descongestión de la red vial). Este impacto se mide a partir de la estimación de la diferencia del tiempo de viaje antes y después de la implementación del sistema de transporte (modelo de transportes) y la estimación del valor del tiempo resultante de la campaña de trabajo de campo planteada.

Puede considerarse como un costo en la etapa de construcción debido a que previsiblemente las obras que serán necesarias para el desarrollo del proyecto son susceptibles de generar el cierre temporal de diferentes vías, produciendo aumentos en los tiempos de viaje de los diferentes modos de transporte presentes en la ciudad. Por otra parte, en la fase de operación del proyecto esta situación se revierte como consecuencia de la liberación de vías y la entrada en funcionamiento del nuevo sistema de transporte. El tiempo de viaje tiene un impacto clave y crítico en el ACB, dado su elevado peso en relación a los restantes conceptos.

La valoración de este impacto se realizará de manera cuantitativa a partir del valor del tiempo y de los ahorros estimados en el modelo de demanda.

5.2.2 Variación en los costos de operación de los vehículos de transporte público (Transmilenio-SITP)

El efecto asociado al costo de operación de los vehículos de transporte público como el Transmilenio (TM) y el SITP se mide a partir de los ahorros o costos generados por los cambios en las distancias recorridas y/o en la velocidad promedio de los vehículos del servicio. Los costos de operación incluyen principalmente el costo de conducción, el combustible, el mantenimiento, lubricantes y neumáticos de los vehículos. Este impacto es habitual en los estudios socioeconómicos de transporte urbano y cuenta con metodologías de estimación comúnmente aceptadas. En el marco de este estudio se ha planteado calcular el impacto por variación en los costos de operación de los vehículos de transporte público a partir de la información facilitada por el ente gestor del sistema, Transmilenio. Por lo tanto, la valoración de este impacto se realizará de manera cuantitativa.

Un aspecto relevante por considerar es que, en el caso de la opción de Metro elevado, el perímetro objeto de comparación incluirá también cuatro troncales alimentadoras de Transmilenio:

1. Avda. Carrera Séptima
2. Prolongación de la troncal de Caracas
3. Avenida 68 (desde Autosur hasta carrera 7ª)
4. Avenida Boyacá (desde Autosur hasta Calle 26)
5. Avenida Ciudad Cali (desde Av. Bosa hasta Portal Américas)

En el caso del Metro Subterráneo, se incorporan al proyecto las dos primeras troncales pero no las tres últimas. Estas se encuentran incluidas en el documento CONPES 3882 como parte integrante del proyecto de metro elevado.

Las anteriores troncales serán consideradas como inversión, aunque su operación se incluye en el impacto de costos de operación globales del transporte público.

5.2.3 Variación en los costos de operación de los vehículos de uso privado

Para la cuantificación de este impacto se recurrirá a analizar los resultados del modelo de transporte en los distintos escenarios a efectos de determinar la variación en términos de vehículos-km. Los costos unitarios y la composición del parque móvil se obtienen a partir de un estudio del IDU sobre el costo de los usuarios en la ciudad de Bogotá y la Secretaría Distrital de Movilidad. Por lo tanto, la valoración de este impacto se realizará de manera cuantitativa.

5.2.4 Accidentalidad

Las diferentes tasas de accidentalidad asociadas a los distintos modos de transporte implican que en los escenarios con proyecto se producirá un impacto como consecuencia del cambio modal y la demanda inducida. Dicho impacto se espera tenga un signo positivo, ya que una parte relevante de la demanda que actualmente utiliza modos de transporte más inseguros, como el carro, pasarán a utilizar el modo ferroviario, más seguro. Por lo tanto, el cambio en la accidentalidad resultante de la ejecución del proyecto será considerado como un beneficio y será medida de manera cuantitativa.

5.2.5 Seguridad ciudadana

Las variaciones de la seguridad ciudadana como consecuencia de la implementación de proyectos de transporte público como el considerado han sido constatadas en distintos lugares del mundo. De manera general, en la etapa de construcción, se ha constatado el incremento del número de hurtos y homicidios en la futura zona de influencia del Metro. Por otra parte, en la etapa de operación, se espera una reducción del fenómeno, lo cual es explicado por las medidas de seguridad en las estaciones e instalaciones de Metro que proporcionan un mayor nivel de seguridad que el constatado previamente. Adicionalmente, comparando las alternativas de Metro elevado y Metro subterráneo, es posible que el Metro elevado induzca inseguridad en su entorno como consecuencia de las nuevas zonas de sombras generadas por el viaducto. No obstante, la visibilidad de las estaciones elevadas favorece su seguridad interna, en contraste con las subterráneas.

Las mejoras en seguridad relacionadas con la implementación de Metro en una ciudad fueron estudiadas de manera ex post en diferentes ciudades tanto en Estados Unidos como en Europa. Algunos autores determinaron que la implementación de Metros en ciudades

específicas como Los Ángeles¹¹, tiene un efecto directo sobre la disminución de la criminalidad. No obstante, para este impacto es difícil definir una aproximación exacta de cómo será el cambio en seguridad ya que cada ciudad tiene sus propias características específicas en las que influyen muchas otras variables.

Por este motivo, la evaluación del impacto se realiza de manera cualitativa.

5.2.6 Afectación a población por interferencias

Debido a la construcción del Metro pueden generarse algunas interferencias por cortes en los servicios de agua, gas y electricidad. Adicionalmente al costo de reposición de los servicios afectados, ya contemplado como costo de inversión, los cortes mencionados pueden generar afectaciones adicionales al desarrollo cotidiano de la vida de los ciudadanos. Aunque sería en principio posible estimar de manera aproximada cuántas podrían ser las horas de corte de los servicios públicos según cada tipología de Metro, es mucho más complicado valorar el impacto y el costo social asociado a las mismas.

No existen metodologías suficientemente probadas para su cuantificación y "a priori" su impacto en el análisis es bajo por materializarse únicamente en la fase de construcción del proyecto. Por lo tanto, este impacto se considera desde una perspectiva cualitativa.

5.3 Impactos indirectos o externalidades

5.3.1 Ruido y vibraciones

La circulación de vehículos ferroviarios genera ruido, entendido éste como una molestia para el ser humano, que puede derivar, en función de su intensidad, en daños en el oído, en reacciones nerviosas de estrés (cambio del ritmo de latido del corazón, presión alta, cambios hormonales) que pueden aumentar el riesgo de enfermedades vasculares, en trastornos en el sueño y descanso, en menor rendimiento laboral o de las actividades de ocio, etc. En el caso del Metro, el efecto sobre el oído humano dependerá principalmente del nivel de emisiones de ruido (en función del tipo de infraestructura y del tipo y condición del vehículo) y del periodo horario (día, noche).

Es importante señalar que, además, los costos derivados del ruido (que dependen del número de habitantes expuestos al ruido y su distancia a la fuente del mismo, ambos marcados por el tipo de uso del suelo, que condiciona el asentamiento y la densidad de población) varían considerablemente en función del nivel de ruido (decibeles) en el cuál éste se considera una molestia.

A priori, se espera que el ruido sea un impacto de particular relevancia en el caso del Metro elevado. A la excepción de que los estudios de ingeniería no contemplen un modelo detallado de ruido y vibraciones que permita determinar de manera precisa la población sometida a los distintos niveles de molestia, el impacto de ruido se analiza desde la perspectiva cualitativa.

5.3.2 Emisiones contaminantes de aire local

La circulación de vehículos motorizados provoca la emisión de distintos gases y partículas que, en la atmósfera, dan lugar o contribuyen a la formación de lluvia ácida, a la acumulación de ozono en la tropósfera, etc. Como resultado, algunas de estas emisiones afectan al cambio climático (dióxido de carbono -CO₂- y metano -CH₄-), que puede provocar impactos negativos en cultivos, en la producción agrícola, en los bosques y en ecosistemas; otras perjudican directamente a la salud humana (hidrocarburos -HC-, óxido nitroso -NO_x-, óxido sulfuroso -SO_x-, ozono -O₃-, monóxido de carbono -CO-) o provocan

¹¹ (Loukaitou, 2002)

daños en edificios o materiales. Todos los daños causados por dichas emisiones reciben el nombre de contaminación atmosférica.

Como consecuencia de la definición de efectos externos de contaminación aérea, se consideran costos externos derivados de contaminación aérea aquellos de salud externos (asma, etc.), los daños en edificios o materiales, las pérdidas de cultivos o impactos negativos en la producción agrícola y los daños a bosques y ecosistemas causados por efectos del vertido en la atmósfera de sustancias químicas procedentes de la circulación de vehículos motorizados.

Como consecuencia de la ejecución del proyecto, se espera una reducción de emisiones que aumentará la disponibilidad de aire limpio y por esa vía mejorará el bienestar de la sociedad bogotana; se espera una disminución importante de las emisiones, por concepto de la entrada en operación de un sistema de producción limpia como el Metro y por el traslado de viajeros a este sistema los cuales disminuirán el funcionamiento de otras modalidades de transporte las cuales generan mayor contaminación.

Sin embargo, en la etapa de construcción es posible que esta genere una mayor contaminación por el uso de las diferentes máquinas y equipos necesarios para desarrollar el proyecto. Este efecto se considera muy pequeño en comparación con la etapa operacional por lo que no se considera.

La valoración del impacto de las emisiones de contaminantes se realiza de manera cuantitativa.

5.3.3 Emisiones contaminantes de aire global

Según Hoyos Ramos (2004), el cambio climático hace referencia a la inquietud de la comunidad científica acerca de los efectos del acelerado calentamiento de la atmósfera ocasionado por la actividad humana. Estos efectos pueden causar numerosos impactos, entre los que destacan el aumento del nivel del mar, impactos en el uso de energía, en la agricultura, en el suministro de agua, en la salud (por cambios en la temperatura), el riesgo de extinción de algunas especies, etc.

El cambio climático está estrechamente ligado con el consumo de carburante y con el contenido de carbono del carburante, que provoca emisiones de gases de efecto invernadero. Es por ello que los costos externos del transporte derivados del cambio climático se suelen definir como una consecuencia directa de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por consiguiente, se expresan preferiblemente en COP/ton CO₂. O en COP/litro de combustible. Como en el caso anterior, este impacto se medirá calculando las emisiones con y sin el proyecto y considerando costos de emisiones estándar obtenidos de la literatura. Colombia está actualmente en negociaciones para entrar en el mercado voluntario de carbón. En efecto, al analizar el potencial de Colombia para generar proyectos de reforestación y conservación de bosques naturales, la producción y comercialización de los bonos de carbono se pueden convertir en una actividad interesante para las regiones con la disponibilidad necesaria para realizarla.

La valoración de este impacto se realiza de manera cuantitativa.

5.3.4 Contaminación de agua a nivel freático

La emisión de metales pesados y de hidrocarburos poli cíclicos aromáticos (HPA) por parte de los distintos modos de transporte provocan efectos negativos en el suelo y en el agua, como pueden ser los daños en plantaciones y una disminución de la fertilidad del suelo a lo largo de infraestructura de transporte. El nivel de la amenaza y, por consiguiente, el nivel del costo medioambiental adicional por contaminación de suelo y agua, dependen de las concentraciones críticas (en el suelo y en el agua) de los distintos contaminantes. Sin

embargo, en ausencia de referencias y estudios de ingeniería específicos, este impacto se ha tratado de manera cualitativa en el marco de la presente consultoría.

5.3.5 Afectación de la vegetación

Debido a la construcción del proyecto de Metro y a la ocupación de los predios necesarios para llevarla a cabo, muchos árboles y terrenos con vegetación delicada se verán afectados, por lo que se generará un impacto ambiental. Ambas tipologías de proyecto (metro elevado y metro subterráneo) generarán un efecto negativo sobre la vegetación. No obstante, se espera que la tipología de Metro elevado tenga un impacto más importante ya que la obra se plantea totalmente al nivel de la superficie.

Por el contrario, para la tipología de Metro subterráneo, se espera que las corrientes de aguas subterráneas se vean afectadas, generando un posible secado en los acuíferos. Estos efectos se repercutirían sobre los árboles que se extraen el agua desde los acuíferos para conservarse. Varias metodologías fueron desarrolladas para medir el impacto ambiental que genera una obra de infraestructura vial sobre la afectación a la vegetación. Sin embargo, en el análisis se considera este impacto desde una perspectiva cualitativa.

5.3.6 Impacto visual

Este impacto puede ser de importancia ya que hay diferencias notables entre las dos tipologías de Metro. En efecto, la tipología de Metro elevada genera un obstáculo visual y estético importante en la ciudad. Ese obstáculo puede percibirse como negativo o positivo, dependiendo de numerosos factores objetivos y subjetivos de los sujetos que lo soporten.

Se ha intentado una medición cuantitativa de este impacto a partir de una pregunta incluida en la encuesta de preferencias declaradas. Dicha pregunta se orienta a determinar la variación en la disponibilidad a pagar de los usuarios cuando se les enfrenta a dos imágenes del Metro elevado: la misma imagen empleada en la comparación con el modo subterráneo (infografía) y una foto real de un Metro elevado con un grado importante de intrusión visual.

El resultado obtenido no tiene la suficiente fiabilidad como para permitir la inclusión de este impacto en el modelo costo/beneficio. No obstante, la sección 10.9 se realiza una valoración cualitativa del impacto.

5.3.7 Afectación/ destrucción de espacios culturales y/o históricos

A pesar de que el proyecto planteado ha sido diseñado para pasar por zonas urbanas consolidadas, y por tanto en las que ya se ha experimentado anteriormente la construcción de diferentes tipos de infraestructura, no se puede descartar totalmente la afectación a espacios o patrimonio histórico y arqueológico como consecuencia de las tareas de excavación.

Este impacto se considera de manera cualitativa en la sección 10.9.

5.3.8 Valor de los predios

Los estudios empíricos demuestran que la introducción de un sistema de transporte en una ciudad tiene por efecto aumentar el valor de los predios alrededor del trazado del mismo (Armstrong, 1994). No obstante, el grado en el que el sistema de transporte participa en ese aumento de valor no es tan claro debido a la existencia de otros factores que pueden estar influenciando el mercado de finca raíz.

La estimación de este impacto tiene varias duplicidades con los impactos propuestos en la tabla inicial de esta sección. Por ejemplo, se puede pensar que la cercanía de un lote al trazado del Metro puede aumentar su valor, pero este efecto se duplicaría con el bienestar

estimado a partir de los ahorros de tiempo de los usuarios. Por otro lado, según se contemple la tipología elevada o subterránea, el lote que se encuentra al frente del viaducto perdería valor por el impacto visual y por el ruido. Estos efectos se contemplarían mediante otros indicadores como el ruido y vibraciones o el impacto visual.

Por estas razones el aumento de valor de los predios no se incluye en el análisis costo/beneficio, aunque se realizan consideraciones cualitativas al respecto.

5.3.9 Multiplicador económico

El desarrollo de grandes proyectos de infraestructura, como un Metro, tienen efectos directos, indirectos e inducidos sobre el resto del sistema productivo nacional, e incluso en los sistemas productivos de países en donde se producen componentes de importación requeridos para estos proyectos. Por ejemplo, la puesta en operación del Metro creará empleos directos para los conductores de los trenes, los trabajadores de los centros de control, personal de mantenimiento, y personal administrativo, entre otros. A su vez, otros proveedores que prestarán servicios de limpieza, seguridad, alimentación y otros negocios relacionados con la operación del Metro comprarán bienes y servicios de otras industrias para apoyar sus operaciones. Los trabajadores y proveedores de la industria de transporte masivo, a su vez gastan sueldos y salarios en alimentos, ropa, vehículos y otros artículos desarrollados por otras industrias del sistema productivo nacional generando un efecto económico a través de interrelaciones sectoriales del sistema productivo nacional (Hernandez, 2012).

Para estimar el impacto asociado con la construcción y puesta en servicio de la PLMB, es posible utilizar las matrices insumo-producto (MIP) las cuales constituyen un instrumento analítico que permite ampliar el horizonte de la información producida por las cuentas nacionales y las relaciones de producción y consumos intermedios de la economía (Eduardo Lora, 2016).

No obstante, los modelos insumo-producto se consideran modelos de impacto porque analizan los choques en una economía con precisión en periodos cortos. Su uso para analizar el efecto anual del aumento de la producción en un sector específico es adecuado, pero puede presentar limitaciones para el análisis en periodos de mediano y largo plazo principalmente por la validez de los coeficientes de producción en el largo plazo.

Esta limitación en la validez de MIP en el largo plazo sugiere que no sería adecuado cuantificar el efecto multiplicador en la economía durante el horizonte de tiempo propuesto para el análisis de costo-beneficio de la PLMB, por lo que en el desarrollo del análisis se revisa este componente desde una perspectiva cuantitativa de cómo podría afectar a la economía nacional y según ambas tipologías, pero no se incluirá dentro de la evaluación económica sino como un análisis paralelo. No se incluye en este Informe Resumen.

5.4 Otros impactos no contemplados

- 5.4.1 Se han establecido algunos impactos que no tienen medición cuantitativa o van a ser considerados desde la perspectiva cualitativa porque no se prevé que sean relevantes en el estudio. Por ejemplo, el confort no va a cambiar entre las dos tipologías de Metro analizadas, ya que contarán con condiciones similares de calidad de servicio, ocupación en andenes y a bordo.
- 5.4.2 Por otra parte, existen efectos duplicados como los son el impacto en renovación urbana, y ocupación temporal de predios con la adquisición de predios, o la salud con la contaminación del aire local y finalmente, el empleo directo con el multiplicador económico. Estos impactos no se han considerado en este informe.

5.4.3 Finalmente, en el estudio de evaluación socioeconómica del metro subterráneo (2014), se consideraron los ingresos del operador (tarifa) como un costo “negativo” en la estimación del costo social de la obra. El efecto resultante fue la disminución del valor presente de costos de la obra y consecuentemente un aumento del beneficio social neto obtenido. No obstante, se considera que los ingresos de tarifa son una transferencia entre el usuario y la empresa de Metro de Bogotá. Por lo cual tiene un efecto neutral sobre el bienestar del conjunto de los bogotanos. En este sentido consideramos que no deben incluirse los ingresos del operador en el análisis costo beneficio.

5.5 Resumen de los Impactos considerados en este estudio

5.5.1 La tabla adjunta presenta los impactos que se consideran en el análisis costo/beneficio y aquellos que se han tratado de manera cualitativa.

Tabla 4 Impactos considerados en el análisis CB e impactos tratados de manera cualitativa

| ID en fase de constr. | ID en fase de operac. | Impactos | Incluir en ACB DTT | Tipo medición impacto ACB DTT | Indicador |
|---|-----------------------|--|--------------------|-------------------------------|--|
| Impactos directos y externalidades | | | | | |
| IDC1 | IDO1 | Ahorros de tiempo | SI | Cuantitativo | Valor del ahorro total del tiempo en el sistema |
| IDC2 | IDO2 | Costo operación TM-SITP | SI | Cuantitativo | Costo total a partir de costo/km TM |
| IDC3 | IDO3 | Costo operación Vehículos privados | SI | Cuantitativo | Costo total a partir de costo/km varios tipos vehículos. |
| IDC4 | IDO4 | Accidentalidad | SI | Cuantitativo | Muertes evitadas x costo estadístico de la vida |
| | | Emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero | SI | Cuantitativo | |
| Costos directos (Inversión, operación y mantenimiento) | | | | | |
| CDC1 | CDO1 | Adquisición predios | SI | Cuantitativo | Costo |
| CDC2 | CDO2 | Construcción | SI | Cuantitativo | Costo |
| CDC3 | CDO3 | Adquisición material rodante | SI | Cuantitativo | Costo |
| CDC6 | CDO6 | Mantenimiento ordinario y mayor | SI | Cuantitativo | Costo |
| CDC7 | CDO7 | Operación del Metro | SI | Cuantitativo | Costo |
| Impactos considerados de manera cualitativa | | | | | |
| IC1 | | Afectación arbórea | NO | Cualitativo | Número de árboles afectados |
| IC2 | | Ruido y vibraciones | NO | Cualitativo | Número de predios con alto potencial de perturbación |
| IC3 | | Afectación/destrucción de espacios culturales y/o históricos | NO | Cualitativo | Número de metros cuadrados afectados |
| IC4 | | Impacto visual | NO | Cualitativo | Porcentaje de área construida sobre el área libre que no está construida |
| IC5 | | Interferencia con cuerpos de agua | NO | Cualitativo | Número de fuentes hídricas interferidas o afectadas por la construcción |
| IC6 | | Interferencia con redes principales | NO | Cualitativo | Número de metros de redes de servicio afectadas (Ponderación de 70% húmedas – 30% secas) |

| | | | | |
|-----|-------------------------|----|-------------|--|
| IC7 | Percepción de seguridad | NO | Cualitativo | Puntuación 3-5 de acuerdo a estudios |
| IC8 | Valoración de predios | NO | Cualitativo | Calificación A – C de acuerdo a estudios |

Fuente: Elaboración propia

6 Fuentes de información primaria: encuesta DAP y preferencias declaradas

6.1 Programa de trabajo de campo: objetivos de la encuesta

6.1.1 Para poder determinar el valor que los usuarios de transporte tanto público como privado le dan a la variable tiempo, se realizaron encuestas de preferencias declaradas en hogares con el fin de determinar la disponibilidad a pagar y la preferencia de modo, según indicadores de tiempo de viaje y costo.

6.2 Diseño muestral

6.2.1 De conformidad con los Términos de Referencia, la encuesta de preferencias declaradas debía considerar como mínimo la población que utiliza transporte público en el Distrito Capital (SITP, Transmilenio y transporte público colectivo), asegurándose de cubrir las áreas de mayor densidad poblacional. Igualmente, en el diseño muestral se debía utilizar un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. En discusiones con los especialistas del DNP y el BID, se acordó que un error de 5,4% sería aceptable.

6.2.2 El diseño muestral debía asegurar que se obtuviera una muestra de hogares representativos del universo de hogares de la ciudad. En ese sentido el proceso previo requirió de la definición de:

- El universo muestral, elemento necesario para el establecimiento del marco muestral
- Selección del tipo y técnica de muestreo
- Estimación del tamaño de muestra
- Definición de la metodología para la selección de las distintas unidades muestrales

6.2.3 El proceso de diseño muestral comenzó con la identificación del universo de estudio, el cual, está conformado por todos los hogares pertenecientes a los seis estratos socioeconómicos de la ciudad de Bogotá, localizados tanto dentro como fuera del área de influencia directa del proyecto. Con información de la Secretaria Distrital de Movilidad (SDM) y de la Secretaria Distrital de Planeación (SDP), y mediante el sistema Ideca, se obtuvo buena parte de la cartográfica básica que permitió llegar a la información combinada de:

- UPZ con estrato, habitantes, predios y manzanas
- Manzanas con estrato, cantidad de predios y cantidad de hogares
- Lotes con cantidad de hogares

De acuerdo con la información de la SDP, en la ciudad existen un total de 3.311.776 hogares, los cuales fueron organizados en un total de cuatro Dominios de estudio, conformados de la siguiente manera:

- Dominio 1: Hogares sin estrato y de los Estratos 1 y 2
- Dominio 2: Hogares del Estrato 3
- Dominio 3: Hogares del Estrato 4
- Dominio 4: Hogares de los Estratos 5 y 6

La Tabla 5 presenta el número de hogares correspondientes a cada Dominio, que en principio representan los universos muestrales para cada caso.

Tabla 5 Número de hogares por dominio

| Dominios | No. Hogares | % Participación |
|----------------|------------------|-----------------|
| 1 | 1.702.149 | 51.40 |
| 2 | 1.206.862 | 36.44 |
| 3 | 226.211 | 6.83 |
| 4 | 176.554 | 5.33 |
| Totales | 3.311.776 | 100.00 |

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la SDP

6.2.4 Tipo y tamaño de la muestra

A partir de las características del universo global de estudio, los marcos muestrales, así como los objetivos del estudio, el diseño muestral se definió de tipo probabilístico, estratificado según los Dominios anteriormente referidos, sobre cada uno de los cuales se efectuó un Muestreo Aleatorio Simple (MAS). Los cálculos de tamaño de muestra, se realizaron de acuerdo con la siguiente expresión:

$$n = \frac{\frac{PQdeffZ^2}{\delta^2}}{\frac{N-1}{N} * \frac{PQdeffZ^2}{N\delta^2}}$$

En donde:

n = tamaño de la muestra, en este caso corresponde a la cantidad de hogares a encuestar

N = número total de hogares, o universo de muestreo

P = frecuencia del parámetro de interés (se trabaja normalmente con P = 0,5)

Q = (1 - P) o proporción complementaria, Q = 0,5

deff = efecto del diseño, como se trabaja con conglomerados, se utiliza 1,4 (corresponde al indicado en el proyecto de metro anterior y estudio de encuestas origen destino del valle de Aburra)

δ = error relativo, en este caso 5%

Z = corresponde al valor de la distribución normal asociada a un nivel de confianza determinado, en este caso para el 95%, el valor es 1,96

Para cada Dominio, los tamaños muestrales que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6 Tamaño de muestra de hogares por Dominio

| Dominios | No. Hogares (N) | Tamaño de muestra (n) | (n) con 10% adicional |
|----------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 1.702.149 | 461 | 507 |
| 2 | 1.206.862 | 461 | 507 |
| 3 | 226.211 | 460 | 506 |
| 4 | 176.554 | 460 | 506 |
| Totales | 3.311.776 | 1.842 | 2.026 |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla, en cada caso se estableció un margen de un 10% adicional de tamaño muestral, con el fin de cubrir las encuestas que por algún motivo no pudieran ser consideradas como válidas.

6.3 Cuestionario

- 6.3.1 Para el desarrollo del cuestionario, se desarrollaron mesas de trabajos con diferentes actores, incluyendo el DNP, la Empresa de Metro, Secretaría de Movilidad, y el BID. Una versión preliminar del cuestionario se utilizó en una prueba piloto, lo cual permitió validar el cuestionario y entender la aceptación por parte del público objetivo, identificar problemas logísticos para el desarrollo de la encuesta, identificar los valores de las posturas para la disponibilidad a pagar, y verificar el resultado de las hipótesis bajo las cuales se generaron las preguntas con el fin de confirmar la pertinencia de las mismas y su aplicación dentro del estudio general.
- 6.3.2 Tras la revisión de los resultados de la encuesta piloto, se realizó la programación definitiva de la encuesta con la validación de los actores arriba mencionados, y a partir de un desarrollo web y de aplicaciones que permitieron realizar las encuestas con dispositivos digitales que facilitaron la ejecución de la misma. La herramienta diseñada incluyó los siguientes 4 módulos:

Módulo 1 - Caracterización socioeconómica: con el cual se recopiló información relevante de las principales características del encuestado y de su hogar, en temas socio-económicos.

Módulo 2 - Disponibilidad a pagar: este módulo se dividió en dos partes. La primera para reconocer los impactos del proyecto y la segunda para valorar estos impactos en cada alternativa de metro propuesto (elevado y subterráneo).

Módulo 3 - Caracterización del viaje: con el cual se obtuvo información sobre los principales flujos de viajes del encuestado y la caracterización de uno de ellos en modos, motivo, costo y tiempo.

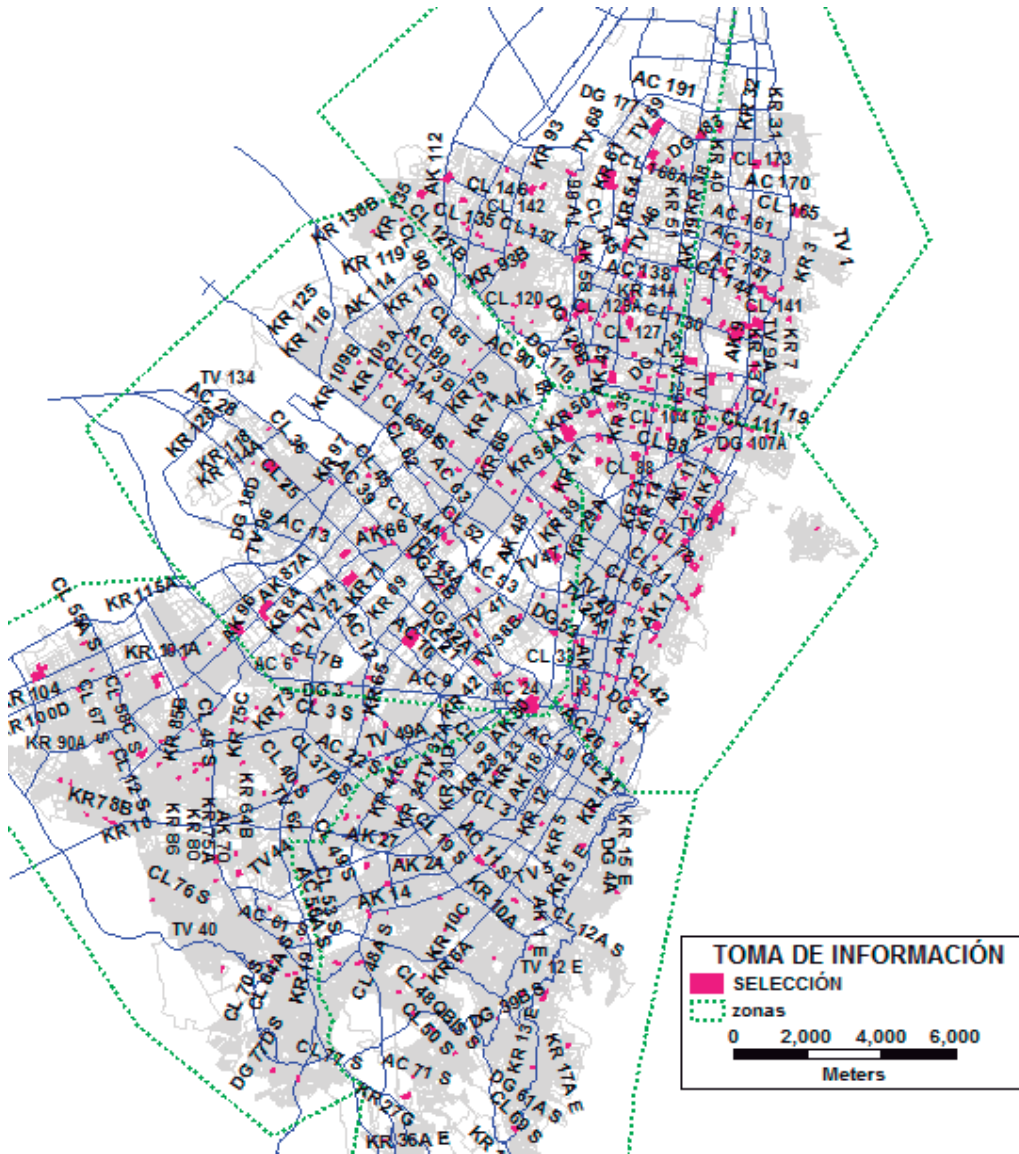
Módulo 4 - Preferencia declarada: con el cual se evaluó la preferencia hipotética entre la condición del viaje actual y un supuesto futuro en donde se realizaban cambios a variables de costo, tiempo y tiempo de espera.

6.4 Breve descriptivo de los resultados

- 6.4.1 A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta de campo a partir de cada uno de los módulos definidos en el cuestionario. El desarrollo de las encuestas se realizó a partir de 5 grandes zonas, de manera que cada una de ellas conservara dos

parámetros críticos, incluyendo la cantidad de manzanas a visitar y la distribución geográfica cercana. Esto se puede observar en la Figura 1.

Figura 1 - Zonas para la toma de información



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 presenta el número total de encuestas realizadas por Dominio, así como el factor de expansión de cada uno de ellos. El factor de expansión es el resultado de dividir el número total de hogares del Dominio, entre el número de encuestas válidas del Dominio correspondiente.

Tabla 7 Encuestas realizadas y factor de expansión

| Dominio | Encuestas a realizar | Encuestas realizadas | Diferencial | Factor de Expansión |
|---------|----------------------|----------------------|-------------|---------------------|
| 1 | 461 | 456 | -5 | 3.783 |
| 2 | 461 | 485 | 24 | 2.488 |
| 3 | 460 | 502 | 42 | 451 |
| 4 | 460 | 477 | 17 | 370 |
| | 1.842 | 1.920 | 78 | 7.092 |

Fuente: Elaboración propia

Una revisión posterior de los parámetros de diseño confirma que la muestra cumple con los requerimientos exigidos, tal y como se observa en la Tabla 8 para el cálculo del error por dominio y en la Tabla 9 para el cálculo del "deff" final. El error promedio de toda la muestra es 5.29%, el cual es menor al error acordado de 5.4% y adicionalmente el error por dominio igualmente es menor a 5.4%. El "deff" es superior al valor definido de 1.4.

Tabla 8 Cálculo del error final

| Dominio | TOTAL HOGARES | PQDEFFZ2/E2 | N-1/N | PQDEFFZ2/NE2 | Encuestas realizadas | Error por dominio |
|---------|------------------|-------------|-------|--------------|----------------------|-------------------|
| 1 | 1.702.149 | 455,724 | 1,00 | 0,00027 | 456 | 5,43% |
| 2 | 1.206.862 | 484,754 | 1,00 | 0,00040 | 485 | 5,27% |
| 3 | 226.211 | 503,152 | 1,00 | 0,00222 | 502 | 5,17% |
| 4 | 176.554 | 478,060 | 1,00 | 0,00271 | 477 | 5,30% |
| | 3.311.776 | | | | 1.920 | 5,29% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Cálculo del deff final

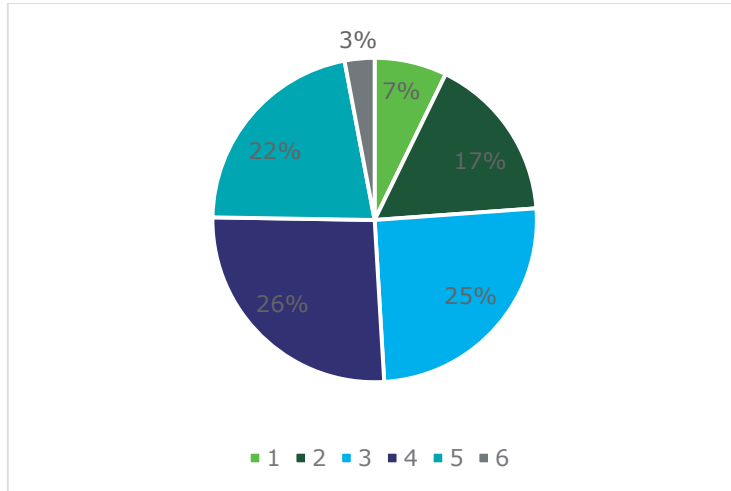
| Dominio | TOTAL HOGARES | PQDEFFZ2 /E2 | N-1/N | PQDEFFZ2 /NE2 | Error por dominio | Encuestas realizadas | DEFF |
|---------|------------------|--------------|-------|---------------|-------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 1.702.149 | 456,486 | 1,00 | 0,00027 | 5,40% | 456 | 1,386 |
| 2 | 1.206.862 | 485,291 | 1,00 | 0,00040 | 5,40% | 485 | 1,473 |
| 3 | 226.211 | 502,840 | 1,00 | 0,00222 | 5,40% | 502 | 1,527 |
| 4 | 176.554 | 478,696 | 1,00 | 0,00271 | 5,40% | 477 | 1,453 |
| | 3.311.776 | | | | 5,40% | 1.920 | 1,4616 |

Fuente: Elaboración propia

6.4.2 Caracterización del encuestado

La caracterización del encuestado se enfoca en información directa del núcleo familiar, acceso a vehículos y condiciones socio económicas del mismo y su hogar. La Figura 2 presenta la distribución de los grupos socioeconómicos de las personas entrevistadas en la que se obtuvo una distribución deseada de estratos que refleja error real de la muestra tomada.

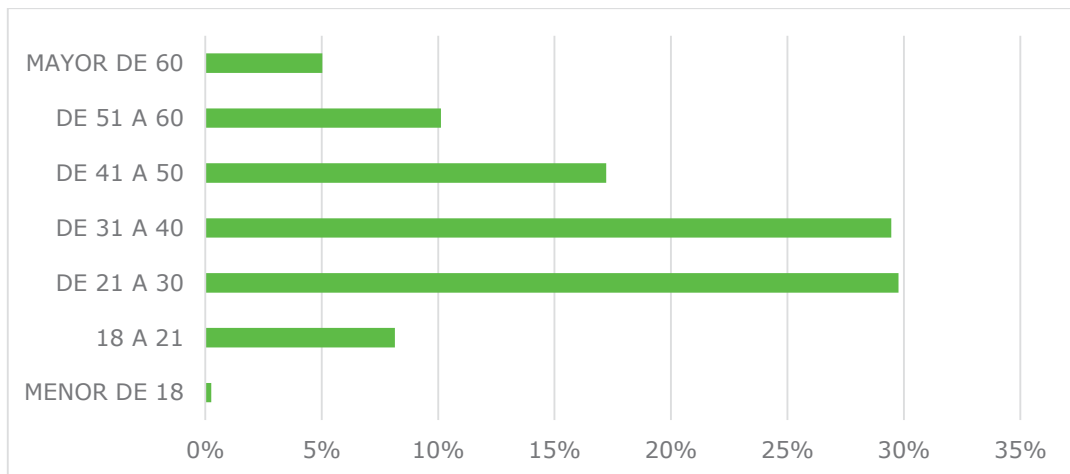
Figura 2 – Grupo socioeconómico



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la distribución por rangos de edades de los entrevistados, estos se observan en la Figura 3, donde se obtuvo una distribución de edades proporcional al estrato y la muestra, con mayor presencia en el rango de 21 a 40 años, que son las personas con mayor disponibilidad a ser económicamente activas.

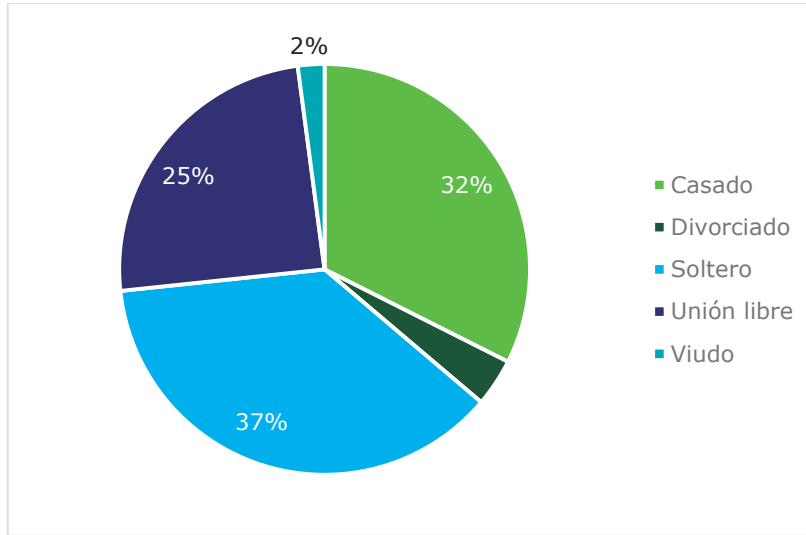
Figura 3 - Rangos de edad



Fuente: Elaboración propia.

El estado civil más representativo es soltero, con más del 37% y casado con el 32% que para los estratos de mayor participación y según la información del DANE, se hace congruente y válida la confiabilidad de la encuesta. Las distribuciones de presentan en la Figura 4.

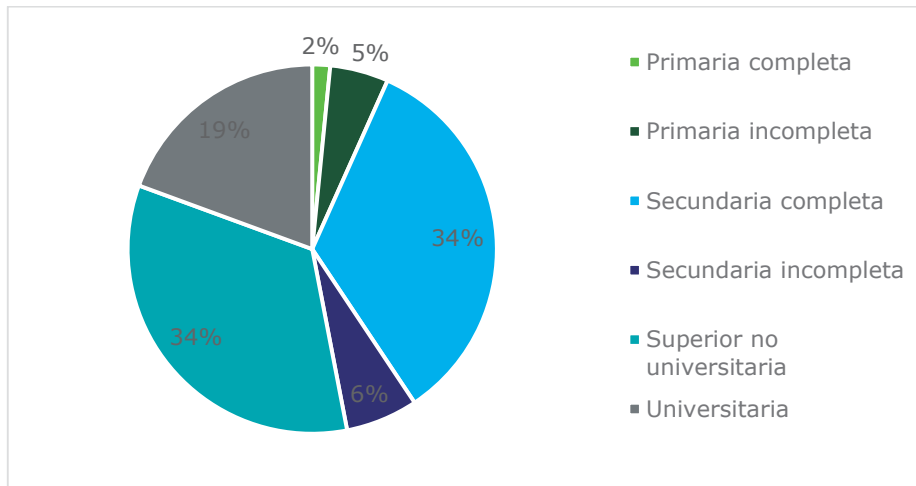
Figura 4 - Estado civil



Fuente: Elaboración propia

Dentro de los niveles de educación, se tiene una muestra distribuida en todos los niveles posibles, con mayor representación en graduados del bachillerato 33% y que cursan o se graduaron de educación superior no universitaria con el 34% tal y como se observa en la Figura 5.

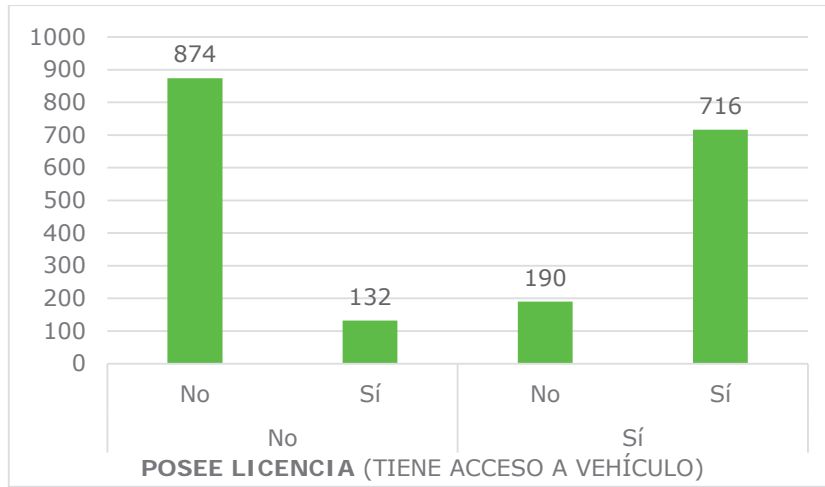
Figura 5 - Nivel de educación



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la información relacionada con la posesión de licencia de conducir y si tiene o no acceso a un vehículo, en la Figura 6 se observa que un 46 por ciento no tiene licencia y no tiene acceso a vehículo, el 7 por ciento no tiene licencia pero si tiene acceso a vehículo, un 10 por ciento si tiene licencia pero no tiene acceso a vehículo, y un 37 por ciento cuenta con licencia y con acceso a vehículo.

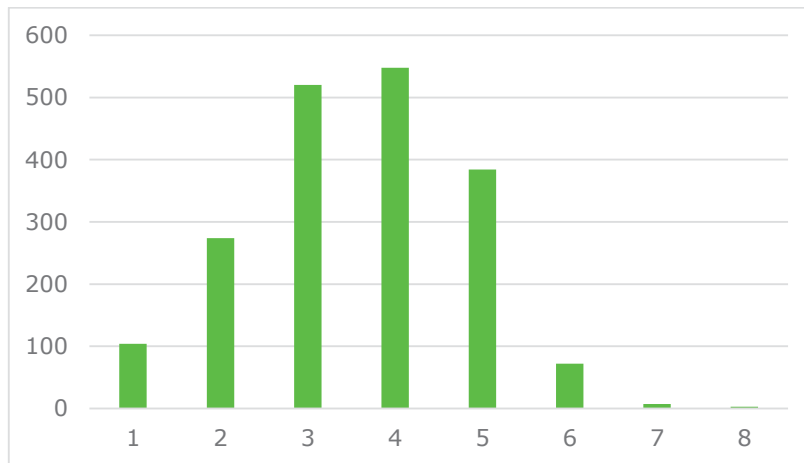
Figura 6 - Licencia de conducción



Fuente: Elaboración propia.

En promedio, se tiene entre 3 y 4 personas por hogar, tal y como se observa en la Figura 7, representando la media de Bogotá y siendo congruente con la información del censo.

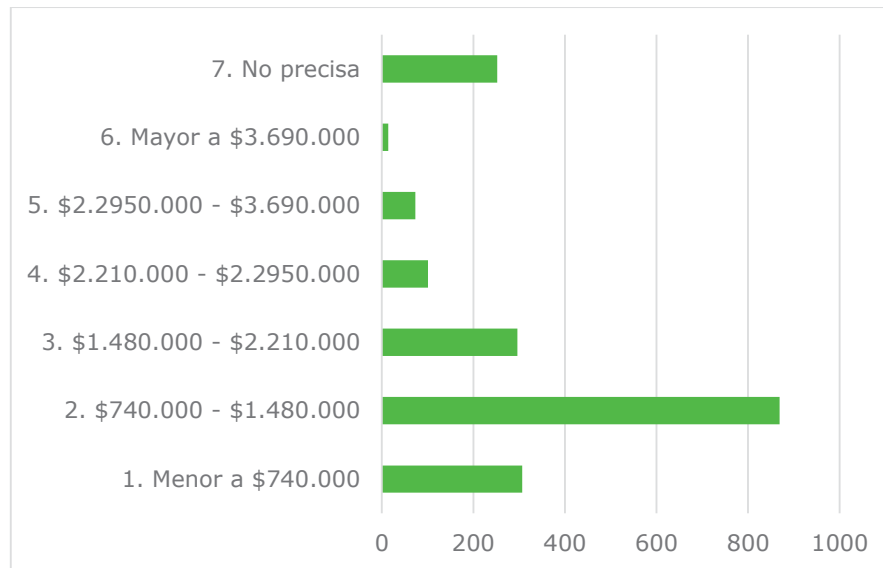
Figura 7 – Personas promedio por hogar



Fuente: Elaboración propia.

Con la distribución de estratos es válido tener ingresos mayores de 2 salarios mínimos, que representan el promedio de ingresos familiares en estratos menores a 3 y 4, como se observa en la Figura 8.

Figura 8 - Ingresos promedio



Fuente: Elaboración propia.

6.4.3 Disponibilidad a pagar

El módulo de disponibilidad a pagar (DAP) se dividió en dos partes, la primera de ellas para caracterizar los impactos de las dos propuestas de proyecto de metro (elevado y subterráneo) y la segunda para encontrar el promedio del valor de aporte al proyecto por grupo. En la Tabla 10 se presenta la comparación entre porcentajes de aspectos positivos y negativos de acuerdo con la percepción de los encuestados.

Tabla 10 Impactos del proyecto

| IMPACTO | ELEVADO | | | SUBTERRANEO | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----------------|----------------------------------|----------|-----------------|-----|
| | NEGATIVO | POSITIVO | SIN IMPORTANCIA | NEGATIVO | POSITIVO | SIN IMPORTANCIA | |
| TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO | 7% | 90% | 3% | TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO | 11% | 85% | 4% |
| MOVILIDAD DE LA CIUDAD | 16% | 79% | 5% | MOVILIDAD DE LA CIUDAD | 18% | 76% | 5% |
| NIVEL DE CONTAMINACIÓN | 24% | 71% | 5% | NIVEL DE CONTAMINACIÓN | 29% | 64% | 6% |
| VALOR DEL SUELO | 35% | 59% | 6% | VALOR DEL SUELO | 37% | 56% | 7% |
| CONECTIVIDAD | 14% | 80% | 6% | CONECTIVIDAD | 29% | 64% | 7% |
| CONTAMINACIÓN ACÚSTICA | 39% | 52% | 9% | AFECTACIÓN FREÁTICA | 64% | 25% | 11% |
| CONTAMINACIÓN VISUAL | 39% | 52% | 9% | MENOR AFECTACIÓN EN CONSTRUCCIÓN | 61% | 30% | 9% |
| MENOR RECORRIDO | 26% | 65% | 9% | MENOR TIEMPO DE PUESTA EN MARCHA | 41% | 50% | 9% |
| SEGURIDAD | 43% | 45% | 11% | SEGURIDAD | 49% | 40% | 11% |

Fuente: Elaboración propia.

En términos de análisis descriptivo de los resultados del valor a pagar, se utilizó el siguiente procedimiento:

- A partir de la encuesta piloto, se indagó de manera aleatoria la disponibilidad a pagar de los entrevistados

- Se ordenaron los datos de DAP que los encuestados respondieron en la pregunta abierta en la encuesta piloto
- Se eliminaron los valores por debajo de 20.000 pesos (0 COP a 19.999 COP). El objetivo es eliminar referencias a valores que se pueden asociar a la tarifa de un viaje y no a una disponibilidad a pagar para el metro pueda funcionar.
- Se identificaron los valores asociados a los percentiles 10%, 30%, 50%, 70% y 90%.
- Adicionalmente, a cada una de estas posturas, se le calcularon valores superiores e inferiores en un 20%, obteniendo los valores presentados en la Tabla 11 para el metro elevado y subterráneo respectivamente.

Tabla 11 Posturas

| Postura | Percentil | Metro elevado | X-20% | X+20% |
|---------|-----------|---------------|---------|---------|
| 1 | 10% | 20.000 | 16.000 | 24.000 |
| 2 | 30% | 50.000 | 40.000 | 60.000 |
| 3 | 50% | 100.000 | 80.000 | 120.000 |
| 4 | 70% | 200.000 | 160.000 | 240.000 |
| 5 | 90% | 250.000 | 200.000 | 300.000 |

| Postura | Percentil | Metro Subterráneo | X-20% | X+20% |
|---------|-----------|-------------------|---------|---------|
| 1 | 10% | 20.000 | 16.000 | 24.000 |
| 2 | 30% | 100.000 | 80.000 | 120.000 |
| 3 | 50% | 150.000 | 120.000 | 180.000 |
| 4 | 70% | 200.000 | 160.000 | 240.000 |
| 5 | 90% | 300.000 | 240.000 | 360.000 |

Fuente: Elaboración propia.

A cada encuestado se le hizo una doble pregunta, de tal manera que se escogió una postura de manera aleatoria y se le preguntó si el estaría dispuesto a pagar este monto para que el proyecto de metro existiera. Si la primera respuesta del encuestado era "sí", la siguiente pregunta se realizaba indagando si estaría dispuesto a pagar un monto con un valor superior en un 20 por ciento. Por el contrario, si la primera respuesta era "no", la siguiente pregunta se realizaba con un valor 20 por ciento por debajo de la postura inicial. La distribución de las respuestas se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 12 Posturas

| Metro Elevado | | | Metro Subterráneo | | |
|---------------|-------|--------|-------------------|-------|--------|
| Sí-Sí | 377 | 20,50% | Sí-Sí | 372 | 20,10% |
| Sí-No | 24 | 1,30% | Sí-No | 30 | 1,60% |
| No-Sí | 16 | 0,90% | No-Sí | 255 | 13,80% |
| No-No | 1.424 | 77,30% | No-No | 1.190 | 64,40% |
| | 1.841 | 100% | | 1.847 | 100% |

Fuente: Elaboración propia.

6.4.4 Análisis del impacto visual y estético

Adicional a la pregunta de disponibilidad a pagar, y con el fin de determinar si en el impacto visual o estético del metro elevado tenía o no valor relevante para los encuestados, se hizo una pregunta adicional para evaluar este impacto estético. Con los resultados obtenidos, el 77 por ciento de las personas que completaron la encuesta, indicaron que no pagarían para la construcción de un metro elevado (respuestas no-no) y por lo tanto no se incluyen en las siguientes estadísticas. Los resultados de los demás encuestados, incluyeron un 87 por ciento que pagarían menos del valor de la postura DAP final, con un valor promedio menor a

la postura definida en COP 108,000, mientras que el 13 por ciento restante indicaron que estarían dispuestos a pagar un valor mayor, el cual en promedio superaba en COP 89,000 el promedio de la última postura de DAP definida por ellos. La Figura 9 presenta las dos fotos mostradas a los encuestados para determinar el impacto estético.

Figura 9 – Fotos comparativas para determinar el impacto estético

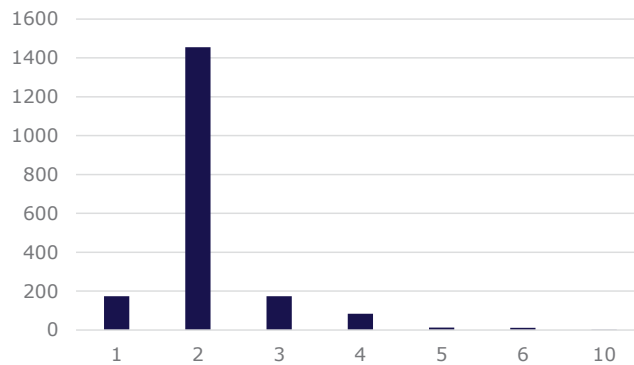


Fuente: Empresa de Metro.

6.4.5 Características del viaje

Para este módulo, se les pidió a los entrevistados que identificaran el número de viajes típicos realizados el día anterior, o la fecha más reciente. De las respuestas obtenidas, la cantidad de viajes típicos realizados tuvieron en su mayoría un total de dos viajes al día, con un 76% de las encuestas (ver Figura 10).

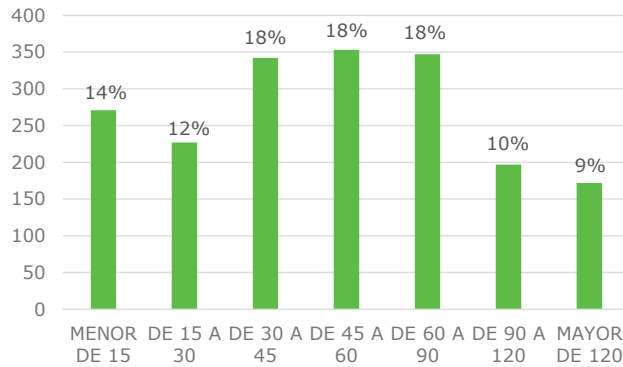
Figura 10 – Cantidad de viajes al día por persona



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se indagó por la duración de cada uno de estos viajes, obteniendo una relación de 86 por ciento de los viajes superando este tiempo como se observa en la Figura 11.

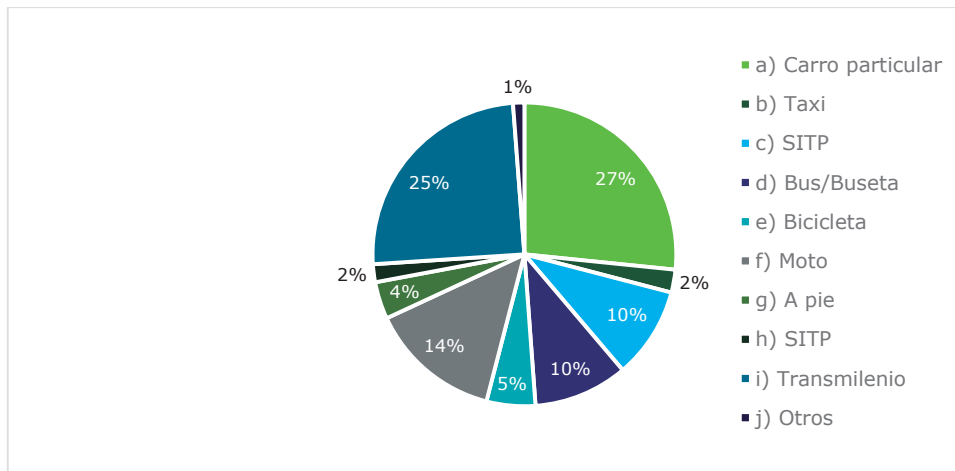
Figura 11 – Cantidad de viajes al día por persona



Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados los viajes mayores a 15 minutos, se seleccionó uno de estos de manera aleatoria para que el encuestado lo caracterizara. Esta selección se hizo aleatoria para evitar que existiera algún sesgo por parte del encuestado de seleccionar siempre el viaje de mayor relevancia todos los días que muy seguramente sería de la casa al trabajo en la mañana. Los resultados se muestran en la Figura 12.

Figura 12 – Modo de transporte seleccionado



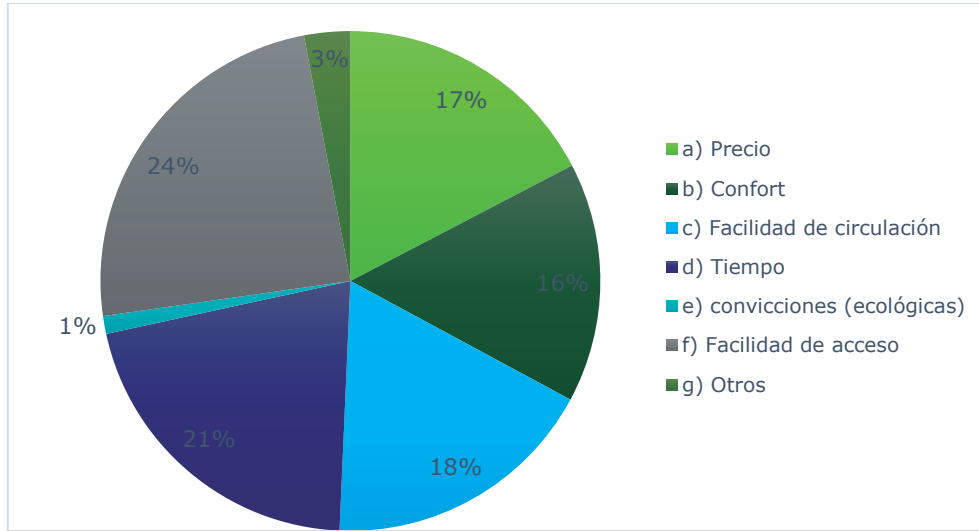
Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que esta selección del modo de transporte corresponde solamente a uno de los viajes realizados por el encuestado y seleccionado de manera aleatoria, y en ningún momento es una representación de la distribución de los modos de transporte usados por los usuarios bogotanos.

Un análisis de los resultados de la Figura 12, se observa que un 27 por ciento de las opciones corresponde a vehículos particulares y un 25% a Transmilenio, que permite una buena interpretación de los viajes que pueden llegar a ser usados en el proyecto de metro, así como los otros modos que representan el 48%, en donde se resalta la bicicleta y los viajes a pie, que suman el 7%.

La Figura 13 presenta una preferencia de selección del modo de viaje, en donde el tiempo y el precio representan el 38% de la selección, mientras el 24% se ve representado en la facilidad de acceso al sistema.

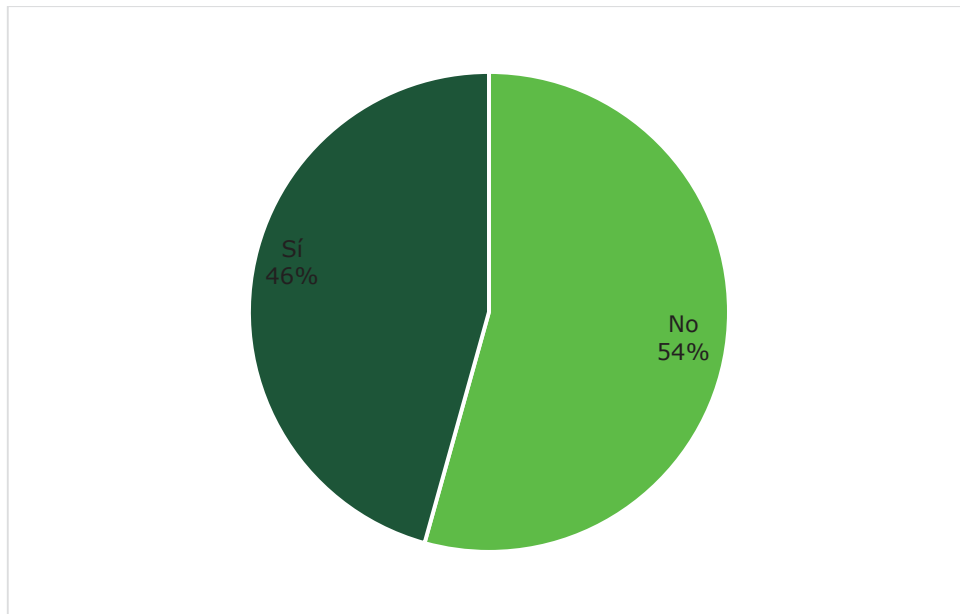
Figura 13 – Preferencia del viaje



Fuente: Elaboración propia

Según las encuestas y los resultados obtenidos, la Figura 14 al 54% de los encuestados, no le interesa tener que realizar transbordos dentro de sus viajes típicos, lo que permite tener una base de diseño del sistema metro.

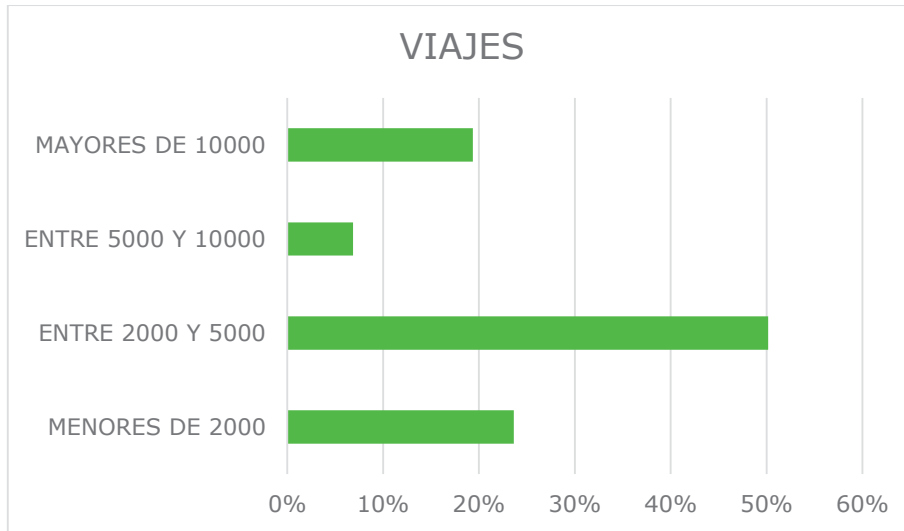
Figura 14 – Afectación por transbordos



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15 se presenta el porcentaje de rangos de costos de los viajes encuestados, en donde el 50% está entre \$2.000 y \$5.000, que es congruente con los viajes en transporte público.

Figura 15 – Porcentaje de costos de viajes



Fuente: Elaboración propia

6.4.6 Valor del tiempo

Una de las principales variables a estudiar dentro de la encuesta es la preferencia del modo, con variaciones de tiempo y costo. Para esto, y utilizando como base la caracterización del viaje definido por el encuestado, se le presentaron diferentes opciones de viajes alternativos cambiando las variables de tiempo, costo y tiempo de espera, lo que permitió determinar una primera visión de las preferencias y la sensibilidad que el encuestado percibía frente a estas variaciones. A partir de esta información se determinó el valor del tiempo. Los resultados de este ejercicio se presentan en mayor detalle en el Apartado 10.3

7 Fuentes de información secundaria

7.1 Principales fuentes informativas

7.1.1 Esta sección tiene por objetivo describir las acciones realizadas para solicitar y recopilar la información secundaria utilizada en la elaboración los análisis costo-beneficio.

En función de las metodologías propuestas, se realizó un primer ejercicio de identificación de la información secundaria y las potenciales fuentes donde podría encontrarse esta información. Cabe resaltar que la información identificada no es posible encontrarla en ninguno de los estudios revisados o en bases de datos o websites disponibles al público general. Por lo general, esta es información que manejan instituciones públicas o privadas por lo que fue necesario hacer una solicitud formal a dichas entidades para poder acceder a ella.

En discusiones con el BID, el DNP, y la Empresa Metro de Bogotá, se estableció que, para facilitar la recolección de cierta información perteneciente a entidades públicas, era recomendable que el DNP, como otra entidad pública, fuera quien solicitara formalmente la información ya que esto podría facilitar la pronta consecución de la misma. Para aquellos casos en los que la información pertenecía a entidades privadas, fue el mismo Deloitte quien hizo las solicitudes correspondientes. Por último, hay un gran grupo de información que se deriva de del modelo de transporte que maneja la Secretaría de Movilidad. Esta información se solicitó a través de la Empresa Metro de Bogotá ya que ellos están en permanente contacto con la Secretaría.

7.1.2 Como resultado, el proceso permitió la compilación de información secundaria correspondiente a los estudios previos asociados al proyecto de metro subterráneo, presupuesto detallado de la estructuración técnica del metro elevado, estudios y bases de datos de movilidad, bases históricas sobre accidentalidad y morbilidad, proyecciones de demanda de transporte por distintos modos a través del modelo de demanda, canastas de costos de operación de los vehículos públicos y privados, así como las razones de precio-cuenta relativos a cada impactos estudiado .

7.1.3 A partir del análisis de la información recopilada, y en los casos en los que fue necesario, se procedió a diseñar criterios de estandarización de la misma, como por ejemplo en el caso de importes monetarios referidos a distintos años, expresarlos en términos nominales del año base.

7.1.4 La Tabla 13 agrupa la información solicitada y recopilada por temática e igualmente se identifica la fuente de la misma.

Tabla 13: información secundaria

| Objetivo | Información secundaria | Fuente |
|---------------------|---|-------------------------|
| Gestión de proyecto | Cronograma de la estructuración técnica del metro elevado | Empresa Metro de Bogotá |
| Diseño muestral | Capa de manzanas en Sig con información de estrato, número de habitantes, predios | Secretaría de Movilidad |
| | Capa de predios en Sig con información similar a manzanas | Secretaría de Movilidad |

| Objetivo | Información secundaria | Fuente | |
|--|--|--|--|
| | Capas de UPZ y de Barrios. | Secretaría de Movilidad | |
| | Capas de usos del suelo. | Secretaría de Movilidad | |
| | Trazado definitivo de las líneas de metro elevado y subterráneo en plano. | Secretaría de Movilidad | |
| Objetivo | Información secundaria | Fuente | |
| Inversión, operación y mantenimiento del metro subterráneo | Capex discriminado por categoría (Obra civil, mano de obra calificada, mano de obra no calificada) | Empresa Metro de Bogotá | |
| | - Adquisición y alquiler de predios | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | - Inversión diseños y estudios | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | - Construcción de infraestructura | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | - Adquisición de equipos (trenes) | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | - Adquisición de equipos /sistemas de recaudo | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | - Obras urbanísticas | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | Operación y mantenimiento (O&M) | | |
| | - Mantenimiento de infraestructura | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | - Operación centro de control | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | - Operación metro y estaciones | Empresa Metro de Bogotá | |
| | - Operación y mantenimiento sistema de recaudo | Instituto de Desarrollo Urbano | |
| | RPC correspondientes a los rubros de Capex y O&M | Departamento Nacional de Planeación | |
| | Inversión, operación y mantenimiento del metro elevado | Capex discriminado por categoría (Obra civil, mano de obra calificada, mano de obra no calificada) | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) |
| | | - Adquisición y alquiler de predios | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) |
| - Inversión diseños y estudios | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| - Construcción de infraestructura | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| - Adquisición de equipos (trenes) | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| - Adquisición de equipos /sistemas de recaudo | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| - Obras urbanísticas | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| Operación y mantenimiento (O&M) | | | |
| - Mantenimiento de infraestructura | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| - Operación centro de control | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| - Operación metro y estaciones | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |
| - Operación y mantenimiento sistema de recaudo | | Financiera de Desarrollo Nacional (Systra - Ingetec) | |

| Objetivo | Información secundaria | Fuente |
|---|---|---|
| | RPC correspondientes a los rubros de Capex y O&M | Departamento Nacional de Planeación |
| Modelo de demanda | Modelo de demanda y matrices de asignación para los tres escenarios incluye para los años 2022 y 2030: | Secretaría de Movilidad |
| | - Matrices de viajes para transporte público ¹² y privado ¹³ discriminado por tipo de vehículos | Secretaría de Movilidad |
| | - Tiempos de viajes para transporte público y privado discriminado por tipo de vehículos y por estrato | Secretaría de Movilidad |
| | - Vehículos.km para transporte público y transporte privado discriminado por tipo de vehículos | Secretaría de Movilidad |
| | - Tiempos promedio de viajes discriminado por tipo de vehículos | Secretaría de Movilidad |
| Costos de operación de vehículos públicos | Fichas de remuneración de los operadores de troncales y zonales con remuneración discriminada por tipo de bus | Transmilenio |
| | Canasta de costos de operación de los operadores de troncales y zonales | Transmilenio |
| | vehículos.km por tipo de bus en la red para el 2017 y para el año 2022 según los tres escenarios | Transmilenio |
| | RPC de los componentes de la canasta de costos | Instituto de Desarrollo Urbano |
| Costos de operación de vehículos privados | Costos de operación por km por tipo de vehículos privados (lubricantes, combustible, llantas, mano de obra, amortización) para Bogotá | Instituto de Desarrollo Urbano |
| | RPC de los componentes de la canasta de costos | Instituto de Desarrollo Urbano |
| Accidentalidad | número de accidentes anuales de tipo "solo daños", "con heridos" y "con muertos" para los años 2009 a 2016 para los vehículos privados | Secretaría de Movilidad |
| | número de accidentes anuales de tipo "solo daños", "con heridos" y "con muertos" para los años 2009 a 2016 para los vehículos públicos | Secretaría de Movilidad |
| | Costo económicos por tipo de accidentes en Bogotá | Fondo de prevención vial - Universidad de los Andes |
| | Factor de mejora de accidentes | National Road Authority, Ireland |
| Emisiones contaminantes | Factores de emisión por tipo de vehículos privados y públicos para los contaminantes CO ₂ , CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2,5} | Secretaría Distrital de Ambiente |
| | Costo económico de una tonelada de CO ₂ , CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2,5} | Observatorio de la Movilidad Urbana para América Latina (CAF), United States Environmental Protection Agency (EPA), |

¹² Los tipos de vehículos públicos son: Troncales: Articulados, biarticulados, padrones duales; Zonales: microbuses, busetas, busetón y padrones.

¹³ Los vehículos privados son Autos, motos, taxis, camiones pequeños y camiones grandes.

| Objetivo | Información secundaria | Fuente |
|----------|--|---|
| | Coeficiente de mejora de emisiones contaminantes | United Nation Framework Convention on climate Change (UNFCCC) |

Fuente: Elaboración propia

7.2 El modelo de demanda

- 7.2.1 En el apartado 10.1 se indica cómo se ha utilizado el modelo de demanda de la Secretaría Distrital de Movilidad para obtener los insumos clave en el estudio de ahorros de tiempo, costos de operación y emisiones.
- 7.2.2 Al contrario que en otros estudios costo/beneficio, que se basan en información bibliográfica y académica para calcular los ahorros, el análisis realizado en este informe ha utilizado la herramienta del modelo de demanda que mantiene la Secretaría Distrital de Movilidad. Este modelo, basado en Emme4, ha sido construido, mantenido y mejorado a lo largo de los últimos seis años y constituye la base de análisis del Distrito para la estimación de la movilidad en transporte público y vehículo privado. La utilización de un modelo de cuatro fases (generación-atracción, distribución, reparto modal y asignación) permite estimar con detalle tiempos de viaje y kilómetros recorridos por los vehículos. Asimismo, es una herramienta que permite analizar escenarios con pequeñas diferencias (por ejemplo, incluyendo o no nuevas troncales de Transmilenio), aspecto que no podría hacerse con otras metodologías que no incluyen modelización.
- 7.2.3 En el análisis costo/beneficio, los resultados del modelo deben ser los correspondientes a toda la matriz de movilidad de la ciudad. Es decir, no se buscan, por ejemplo, ahorros de tiempo de los nuevos usuarios de metro, sino que el impacto debe ser global, analizando las diferencias entre los escenarios sin proyecto y los escenarios con proyecto. De esta manera, el modelo debe dar ahorros en todo el sistema de transporte público y en la red de vehículo privado en un intento de emular los costos y beneficios del conjunto del sistema.

8 Definición de escenarios

8.1 Consideraciones generales sobre los escenarios

8.1.1 Las metodologías de costos evitados se basan en la comparación del escenario de Proyecto frente a un escenario base sin Proyecto. Esta comparación, que puede parecer simple, se enfrenta al reto de definir dichos escenarios de manera objetiva y no sesgada. En ese sentido, este estudio ha realizado un gran esfuerzo en la definición de unos escenarios cuya comparación pueda identificar de manera clara los beneficios y los costos del proyecto.

8.1.2 El escenario de proyecto debe compararse con una base sin proyecto. Aquí aparece una primera dificultad en la descripción de cuál debe ser el escenario base. Se comete a menudo el error de intentar construir un escenario base intentando adivinar cuál será el nivel de infraestructura vial y de transporte previsto en los años de análisis. De esta manera, se busca comparar el proyecto con un modelo de ciudad que tenga la infraestructura que se construiría, aunque no hubiera proyecto.

Este ejercicio parece el adecuado, pero se enfrenta a la incertidumbre de cuál va a ser la infraestructura vial y de transporte que, en cualquier caso, se construirá en 2022 y 2030, por ejemplo. Una posición optimista puede dar lugar a diluir el proyecto en una nube de nueva infraestructura que tiene el riesgo de no realizarse. Una posición pesimista, por otro lado, puede utilizar el escenario actual 2016, corre el riesgo de comparar el proyecto frente a una referencia irreal en el 2022.

8.1.3 En este análisis se ha asumido una posición intermedia que puede sintetizarse como sigue:

- No se ha considerado nueva infraestructura vial. Es decir, ninguno de los tres escenarios incluye infraestructura vial de nueva construcción.
- Se ha considerado un Escenario Base que incluye en el primer año de referencia (2022) la infraestructura de transporte público (troncales de Transmilenio) sobre las que existe consenso (en el grupo de trabajo) y seguridad de que se van a construir, con o sin línea de metro.
- Indudablemente, estas nuevas troncales de Transmilenio se incorporan a los dos escenarios de metro.
- Por último, en cada escenario de metro se incorpora estrictamente la infraestructura considerada en el proyecto, sin ampliaciones de segunda y tercera fase que puedan hacer más funcional la red. Por ejemplo, el proyecto de Metro Elevado incluye las tres troncales aprobadas en el CONPES 3882 más la troncal de la Carrera Séptima y prolongación de la troncal de Caracas. En el Metro Subterráneo se incorporan la troncal de la Séptima y la prolongación de la Caracas a la línea de Metro.

8.1.4 La Tabla 14 resume los tres escenarios de análisis, indicando la infraestructura que se incluye en cada una. Asimismo, se ha considerado que el nivel de oferta de servicio de la red zonal se modifica reduciéndose en el escenario de Metro Elevado para compensar el aumento de oferta de las tres troncales CONPES 3882 y de la Carrera Séptima-Caracas.

8.1.5 Por último, indicar que solo se han construido los escenarios para el horizonte 2022 y no para el 2030 o el 2050. Esto es lógico por la incertidumbre que rodea la decisión sobre cuáles van a ser los desarrollos de infraestructura de transporte que entrarían en un marco de planificación y fiscal a tan largo plazo.

Tabla 14 Escenarios de infraestructura contemplados en el análisis

| Escenario | 2022 |
|--|---|
| Base | Oferta Troncales de Transmilenio |
| | Autonorte hasta la calle 193 |
| | Extensión de la Calle 80 |
| | Extensión Caracas a Yomasa |
| | Soacha Fase 2 y 3 |
| | Oferta Metro |
| | NA |
| Metro Elevado | Oferta Troncales de Transmilenio |
| | Autonorte hasta la calle 193 |
| | Extensión de la Calle 80 |
| | Extensión Caracas a Yomasa |
| | Soacha Fase 2 y 3 |
| | Carrera 7 hasta la calle 200 y prolong. Caracas (adicional) |
| | Avenida/Carrera 68 (Autosur - Carrera 7)a |
| | Boyacá (Autosur - Calle 26)a |
| | Ciudad de Cali (Límites de Bosa - Portal Américas)a |
| | Oferta Metro |
| PLMB (Portal de las Américas - Calle 72 x Caracas) | |
| Metro Subterráneo | Oferta Troncales de Transmilenio |
| | Autonorte hasta la calle 193 |
| | Extensión de la Calle 80 |
| | Extensión Caracas a Yomasa |
| | Soacha Fase 2 y 3 |
| | Carrera 7 hasta la calle 200 y prolong. Caracas (adicional) |
| | Oferta Metro |
| PLMB (Portal de las Américas - Calle 100 x Carrera 11) | |

a. Tramos de troncales priorizados en el CONPES 3882 y concurrentes con la inversión del Metro Elevado. Se incluye asimismo la troncal de la Carrera Séptima

Fuente: Elaboración propia

La no inclusión de nueva infraestructura a construir en el largo plazo obliga a comparar escenarios que pueden verse saturados a veinte, treinta años. En principio, es de prever que este efecto de saturación afecte a todos los escenarios, pero no de igual manera. Los escenarios con más oferta de transporte resisten mejor el aumento de demanda y el efecto saturación. Pero, paradójicamente, los resultados del modelo de demanda pueden ser contrarios a esta lógica.

Estos modelos no suelen tener restricciones de capacidad en la red de transporte público, por lo que los resultados obtenidos pueden falsear la realidad al reflejar un comportamiento similar e incluso mejor en el Escenario Base, con menor oferta, que en los escenarios de Metro.

Este efecto se ha estudiado en profundidad por parte de la SDM y por el consultor para conseguir que los parámetros de acceso a estaciones, tiempos de espera, tiempos de parada de los autobuses, etc., reflejen de manera realista este efecto de saturación.

- 8.1.6 Como ya se ha indicado, los escenarios de metro siguen el criterio de incluir sólo las actuaciones con financiación aprobada y no proyectos completos que incluyan segundas y

terceras fases. Esto permite comparar escenarios parecidos desde el punto de vista del Capex:

- **Metro elevado:** Metro elevado + 3 Troncales CONPES + Séptima + Prolongación Sur de la Caracas
- **Metro subterráneo:** Metro Subterráneo hasta la calle 100 + Troncal Séptima + Prolongación Sur de la Caracas

De esta manera, el análisis costo / beneficio no queda distorsionado por actuaciones cuyo costo no ha sido calculado en detalle o cuya funcionalidad global pueda sufrir cambios que afecten una comparación objetiva de los proyectos.

8.2 Escenario Base

8.2.1 El Escenario Base es el común denominador para los otros dos escenarios. Incluye aquella infraestructura de transporte sobre la que hay una alta probabilidad de que esté en servicio en 2022, se construya o no el metro. Esta infraestructura incluye las troncales de Transmilenio, a saber:

- Autonorte hasta la calle 193
- Extensión de la troncal de calle 80
- Extensión de la troncal de Caracas a Yomasa
- Transmilenio de Soacha, Fases 2 y 3.

Este escenario no considera otras troncales que pueden realizarse, incluyendo sólo las que tienen mayor probabilidad de implementación.

8.3 Escenario de metro elevado

8.3.1 El Escenario de Metro Elevado incluye todas las troncales del Base más las actuaciones contempladas en el CONPES 3882; es decir:

- **Línea de metro elevado entre el Portal de Las Américas y la calle 72.**
- Carrera Séptima, hasta la calle 200 (no incluida en CONPES, pero incluida en el escenario de Metro Elevado).
- Prolongación Sur de la troncal de la Caracas
- Avda. Carrera 68 (entre Autosur y Calle 26)
- Boyacá (Autosur - Calle 26)
- Avda. Ciudad de Cali (Límite de Bosa – Portal de Las Américas)

8.3.2 A efectos de no distorsionar el análisis, no se han incluido tramos que pueden mejorar notablemente el efecto de red y mejorar la funcionalidad del metro. Por ejemplo, el tramo de la Avda. Boyacá, entre la calle 26 y la 80. Este es un criterio estricto cuyo objeto es poder comparar de manera neutra los proyectos, aún a costa de que se pierda funcionalidad en la red.

8.4 Escenario de metro subterráneo

8.4.1 El escenario del metro subterráneo incluye las troncales del Base y:

- **La línea de metro subterráneo prevista en el proyecto con financiación aprobada; es decir, la línea por Carrera 11 entre el Portal de Las Américas y la calle 100.**
- Carrera Séptima, hasta la calle 200 (no incluida en CONPES, pero incluida en el escenario de Metro Elevado).
- Prolongación Sur de la troncal de la Caracas

8.4.2 Como en el caso del Metro Elevado, no se han incluido otras actuaciones complementarias que podrían mejorar la funcionalidad del proyecto.

9 Estimación de costos directos

9.1 Precios económicos (precios-sombra) y su aplicación

- 9.1.1 El análisis económico se lleva a cabo desde el punto de vista de la sociedad, por lo que los insumos del proyecto deben valorarse por su costo de oportunidad. Esta circunstancia exige que, para ajustar los flujos de caja financieros, el análisis económico se debe considerar correcciones fiscales (los impuestos indirectos, subvenciones, y las transferencias puras deben deducirse, excepto aquellos destinados a corregir las externalidades), la valoración de externalidades y la aplicación de precios sombra, con el objeto de tener en cuenta la desviación de los precios de aquellos correspondientes al equilibrio de mercado competitivo. Vale la pena mencionar que en la literatura se utilizan indistintamente los términos precios sombra, precios económicos y precios cuenta para referirse a los precios ajustados con esta desviación.
- 9.1.2 A la hora de definir los precios-sombra, se recurrirá a los valores recogidos en la literatura que sean de aplicación a Colombia. En particular, se revisarán las aportaciones de (Héctor Cervini, 1990), estudio realizado para el Banco Interamericano de Desarrollo, quienes aplicaron la metodología de matrices input-output para definir las razones precios-cuenta¹⁴ para cada tipo de bienes producidos en Colombia. Cabe señalar que la razones precio-cuenta del estudio mencionado han sido utilizados por el Departamento Nacional de Planeación para realizar evaluaciones socioeconómicas de sistemas de transporte masivos, como es el caso de Transmilenio.
- 9.1.3 Dado que las razones precio-cuenta oficiales utilizadas para Colombia no están tan actualizadas se trató, en la medida de lo posible, de utilizar precios cuenta más recientes cuya fuente son estudios validados por las instituciones colombianas en los años anteriores. Para la operación del metro y la operación de las troncales de Transmilenio se utilizaron los precios sombra presentados en un estudio del Banco Mundial realizado en 2009 sobre el sistema de transporte masivo de Bogotá¹⁵. Para los precios relacionados con la operación de los vehículos privados y públicos se utilizaron razones precios cuenta calculados en un estudio para el Instituto de Desarrollo Urbano cuyo objetivo fue el de evaluar el costo de usuario de vehículos antes y luego de haber realizado intervenciones en las vías de Bogotá¹⁶.
- 9.1.4 Para convertir precios financieros en precios sombra se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 1

$$CE_i = CF_i \times RPC_i$$

En donde:

- CF_i es el costo financiero del componente/bien i
- CE_i es el costo económico del componente/bien i

¹⁴ Se denomina "razón precio-cuenta" la ratio de conversión de un precio de mercado a un precio económico o precio sombra.

¹⁵ (World Bank, 2009)

¹⁶ (IDU, 2009)

- RPC_i es la razón precio-cuenta del componente/bien i

9.1.5 La Tabla 15 indica las razones precio-cuenta (RPC) principales utilizados en el ejercicio del costo beneficio de la PLMB.

Tabla 15: Razones precio-cuenta

| OBRA CIVIL | RPC | Fuente | Tipo |
|--|------------|---------------|---|
| Obras civiles | 0,8 | BID | FC inversión transporte (9000-3) |
| Mano de obra calificada | 0,87 | BID | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Mano de obra no calificada | 0,46 | BID | Mano de obra no calificada, sectores de elevadas prestaciones |
| Mano de obra internacional | 1 | BID | Mano de obra extranjera |
| Importación de equipos internacionales | 1 | BID | |
| Adquisición de tierras | 1 | BID | Terrenos |
| OPERACIÓN | RPC | Fuente | Tipo |
| Costos de Personal | 0,87 | BID | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Costos de Mantenimiento | 0,8395 | World Bank | Mantenimiento |
| Costos de Operación | 0,8062 | World Bank | Operación de buses/ operación sistema de recaudo* |
| Operación externa | 1 | | |
| ENERGÍA | RPC | Fuente | Tipo |
| Agua | 2,65 | BID | Agua potable (4242-0) |
| Costo Por Consumo (incluyendo fluidos) | 0,9 | BID | energía eléctrica industrial (4141-0) |
| Costo por Conexión | 0,9 | BID | energía eléctrica industrial (4141-0) |
| UTILIDAD | RPC | Fuente | Tipo |
| Utilidad | 0,8 | BID | Excedente bruto de explotación (p.m.), sector servicios |
| OTROS | RPC | Fuente | Tipo |
| Manejo ambiental y social | 0,68 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |
| Desvíos y manejo tráfico | 0,68 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |
| Predios y legalización | 1 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |
| Interventorías fase de obra | 0,68 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |

Fuente: Elaboración propia

9.2 Estimación del Capex y Opex del proyecto en precios económicos

Se presenta la estimación realizada para obtener el Capex y Opex para la oferta de transporte que será evaluada en cada una de las alternativas.

9.2.1 Metro Elevado

La fuente utilizada ha sido los datos de Capex y Opex para el proyecto de metro elevado, realizada en los trabajos de estructuración técnica. Como se indicará en un apartado posterior, los datos de inversión en Capex y operación/mantenimiento se han transformado a precios sombra para poder ser comparados en la evaluación costo/beneficio.

9.2.2 Capex

Para la estimación del Capex de Metro Elevado se ha utilizado el presupuesto proveniente de la estructuración técnica¹⁷. El presupuesto está dividido en los capítulos indicados en la Tabla 16.

Tabla 16 Metro elevado. Composición del Capex

| | | |
|---|---|-------------------|
| 1 | Obra civil* | 6.524.740 |
| 2 | Estudios y diseños | 195.742 |
| 3 | Equipos | 1.957.221 |
| 4 | Material Rodante | 1.481.327 |
| 5 | Otros costos directos (Predios + Redes) | 2.026.185 |
| 6 | Otros costos (Interventoría + PMO) | 355.566 |
| | | 12.540.781 |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

Para aplicar los precios sombra se han realizado los siguientes tratamientos a cada uno de los componentes del Capex:

9.2.3 Obra civil

El total de costos de la obra civil del metro elevado está constituido por los componentes de administración, imprevistos y utilidades (AIU) indicados en la Tabla 17.

Tabla 17 Metro Elevado. Composición del CAPEX de obra civil

| |
|--------------------------------------|
| COSTOS DIRECTOS OBRA CIVIL |
| ADMINISTRACIÓN |
| Impuestos |
| Garantías |
| Gastos financieros manejo fiduciario |
| Gastos de personal |
| Gastos operacionales |
| IMPREVISTO |
| UTILIDAD |
| IVA SOBRE LA UTILIDAD |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

Para realizar la evaluación costo beneficio, se han separado los impuestos, los imprevistos y el IVA sobre la utilidad. De esta forma, la composición del presupuesto de Obra Civil se conforma tal y como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18 Metro Elevado. Costo de la Obra civil a efectos del modelo Costo - Beneficio

| |
|--------------------------------------|
| COSTOS DIRECTOS |
| ADMINISTRACIÓN |
| Garantías |
| Gastos financieros manejo fiduciario |
| Gastos de personal |
| Gastos operacionales |
| UTILIDAD |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

¹⁷ Informe SYSTRA ETPLMB-ET21-L00-MCA-W-0001-RA

En resumen, la obra civil considerada en el modelo Costo - Beneficio será:

Ecuación 2

$$Obra Civil = Costo Directo Oba Civil + (AIU - (IVA sobre la Utilidad - Impuestos - Imprevistos))$$

9.2.4 Equipos

El total de costos de los equipos del metro elevado, está constituido por los componentes de la Tabla 19.

Tabla 19 Metro Elevado. Composición del Capex de los Equipos

| |
|--------------------------------|
| COSTOS DIRECTOS EQUIPOS |
| ADMINISTRACIÓN |
| Impuestos |
| Garantías |
| IMPREVISTO |
| UTILIDAD |
| IVA SOBRE LA UTILIDAD |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

Para realizar la evaluación costo beneficio, hemos separado los impuestos, los imprevistos y el IVA sobre la utilidad. De esta forma la composición del presupuesto de Equipos se indica en la Tabla 20.

Tabla 20 Metro Elevado. Costo de los Equipos a efectos del modelo Costo - Beneficio

| |
|------------------------|
| COSTOS DIRECTOS |
| ADMINITRACIÓN |
| Garantías |
| UTILIDAD |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

Es decir:

Ecuación 3

$$Equipos = Costo Directo Equipos + (AIU - (IVA sobre la Utilidad + Impuestos + Imprevistos))$$

9.2.5 Material Rodante

El total de costos del material rodante del metro elevado, está constituido por los componentes de la Tabla 21.

Tabla 21 Metro elevado. Composición del Capex del Material Rodante

| |
|---|
| COSTOS DIRECTOS MATERIAL RODANTE |
| ADMINISTRACIÓN |
| Impuestos |
| Garantías |
| IMPREVISTO |
| UTILIDAD |
| IVA SOBRE LA UTILIDAD |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

Para realizar la evaluación costo beneficio, hemos separado los impuestos, los imprevistos y el IVA sobre la utilidad. De esta forma la composición del presupuesto de Material Rodante se observa en la Tabla 22.

Tabla 22 Metro Elevado. Costo del Material Rodante a efectos de Costo - Beneficio

| |
|------------------------|
| COSTOS DIRECTOS |
| ADMINISTRACIÓN |
| Garantías |
| UTILIDAD |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

La siguiente fórmula explica el cálculo del costo de material rodante a partir de los datos de Capex:

Ecuación 4

$$\text{Material Rodante} = \text{Costo Directo Material Rodante} + (\text{AIU} - (\text{IVA sobre la Utilidad} + \text{Impuestos} + \text{Imprevistos}))$$

9.2.6 Otros costos directos

Los otros costos directos (Predios + Redes) e (Interventoría + PMO) no son objeto de AIU, por cuanto los mismos son ejecutados directamente por la entidad pública.

Con el objetivo de convertir los precios de mercado a precios sombra, el estructurador técnico aportó una tabla desagregada que permite aplicar las razones de precio-cuenta (RPC). En la Tabla 23 se refleja esta clasificación.

Tabla 23 Clasificación del Capex a efectos de cálculo de precios-sombra

| |
|--|
| Estudios y diseños |
| Mano de obra no calificada |
| Mano de obra calificada |
| Obra civil |
| Mano de obra no calificada |
| Mano de obra calificada |
| Obras civiles |
| Equipos |
| Mano de obra nacional |
| Mano de obra internacional |
| Equipo nacional |
| Equipo internacional |
| Adquisición de Material Rodante |
| Mano de obra nacional |
| Mano de obra internacional |
| Equipo nacional |
| Equipo internacional |
| Predios y redes |
| Mano de obra no calificada |
| Mano de obra calificada |
| Obras civiles |
| Interventoría y PMO |
| Mano de obra no calificada |
| Mano de obra calificada |

Fuente: Estructuración técnica SYTRA

Una vez discriminado el presupuesto de Capex del metro elevado, se aplicaron las razones de precio cuenta indicadas en la Tabla 24.

Tabla 24 Razones de precio-cuenta utilizados para el metro elevado

| Descripción | RPC | Fuente | Tipo |
|-----------------------------------|------|--------|---|
| Mano de obra no calificada | 0,46 | BID | Mano de obra no calificada, sectores de elevadas prestaciones |
| Mano de obra calificada | 0,87 | BID | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Obras civiles | 0,79 | BID | Construcción Industrial (5050-0) |
| Mano de obra nacional | 0,87 | BID | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Mano de obra internacional | 1 | BID | Mano de obra extranjera |
| Equipo nacional | 0,77 | BID | Otras fabricaciones de productos metálicos, maquinaria y equipo (agregadas a dos dígitos CIU) |
| Equipo internacional | 1 | BID | |
| Interventorías fase de obra | 0,68 | SYSTRA | |
| Reconfiguración Av. Villavicencio | 0,8 | BID | FC inversión transporte (9000-3) |

Fuente: (Cervini, 1990), (SYSTRA Entregable 5, 2016)

Una vez calculados los precios económicos, la Tabla 25 presenta un resumen de los precios de mercado y los precios económicos para el Capex del Metro elevado una vez aplicados los RPC:

Tabla 25. Precios de Mercado y Económicos Metro Elevado

| Descripción | Precios de mercado | Precio económico |
|---------------------|--------------------|------------------|
| Obra civil | 6.524.740 | 4.542.709 |
| Estudios y diseños | 195.742 | 148.029 |
| Equipos | 1.957.221 | 1.707.361 |
| Material rodante | 1.481.327 | 1.332.541 |
| Predios y redes | 2.026.185 | 1.955.574 |
| Interventoría y PMO | 355.566 | 288.517 |
| Total | 12.540.781 | 9.974.731 |

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se analizó el cronograma de ejecución del metro elevado entregado por el estructurador técnico tal y como se observa en la Tabla 26.

Tabla 26. Cronograma de ejecución del Metro Elevado

| Cronograma | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Obra civil | 12.1% | 12.2% | 18.1% | 26.9% | 22.2% | 8.5% |
| Estudios y diseños | 12.1% | 12.2% | 18.1% | 26.9% | 22.2% | 8.5% |
| Equipos | 12.1% | 12.2% | 18.1% | 26.9% | 22.2% | 8.5% |
| Material rodante | 12.1% | 12.2% | 18.1% | 26.9% | 22.2% | 8.5% |
| Predios y redes | 12.1% | 12.2% | 18.1% | 26.9% | 22.2% | 8.5% |
| Interventoría y PMO | 12.1% | 12.2% | 18.1% | 26.9% | 22.2% | 8.5% |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA, Elaboración Propia

9.2.7 Opex

El Opex del metro elevado fue entregado por el estructurador técnico en el mismo informe que el Capex. El desglose de costo incluye los capítulos indicados en la Tabla 27.

Tabla 27 Discriminación del Opex del Metro Elevado

| Operación y mantenimiento de infraestructura |
|--|
| Señalización |
| costos de personal |

Operación y mantenimiento de infraestructura

costos de mantenimiento

costos de operación

Telemática y telecomunicaciones

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Vía férrea

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Viaducto

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Estaciones

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Programa de capacitación continua (pcc)

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Patio

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Seguridad física

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Suministro eléctrico

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Gestión mantenimiento instalaciones físicas

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Energía

costo por consumo (incluyendo fluidos)

costo por conexión

Operación y mantenimiento de material rodante

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Operación y mantenimiento del sistema de recaudo

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

operación externa

Pólizas de seguros

Costos de operación

Soporte administrativo

costos de personal

costos de mantenimiento

costos de operación

Agua

Operación y mantenimiento de infraestructura

Agua

Fuente: Estructuración Técnica SYSTRA

Para obtener el total del Opex se ha incluido la utilidad de las actividades de operación y mantenimiento, para la cual se ha supuesto un porcentaje del 5%.

Los precios económicos se calculan a partir de las RPC que se observan en la Tabla 28.

Tabla 28. Razones de precio de cuenta Opex metro elevado

| Descripción | RPC | Fuente | Tipo |
|--|--------|------------|---|
| Costos de Personal | 0,87 | DNP | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Costos de Mantenimiento | 0,8395 | World Bank | Mantenimiento |
| Costos de Operación | 0,8062 | World Bank | Operación de buses/ operación sistema de recaudo* |
| Operación externa | 1 | | |
| Costo por Consumo (incluyendo fluidos) | 0,9 | DNP | Energía eléctrica industrial (4141-0) |
| Costo por Conexión | 0,9 | DNP | Energía eléctrica industrial (4141-0) |
| Agua | 2,65 | DNP | Agua potable (4242-0) |
| Utilidad | 0,8 | DNP | Excedente bruto de explotación (p.m.), sector servicios |

Fuente: Estructuración técnica SYSTRA

Una vez aplicados las RPC, se obtuvieron los valores económicos del Opex del metro subterráneo. La Tabla adjunta indica el costo total del Opex en precios económicos:

Tabla 29 Total Costo de Opex a precios de mercado y de económicos Metro Elevado

| Opex | Precios de Mercado | Precios Económicos |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 2023-2052 | 5.501.205 | 4.725.272 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2017

9.2.8 Metro subterráneo

En los apartados que siguen se realiza la descripción de los cálculos realizados para obtener la base de los precios de mercado del Capex y Opex del Metro Subterráneo y su conversión en precios económicos.

9.2.9 Capex

El Capex del metro subterráneo fue obtenido del *"Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio, Entregable 5, Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original (Tabla 39 - Detalle de los costos de inversión por canasta, precios de mercado en millones de pesos corrientes 2016, sin AIU)"*¹⁸

Con el objetivo de convertir los precios de mercado a precios económicos, se ha discriminado cada actividad con el objetivo de aplicar las razones de precio-cuenta. Las actividades de estudios y diseños, y las concernientes a construcción de infraestructura, se han discriminado entre mano de obra calificada, mano de obra no calificada y lo concerniente exclusivamente a obra civil. La actividad de material rodante se discriminó entre mano de

¹⁸ (SYSTRA, 2016)

obra nacional e internacional, y equipo nacional e internacional. Lo anterior con el objetivo de aplicarle los precios sombra y convertirlos a precios económicos. Este ejercicio fue realizado con base en la discriminación para rubros equivalentes calculado por el estructurador técnico para el metro elevado, como se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30 Discriminación de las actividades del metro subterráneo para precios económicos

| | |
|---|----------------|
| Estudios y diseños | 100,00% |
| Mano de obra no calificada | 8,81% |
| Mano de obra calificada | 91,19% |
| Obras civiles | 0,00% |
| Infraestructura (Obra civil total) | 100,00% |
| Mano de obra no calificada | 7,95% |
| Mano de obra calificada | 1,21% |
| Obras civiles | 90,83% |
| Adquisición de Material Rodante | 100,00% |
| Mano de obra nacional | 1,24% |
| Mano de obra internacional | 3,72% |
| Equipo nacional | 2,48% |
| Equipo internacional | 92,56% |

Fuente: con base en la discriminación para rubros equivalentes de la estructuración técnica Systra para el metro elevado

Para el análisis del AIU de la obra, se han descontado los impuestos y el IVA sobre utilidad.

Para obtener los precios económicos, se han utilizado las RPC de la Tabla 31.

Tabla 31 Razones de precio de cuenta Capex metro subterráneo

| Descripción | RPC | Fuente | Tipo |
|-----------------------------------|------|--------|--|
| Mano de obra no calificada | 0,46 | DNP | Mano de obra no calificada, sectores de elevadas prestaciones |
| Mano de obra calificada | 0,87 | DNP | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Obras civiles | 0,8 | BID | FC inversión transporte (9000-3) |
| Mano de obra nacional | 0,87 | DNP | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Mano de obra internacional | 1 | DNP | Mano de obra extranjera |
| Equipo nacional | 0,77 | DNP | Otras fabricaciones de productos metálicos, maquinaria y equipo (agregadas a dos dígitos CIIU) |
| Descripción | RPC | Fuente | Tipo |
| Equipo internacional | 1 | DNP | |
| Manejo ambiental y social | 0,68 | SYSTRA | |
| Desvíos y manejo tráfico | 0,68 | SYSTRA | |
| Predios y legalización | 1 | SYSTRA | |
| Interventorías fase de obra | 0,68 | SYSTRA | |
| Reconfiguración Av. Villavicencio | 0,8 | BID | FC inversión transporte (9000-3) |
| AIU | 1 | | |

Fuente: (Cervini, 1990). (SYSTRA Entregable 5, 2016)

Una vez calculados los precios económicos, la Tabla 32 presenta un resumen de los precios de mercado y los precios económicos.

Tabla 32 Precios de Mercado y Económicos Metro Subterráneo

| Descripción | Precios de mercado | Precio económico |
|---|--------------------|-------------------|
| Estudios y diseños | 499.172 | 416.258 |
| Infraestructura (Obra civil total) | 3.574.280 | 2.975.290 |
| Estaciones | 3.369.681 | 2.484.170 |
| Patios y terminales | 442.260 | 342.222 |
| Instalación sistema ferroviario | 1.009.619 | 781.246 |
| Adquisición de Material Rodante | 1.587.600 | 1.575.988 |
| AIU (descuento para impuestos e IVA sobre utilidad) | 1.363.979 | 1.363.979 |
| Otros costos | 2.358.617 | 1.884.379 |
| Total | 14.205.208 | 11.823.532 |

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se analizó el cronograma de ejecución del metro subterráneo entregado por la empresa metro con base en los estudios realizado por el Consorcio Línea 1, tal y como se observa en la Tabla 33.

Tabla 33 Cronograma de inversión del metro subterráneo

| Cronograma | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| Estudios y diseños | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Obra Civil | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Estaciones | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Patios y Terminales | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Sistema ferroviario | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Material Rodante | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Manejo ambiental y social | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Desvíos y manejo de tránsito | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Predios y legalización | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Interventoría fase de obra | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |
| Reconfiguración Av. Villavicencio | 9,0% | 18,0% | 20,0% | 22,0% | 22,0% | 9,0% |

Fuente: Elaboración propia en base a estudios realizados por el Consorcio Línea 1

9.2.10 Opex

El Opex del metro subterráneo, fue suministrado por la Empresa Metro de Bogotá para los años 2022 y 2030 (en valores constantes de 2014) como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. OPEX del metro subterráneo (COP2014)

| 2022 | 2030 |
|-------------------|--------------------|
| \$ 99.064.744.081 | \$ 113.489.717.026 |

Fuente: Empresa Metro de Bogotá

Dichos valores fueron actualizados a 2016 para realizar los cálculos tal y como se observa en la Tabla 35.

Tabla 35. OPEX del metro subterráneo (COP2016)

| 2022 | 2030 |
|--------------------|--------------------|
| \$ 119.425.751.671 | \$ 136.815.522.904 |

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos, se estimó un crecimiento anual del Opex del 1,71% con el cual se obtuvieron los costos de operación para cada uno de los años entre el periodo 2023-2052.

Una vez dispuestos los costos de Opex para cada año a precios de mercado y con el objetivo de obtener los precios económicos, se descompuso en los capítulos presentados en la Tabla 36 de conformidad con los porcentajes señalados obtenidos de rubros semejantes del metro elevado:

Tabla 36 Metro Subterráneo. Descomposición del Opex

| | |
|--|-------|
| Operación y mantenimiento de infraestructura | 29,2% |
| Energía | 70,8% |

Fuente: Estructuración técnica Systra

Con el objetivo de aplicar las RPC, cada capítulo se discriminó de conformidad con rubros equivalentes del metro elevado, con el resultado que se presenta en la Tabla 37.

Tabla 37 Metro Subterráneo. Discriminación por capítulos del Opex a efectos de aplicación de precios económicos

| Descripción | % |
|---|-------|
| Operación y mantenimiento de infraestructura | |
| Costos de Personal | 75,8% |
| Costos de Mantenimiento | 11,4% |
| Costos de Operación | 12,7% |
| Energía | |
| Costos por consumo | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Para obtener los precios económicos, se utilizaron las RPC de la Tabla 38.

Tabla 38 Metro Subterráneo. Razones de precio de cuenta Opex

| Descripción | RPC | Fuente | Tipo |
|--|--------|------------|---|
| Costos de Personal | 0,87 | DNP | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Costos de Mantenimiento | 0,8395 | World Bank | Mantenimiento |
| Costos de Operación | 0,8062 | World Bank | Operación de buses/ operación sistema de recaudo* |
| Costo Por Consumo (incluyendo fluidos) | 0,9 | DNP | Energía eléctrica industrial (4141-0) |
| Utilidad | 0,8 | DNP | Excedente bruto de explotación (p.m.), sector servicios |

Fuente: (Cervini, 1990), (SYSTRA Entregable 5, 2016)

Una vez aplicados las RPC, se obtuvieron los valores económicos del Opex del metro subterráneo. La Tabla 39 indica el costo total del Opex en precios de mercado y precios económicos¹⁹:

Tabla 39 Metro Subterráneo. Total Costo de Opex a precios de mercado y de económicos

| Opex | Precios de Mercado | Precios Económicos |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 2023-2052 | 4.712.933 | 4.290.945 |

¹⁹ Los cálculos de OPEX se estimaron con base en los costos de referencia por kilómetro de tren operado determinados en los estudios de costos de operación y mantenimiento de cada proyecto, y los cuales fueron multiplicados por los kilómetros de operación de cada línea según las estimaciones del modelo de demanda y bajo los mismo supuestos de demanda. Este análisis, aun cuando sustentado, muestra deficiencias ya que el OPEX del proyecto Subterráneo resulta menor que el elevado aun cuando la línea es de mayor longitud y existen mayores costos implícitos en su operación y mantenimiento, principalmente por el consumo de energía. Las discrepancias se presentan principalmente debido a que la estructura de costos de operación y mantenimiento fue realizada en cada proyecto por dos consultores diferentes que pueden tener diferentes supuestos en sus insumos y forma de cálculos, haciendo difícil homologar los dos ejercicios.

Fuente: Elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

9.2.11 Nuevas troncales de Transmilenio

La alternativa de Metro Elevado considera la realización de tres nuevas troncales de Transmilenio. Estas troncales, al no estar incluidas en el resto de los escenarios (Escenario Base y Metro Subterráneo)²⁰ deben ser incluidas en los costos directos de construcción y mantenimiento.

A continuación, se realiza la descripción de los cálculos realizados para obtener la base de los precios de mercado del Capex y Opex (sólo mantenimiento²¹) de las troncales de Transmilenio para convertirlos a precios económicos.

9.2.12 Capex

Para realizar la valoración del Capex de las troncales de Transmilenio incluidos en el Escenario de metro elevado, se han utilizado los datos suministrados por Transmilenio S.A. En la Tabla 40 y Tabla 41 Troncales de Transmilenio en el escenario de Metro elevado. Costo de la infraestructura Avenida Séptima, se resumen los costos estimados para cada una de las troncales.

El presupuesto presentado a y aplicado como costo en el modelo CB no considera la bolsa de imprevistos que, en el caso de las tres troncales CONPES es del 30% sobre los costos directos de la obra (sin incluir los predios) y en la troncal de la Séptima y prolongación sur de la Caracas, es del 15%.

Tabla 40 Troncales de Transmilenio en el escenario de Metro elevado. Costo de la infraestructura Av. Ciudad de Cali, Av. 68 y Troncal Boyacá

| | TRONCAL AV. CIUDAD DE CALI | TRONCAL AV. 68. | TRONCAL BOYACA - AUTO SUR - CL 26. |
|---|----------------------------------|---------------------|--|
| Obra civil | \$ 183.916 | \$ 397.864 | \$ 217.167 |
| Estructuras-Patios-Estaciones | \$ 67.160 | \$ 212.100 | \$ 33.090 |
| Redes | \$ 7.881 | \$ 61.320 | \$ 88.420 |
| Subtotal Costo Directos de Obra. | \$ 258.958 | \$ 671.285 | \$ 338.676 |
| AIU 30%. | \$ 77.687 | \$ 201.385 | \$ 101.603 |
| Subtotal AIU | \$ 336.645 | \$ 872.670 | \$ 440.279 |
| Social | \$ 7.769 | \$ 21.820 | \$ 10.160 |
| PMT | \$ 4.661 | \$ 43.640 | \$ 6.096 |
| Ambiental y SST | \$ 15.537 | \$ 43.640 | \$ 20.321 |
| Consultoría - POE 2017 | \$ 5.265 | \$ 14.449 | \$ 4.912 |
| Interventoría de Consultoría - POE 2017 | \$ 771 | \$ 2.013 | \$ 1.021 |
| Interventoría de Obra | \$ 25.523 | \$ 68.724 | \$ 33.380 |
| Subtotal Sin Predios | \$ 396.171 | \$ 1.066.957 | \$ 516.170 |

²⁰ El Escenario Base incluye la construcción y servicio de varias nuevas troncales que se agregan también a los escenarios de Metro elevado y Subterráneo. Como se explica en el capítulo de generación de escenarios, estas troncales son el mínimo común denominador para todos los escenarios y refleja la mínima realización de infraestructura de transporte público, se haga o no el Metro. En esta versión del informe no se incluyen los costos de mantenimiento de la infraestructura.

²¹ Se considera sólo la inversión de la infraestructura y no la flota o los costos de operación. Estos costos se han incluido en el cálculo de costos de operación del transporte público y se basan en las retribuciones de Transmilenio a los operadores. Estas retribuciones incluyen los costos de operación puros y la amortización del material rodante.

| | TRONCAL AV. CIUDAD DE CALI | TRONCAL AV. 68. | TRONCAL BOYACA - AUTO SUR - CL 26. |
|-----------------|----------------------------------|---------------------|--|
| SUBTOTAL | \$ 396.171 | \$ 1.066.957 | \$ 516.170 |
| Predios | \$ 188.476 | \$ 667.454 | \$ 435.000 |
| Total | \$ 584.647 | \$ 1.734.411 | \$ 951.170 |

Fuente: Elaboración propia a partir de costos de troncales de Transmilenio aportados por la empresa. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

Tabla 41 Troncales de Transmilenio en el escenario de Metro elevado. Costo de la infraestructura Avenida Séptima

| | Avenida Séptima | Prolongación Caracas |
|---|------------------|----------------------|
| Subtotal Costo Directos de Obra. | 1.114.770 | 139.556 |
| AIU 30%. | 334.431 | 41.866 |
| Subtotal AIU | 1.449.201 | 181.423 |
| Social | 167.215 | 20.933 |
| PMT | 113.149 | 14.164 |
| Subtotal Sin Predios | 1.729.565 | 216.521 |
| SUBTOTAL | 1.729.565 | 216.521 |
| Predios | 350.000 | 51.000 |
| Total | 2.079.565 | 267.521 |

Fuente: Elaboración propia a partir de costos de troncales de Transmilenio aportados por la empresa. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

Con el presupuesto general de cada troncal, se procedió a discriminarlos para aplicar los coeficientes de precios económicos. En las actividades de estudios y diseños, se ha discriminado entre mano de obra calificada y mano de obra no calificada, y las concernientes a infraestructura en obra civil, mano de obra calificada y mano de obra no calificada. Este ejercicio fue realizado con base en la discriminación para rubros equivalentes aportado por el estructurador técnico del Metro elevado, como se indica en la Tabla 42.

Tabla 42 Troncales de Transmilenio. Discriminación de costos a efectos de precios económicos

| | |
|--|----------------|
| Consultoría | 100,00% |
| Mano de obra no calificada | 8,81% |
| Mano de obra calificada | 91,19% |
| Infraestructura (Obra civil, estructuras, patios estaciones, redes) | 100,00% |
| Mano de obra no calificada | 7,95% |
| Mano de obra calificada | 1,21% |
| Obras civiles | 90,83% |

Fuente: con base en la discriminación para rubros equivalentes de la estructuración técnica Systra para el metro elevado

Para obtener los precios económicos, se ha utilizado las RPC de la tabla adjunta.

Tabla 43 Troncales de Transmilenio. Razones de precio-cuenta

| Descripción | RPC | Fuente | Tipo |
|----------------------------|------|--------|---|
| Mano de obra no calificada | 0,46 | DNP | Mano de obra no calificada, sectores de elevadas prestaciones |

| | | | |
|-----------------------------|------|--------|---|
| Mano de obra calificada | 0,87 | DNP | Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones |
| Obras civiles | 0,8 | DNP | Construcción Industrial (5050-0) |
| Manejo ambiental y social | 0,68 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |
| Desvíos y manejo tráfico | 0,68 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |
| Predios y legalización | 1 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |
| Interventorías fase de obra | 0,68 | SYSTRA | Estudio preliminar Metro SYSTRA |
| Utilidad | 0.8 | DNP | Excedente bruto de explotación (p.m.), sector servicios |

Fuente: (DNP) Estimación de precios de cuenta para Colombia de Héctor Cervini con la colaboración de Clara I. Bello, Rafael Cubillos, William Delgado, Raúl Castro, Kareen Mokate

Una vez aplicados los precios sombra la Tabla 44, Tabla 45, Tabla 46 y Tabla 47 reflejan un resumen de los precios de mercado y los precios económicos para cada troncal:

Tabla 44 Precios de Mercado y Económicos troncal Boyacá (Autosur - Calle 26)

| Descripción | Precios de mercado | Precios económicos |
|---|--------------------|--------------------|
| Obra civil | 217.167 | 168.044 |
| Estructuras-Patios-Estaciones | 33.090 | 25.605 |
| Redes | 88.420 | 68.420 |
| Subtotal Costo Directos de Obra. | 338.676 | 262.069 |
| AIU 30%. | 101.603 | 44.421 |
| Subtotal AIU | 440.279 | 306.489 |
| Social | 10.160 | 6.909 |
| PMT | 6.096 | 4.145 |
| Ambiental y SST | 20.321 | 13.818 |
| Consultoría - POE 2017 | 4.912 | 4.096 |
| Interventoría de Consultoría - POE 2017 | 1.021 | 695 |
| Interventoría de Obra | 33.380 | 22.698 |
| Subtotal Sin Predios | 516.170 | 358.851 |
| Predios | 435.000 | 435.000 |
| Total | 951.170 | 793.851 |

Fuente: elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

Tabla 45 Precios de Mercado y Económicos troncal Avenida 68

| Descripción | Precios de mercado | Precios económicos |
|---|--------------------|--------------------|
| Obra civil | 397.864 | 307.869 |
| Estructuras-Patios-Estaciones | 212.100 | 164.124 |
| Redes | 61.320 | 47.450 |
| Subtotal Costo Directos de Obra. | 671.285 | 519.442 |
| AIU 30%. | 201.385 | 88.045 |
| Subtotal AIU | 872.670 | 607.487 |
| Social | 21.820 | 14.838 |
| PMT | 43.640 | 29.675 |
| Ambiental y SST | 43.640 | 29.675 |
| Consultoría - POE 2017 | 14.449 | 12.049 |
| Interventoría de Consultoría - POE 2017 | 2.013 | 1.369 |
| Interventoría de Obra | 68.724 | 46.732 |
| Subtotal Sin Predios | 1.066.957 | 741.826 |
| Predios | 667.454 | 667.454 |
| Total | 1.734.411 | 1.409.280 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

Tabla 46 Precios de Mercado y Económicos troncal Ciudad de Cali

| Descripción | Precios de mercado | Precios económicos |
|---|--------------------|--------------------|
| Obra civil | 183.916 | 142.315 |
| Estructuras-Patios-Estaciones | 67.160 | 51.969 |
| Redes | 7.881 | 6.099 |
| Subtotal Costo Directos de Obra. | 258.958 | 200.382 |
| AIU 30%. | 77.687 | 33.965 |
| Subtotal AIU | 336.645 | 234.347 |
| Social | 7.769 | 5.283 |
| PMT | 4.661 | 3.170 |
| Ambiental y SST | 15.537 | 10.565 |
| Consultoría - POE 2017 | 5.265 | 4.390 |
| Interventoría de Consultoría - POE 2017 | 771 | 524 |
| Interventoría de Obra | 25.523 | 17.356 |
| Subtotal Sin Predios | 396.171 | 275.635 |
| Predios | 188.476 | 188.476 |
| Total | 584.647 | 464.111 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

Tabla 47 Precios de Mercado y Económicos troncal Avenida Séptima y prolongación Caracas

| Descripción | Precios de mercado | Precios económicos |
|----------------------|--------------------|--------------------|
| Séptima | 2.079.565 | 1.752.562 |
| Prolongación Caracas | 267.521 | 225.455 |
| TOTAL | 2.347.086 | 1.978.017 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

El cronograma de ejecución de Transmilenio se estimó teniendo en cuenta la longitud de cada troncal. De esta forma para las troncales con menos de 10 km, se estimó un plazo de 3 años, y para las troncales de más de 10 km, se estimó un plazo de 4 años. La Tabla 48 y la Tabla 49 presentan la distribución de costos de acuerdo con estos cronogramas para cada troncal.

Tabla 48 Cronograma de referencia para las troncales Boyacá y Avenida ciudad de Cali

| Descripción | 2021 | 2022 | 2023 |
|--|------|------|------|
| Obra civil | 23% | 52% | 25% |
| Estructuras-Patios-Estaciones | 23% | 52% | 25% |
| Redes | 23% | 52% | 25% |
| Otros (interventoría, Social, Ambiental) | 23% | 52% | 25% |
| Predios | 23% | 52% | 25% |

Fuente: Elaboración propia en base al cronograma enviado por el estructurador técnico

Tabla 49 Cronograma de referencia para la troncal Avenida 68

| Descripción | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|--|------|------|------|------|
| Obra civil | 22% | 35% | 34% | 9% |
| Estructuras-Patios-Estaciones | 22% | 35% | 34% | 9% |
| Redes | 22% | 35% | 34% | 9% |
| Otros (interventoría, Social, Ambiental) | 22% | 35% | 34% | 9% |
| Predios | 22% | 35% | 34% | 9% |

Fuente: Elaboración propia en base al cronograma enviado por el estructurador técnico

9.2.13 Opex

En el concepto de OPEX solo se incluyen los costos de mantenimiento de la infraestructura de las troncales de Transmilenio. Los costos de operación son tratados en el apartado de impactos económicos en la operación de vehículos de transporte público.

En el caso de los costos de mantenimiento, no se ha podido disponer para este documento de la información de base solicitada a Transmilenio S.A. Una vez obtenida, se incorporará a la línea de OPEX del Escenario de Metro Elevado.

9.3 Resumen de costos directos

La Tabla 50 y Tabla 51 presentan el resumen de los costos de Capex y Opex para el metro elevado, metro subterráneo y las tres troncales de Transmilenio.

Tabla 50. Resumen Capex (precios económicos)

| Metro elevado | Metro Subterráneo | Transmilenio (5 troncales) |
|----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 9.974.242 | 11.823.532 | 4.645.259 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

Tabla 51. Resumen Opex (precios económicos)

| Metro elevado | Metro Subterráneo |
|----------------------|--------------------------|
| 5.122.091 | 4.662.365 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016

10 Cuantificación de impactos

10.1 El modelo de demanda

- 10.1.1 Para la estimación de los ahorros de tiempo, costos de operación y emisión de contaminantes, tanto en transporte público como en vehículo privado, se ha utilizado la base informativa del Modelo de Demanda (MD-SdM) construido y mantenido por la Secretaría de Movilidad. Se trata de un modelo con base en Emme4, de cuatro fases (generación-atracción, distribución, reparto modal y asignación).
- 10.1.2 Este modelo fue creado en 2011 a partir de la encuesta domiciliaria de movilidad y ha sido constantemente actualizado y utilizado en numerosos análisis y proyectos de infraestructura vial y transporte masivo. En el proyecto de Metro, el MD-SdM se ha utilizado para la estimación de la demanda en Metro, así como para el dimensionamiento de la operación de la línea.
- 10.1.3 En el caso del análisis costo/beneficio, la base del modelo (situación actual) es el año 2016 mientras que los horizontes de referencia, sobre los que se realizan asignaciones son 2022 y 2030.
- 10.1.4 Con el MD-SdM se han realizado asignaciones que permiten obtener los siguientes resultados:
- Ahorros de tiempo por estratos sociales, agrupados en cuatro categorías (estratos 1-2, estrato 3, estrato 4 y estratos 5-6)
 - Ahorros de tiempo por modo de transporte: i) transporte público (diferenciando metro, troncales, zonales-transporte-convencional en bus); ii) Vehículo privado (diferenciando auto, moto, taxi, camión grande y camión pequeño).
 - Vehículos x km en todas las clasificaciones anteriores
- 10.1.5 Se han construido tres escenarios de simulación, coincidentes con los escenarios indicados en el capítulo 8: un escenario Base, el Escenario de Metro Elevado y el Escenario de Metro Subterráneo. Los escenarios están desarrollados y descritos en el Capítulo 8. Como se indica en dicho capítulo, los escenarios tienen las siguientes características para el horizonte temporal 2022:
- Escenario Base: no es un escenario “no hacer nada” sino que incluye aquellas troncales de Transmilenio que, fuera del proyecto de metro, es muy probable que estén en servicio a partir de 2022.
 - Escenario Metro Elevado: Sobre el escenario Base incluye la línea de Metro Elevado y las troncales incluidas en el documento CONPES 3882 más la troncal de la Carrera Séptima y prolongación de la Caracas.
 - Escenario Metro Subterráneo: sobre el escenario Base se incluye la Línea de Metro Subterráneo más la troncal de la Carrera Séptima.

En el horizonte temporal 2030 el escenario es similar al 2022 ya que el nivel de incertidumbre sobre las actuaciones en transporte público a largo plazo, es alto²².

- 10.1.6 Red vial: no se han establecido escenarios de infraestructura vial distintos de los de la situación actual (2016). En el modelo no se han considerado ampliaciones o restricciones de capacidad en la red vial. El objeto del análisis es comparar escenarios de transporte público por lo que no se ha visto conveniente aventurar hipótesis de capacidad vial.
- 10.1.7 El proceso de simulación del modelo y estimación de resultados ha sido el siguiente:
1. Sobre las matrices de viajes totales y separadas por modos (transporte público, auto, moto, taxi) y estratos, disponibles para la situación actual, 2022 y 2030, se ha realizado una distribución modal sobre los escenarios de referencia, de manera que se pueda estimar los cambios en cada matriz, producidos por las diferencias de costo generalizado entre el transporte público y el privado.
 2. Estas matrices, que incluyen ya la captación de viajes al transporte público, han sido asignadas a la red de transporte público y de vehículo privado, en los horizontes temporales 2022 y 2030.
 3. Para la asignación, se ha considerado una clara limitación de este tipo de modelos: no es factible establecer restricciones de capacidad en la red de transporte público. Este problema se ha resuelto introduciendo, en el Escenario Base, una penalización en el tiempo de parada de los autobuses Transmilenio con recorrido troncal. Se ha hecho para aquellos corredores que tienen demanda por encima del umbral de saturación. Este punto se explica en detalle en el Anexo 1.
 4. Los resultados permiten obtener:
 - Demanda de pasajeros por estratos y modos de transporte
 - Vehículos x km y pasajeros x km según las categorías anteriores
 - Tiempos de viaje totales (en transporte público, tiempo de acceso, viaje, transbordo y egreso; y en vehículo privado, solo tiempo de viaje)
 - Tiempos promedio; es decir, minutos/viaje por modo de transporte.
- 10.1.8 Para estimar la evolución de los resultados del modelo a largo plazo (2030-2053) se ha prolongado la tendencia 2022-2030 sin modificaciones al alza o a la baja ya que no se dispone de información que permita justificar cambios en la misma.
- 10.1.9 A partir de los resultados del modelo, se ha construido un **Caso Base** (o **Caso Medio**), correspondiente a una estimación realista de la demanda captada por el transporte público. En este Caso, la movilidad en transporte público, en los escenarios de metro, crece un 0,30% anual entre 2022 y 2030. Este crecimiento es inferior al estimado en las previsiones de demanda del metro (crecimiento de los viajes de en transporte público, del 0,47% anual en el estudio de Estructuración Técnica) y representa una cierta transferencia modal desde el vehículo privado.

²² La Secretaría Distrital de Movilidad aportó al Deloitte las matrices para su asignación, así como los escenarios de infraestructura contemplados en el Escenario Base, el de Metro Elevado y el Subterráneo. Estos insumos se recibieron en formato Excel (matrices, posteriormente convertidas a formato emme) y en formatos específicos del software emme, de planificación (escenarios de infraestructura y operación).

10.2 Caso Base

- 10.2.1 Los puntos que siguen exponen el Caso Base (Caso Medio); es decir, el resultado de referencia más realista o de probabilidad media para el cálculo de los tiempos de viaje y operación. Este Caso constituye la base en el cálculo de beneficios. Posteriormente se desarrollan los Casos Conservador y Optimista.
- 10.2.2 Las tablas siguientes reflejan los resultados en i) demanda de viajes, ii) vehículos x km, iii) tiempos totales de viaje para el transporte público, el vehículo privado y el total de movilidad motorizada.
- 10.2.3 Matrices de viaje y demanda

Tabla 52 Caso Medio. Demanda de viajes²³

| DEMANDA (Pax HP) | T. Publico | | | t.a.a. | | |
|------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. |
| 2022 (asign) | 650.789 | 651.267 | 651.138 | | | |
| 2030 (asign) | 656.161 | 667.062 | 666.930 | 0,10% | 0,30% | 0,30% |
| 2050 (tend) | 669.786 | 708.248 | 708.107 | 0,10% | 0,30% | 0,30% |

| DEMANDA (Pax HP) | Privado | | | t.a.a. | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. |
| 2022 (asign) | 360.791 | 358.788 | 359.445 | | | |
| 2030 (asign) | 454.308 | 441.926 | 442.366 | 2,92% | 2,64% | 2,63% |
| 2050 (tend) | 831.922 | 762.909 | 761.726 | 2,92% | 2,64% | 2,63% |

| | | | |
|-------------|-------|-------|-------|
| VP | 3,17% | 2,84% | 2,84% |
| MOTO | 3,72% | 3,44% | 3,39% |
| TAXI | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

| DEMANDA (Pax HP) | TOTAL | | | t.a.a. | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. |
| 2022 (asign) | 1.011.580 | 1.010.055 | 1.010.583 | | | |
| 2030 (asign) | 1.110.469 | 1.108.988 | 1.109.296 | 1,17% | 1,17% | 1,17% |
| 2050 (tend) | 1.501.708 | 1.471.156 | 1.469.833 | 1,17% | 1,17% | 1,17% |

Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

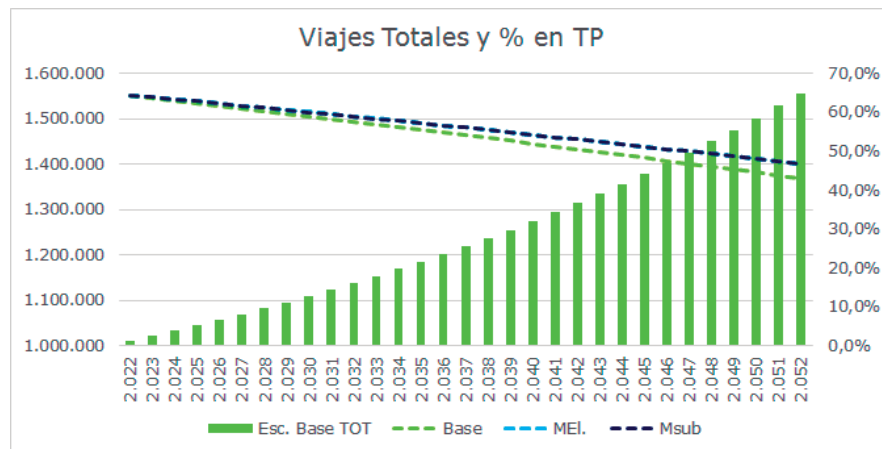
- 10.2.4 Matrices de viaje y tasas de crecimiento. Las matrices de viajes aplicadas son las estimadas por la Secretaria Distrital de Movilidad para un caso de probabilidad media de captación del transporte público. Es de hacer notar que la movilidad total no cambia entre el escenario Base (no proyecto) y los escenarios con proyecto de metro. Los cambios se dan en los viajes en transporte público y su tasa de crecimiento 2022-2030. Esta tasa es del 0,30% anual para los dos escenarios de proyecto.
- 10.2.5 Con tasas de los escenarios de proyecto son similares (0,30%), se favorece ligeramente al metro subterráneo ya que la oferta de transporte público en el escenario de metro elevado es superior, por lo que sería previsible contar con mayor crecimiento de los viajes en el mismo.

²³ La demanda de viajes en vehículo privado no incluye los movimientos de camiones ya que estos están modelizados como vehículos y no como viajes. No obstante, en el cálculo del tiempo de viaje sí se incluyen los tiempos de viaje de estos vehículos.

10.2.6 El Caso Base es:

1. En lo que se refiere a la movilidad total, es acorde en crecimiento con el crecimiento demográfico de Bogotá. Los crecimientos de la movilidad suelen ser mayores que los demográficos, por lo que un crecimiento equivalente al demográfico se sitúa del lado de la seguridad.
2. La movilidad en transporte público se sitúa en una posición intermedia, por debajo de las previsiones del estudio de demanda de la Estructuración Técnica. De hecho, la participación del transporte público en el total de la movilidad desciende a lo largo de los años, como puede verse en la figura adjunta.
3. Asimismo, y también en la figura adjunta, puede comprobarse que no existen diferencias entre el escenario de metro elevado y subterráneo (se superponen las curvas de captación). Esta es una posición que favorece al metro subterráneo, que no tiene troncales Transmilenio alimentadoras, y debería captar una porción menor de movilidad en transporte público.

Figura 16 Participación del Transporte público en la movilidad motorizada



Fuente: Elaboración propia

10.2.7 Movilidad: vehículos x km

Tabla 53 Modelo MD-SDM. Vehículos x Km en hora pico (salidas del modelo de demanda)

| VEH X KM (Hp) | T. Publico | | | Tasa anual 2022-2030 | | |
|---------------|------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. |
| 2022 (asign) | 216.564 | 212.470 | 214.826 | | | |
| 2030 (asign) | 216.564 | 212.470 | 214.826 | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 2050 (tend) | 216.564 | 212.470 | 214.826 | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

| VEH X KM (Hp) | Privado | | | t.a.a. | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. |
| 2022 (asign) | 2.591.707 | 2.574.414 | 2.585.255 | | | |
| 2030 (asign) | 3.235.433 | 3.150.192 | 3.158.769 | 2,81% | 2,56% | 2,54% |
| 2050 (tend) | 5.633.762 | 5.217.757 | 5.212.600 | 2,81% | 2,56% | 2,54% |

| VEH X KM (Hp) | TOTAL | | | t.a.a. | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. |
| 2022 (asign) | 2.808.271 | 2.786.883 | 2.800.081 | | | |

| | | | | | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| 2030 (asign) | 3.451.997 | 3.362.662 | 3.373.596 | 2,61% | 2,38% | 2,36% |
| 2050 (tend) | 5.850.326 | 5.430.226 | 5.427.426 | 2,61% | 2,38% | 2,36% |

Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

- 10.2.8 La evolución de la movilidad, en vehículos x km, también refleja el crecimiento de la matriz de transporte público. Se aprecia la transferencia modal en forma de menos vehículos x km en la movilidad privada con los consiguientes ahorros en costos de operación.
- 10.2.9 No obstante, las salidas del modelo de demanda no reflejan los recorridos reales en los distintos modos de transporte público ya que éste replica las frecuencias de paso, pero no los recorridos totales por tipo de bus. En la modelación se ha realizado la hipótesis de oferta plana; es decir, sin cambios en el período 2022-2030. Este supuesto lleva a cargas en la red que no coinciden con la situación real, pero permiten estimar con cierta precisión los ahorros de tiempo.
- 10.2.10 Como se verá en el apartado 10.5, para el cálculo de los costos de operación del transporte público no se han utilizado las salidas del modelo referidas a vehículos x km. Tanto en el caso del Metro como en los servicios troncales Transmilenio y zonales de SITP, se ha utilizado una basada en IPK medios históricos en la red de transporte público.
- 10.2.11 Tiempos de viaje

Tabla 54 Modelo MD-SdM. Tiempos totales de viaje en hora pico (horas)

| TIEMPO (Horas Hp) | | T. Publico | | | Tasa anual 2022-2030 | | |
|-------------------|-----------|------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|--|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | |
| 2022 (asign) | 652.885 | 605.839 | 619.140 | | | | |
| 2030 (asign) | 704.187 | 637.639 | 656.033 | 0,95% | 0,64% | 0,73% | |
| 2050 (tend) | 850.777 | 724.637 | 758.170 | 0,95% | 0,64% | 0,73% | |

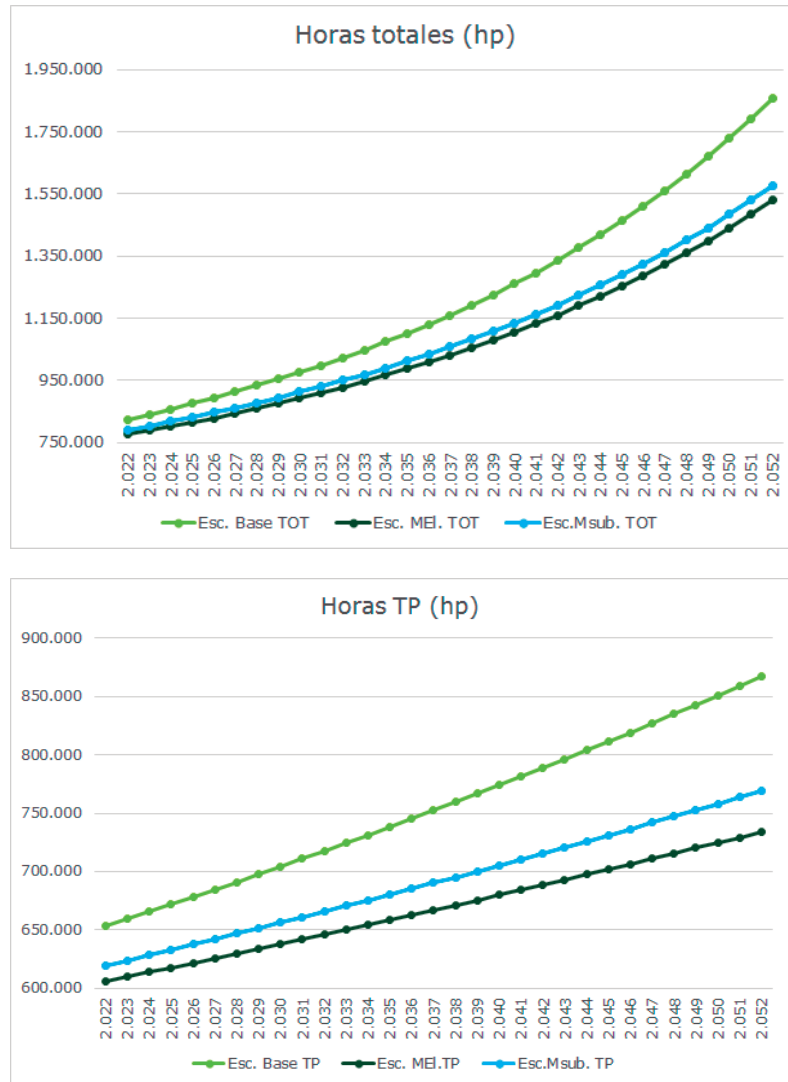
| TIEMPO (Horas Hp) | | Privado | | | Tasa anual 2022-2030 | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|--|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | |
| 2022 (asign) | 171.970 | 169.818 | 171.139 | | | | |
| 2030 (asign) | 271.440 | 254.141 | 256.591 | 5,87% | 5,17% | 5,19% | |
| 2050 (tend) | 877.582 | 716.186 | 725.978 | 5,87% | 5,17% | 5,19% | |

| TIEMPO (Horas Hp) | | TOTAL | | | Tasa anual 2022-2030 | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|--|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | |
| 2022 (asign) | 824.855 | 775.657 | 790.280 | | | | |
| 2030 (asign) | 975.627 | 891.781 | 912.624 | 2,12% | 1,76% | 1,82% | |
| 2050 (tend) | 1.728.359 | 1.440.823 | 1.484.148 | 2,12% | 1,76% | 1,82% | |

Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

- 10.2.12 Como los km recorridos, los tiempos de viaje son resultado del modelo de demanda. Las asignaciones del Escenario Base, Metro elevado y Metro Subterráneo arrojan diferencias en los tiempos de viaje en hora pico, derivados de una mejor oferta de transporte público y la mayor o menor facilidad para transitar de los vehículos privados en la red vial.
- 10.2.13 Las mayores tasas de crecimiento de los tiempos de viaje en transporte público se dan en el Escenario Base, precisamente por el efecto congestión en la red. Las menores tasas se dan, obviamente, en el escenario con más oferta de infraestructura, el Metro Elevado.

Figura 17 Tiempos de viaje de cada escenario (hora pico)



Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

10.2.14 Tiempos promedio

Tabla 55 Modelo MD-SdM. Tiempos promedio (min/viaje)

| TIEMPO PROMEDIO (Min/viaje Hp) | T. Publico | | | t.a.a. | | |
|--------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc. Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc. Msub. |
| 2022 (asign) | 60,2 | 55,8 | 57,1 | | | |
| 2030 (asign) | 64,4 | 57,4 | 59,0 | 0,85% | 0,34% | 0,42% |
| 2050 (tend) | 76,2 | 61,4 | 64,2 | 0,85% | 0,34% | 0,42% |

| TIEMPO PROMEDIO (Min/viaje Hp) | Privado | | | t.a.a. | | |
|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc. Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc. Msub. |
| 2022 (asign) | 28,6 | 28,4 | 28,6 | | | |
| 2030 (asign) | 35,8 | 34,5 | 34,8 | 2,86% | 2,46% | 2,5% |

| | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 2050 (tend) | 63,3 | 56,3 | 57,2 | 2,86% | 2,46% | 2,5% |
| TIEMPO PROMEDIO (Min/viaje Hp) | TOTAL | | t.a.a. | | | |
| Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc.Msub |
| 2022 (asign) | 48,9 | 46,1 | 46,9 | | | |
| 2030 (asign) | 52,7 | 48,2 | 49,4 | 0,94% | 0,58% | 0,64% |
| 2050 (tend) | 69,1 | 58,8 | 60,6 | 0,94% | 0,58% | 0,64% |

Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

10.2.15 El efecto de la mayor eficiencia de los escenarios con mayor oferta de transporte público puede observarse en los tiempos promedio. El aumento de los tiempos promedio a lo largo del período 2022-2030 es superior en el Escenario Base, más congestionado, que en los escenarios con metro.

10.2.16 También puede observarse los tiempos de viaje aumentan lentamente en el caso del transporte público (efecto derivado de aplicar en 2030 el mismo escenario 2022) o están prácticamente estabilizados en el vehículo privado (escasa mejora de las condiciones de tránsito al transferir muy pocos usuarios al transporte público).

10.2.17 Asimismo, los resultados contrastan con el primer estudio de evaluación económica “ex-ante” de la línea de metro subterráneo, donde los tiempos promedio eran mucho más altos en el escenario base que en el de metro²⁴.

10.2.18 Cabe indicar que el tiempo promedio en transporte público incluye el tiempo de caminata de acceso, tiempo de espera y tiempo de viaje propiamente dicho.

10.2.19 Ahorros de tiempo

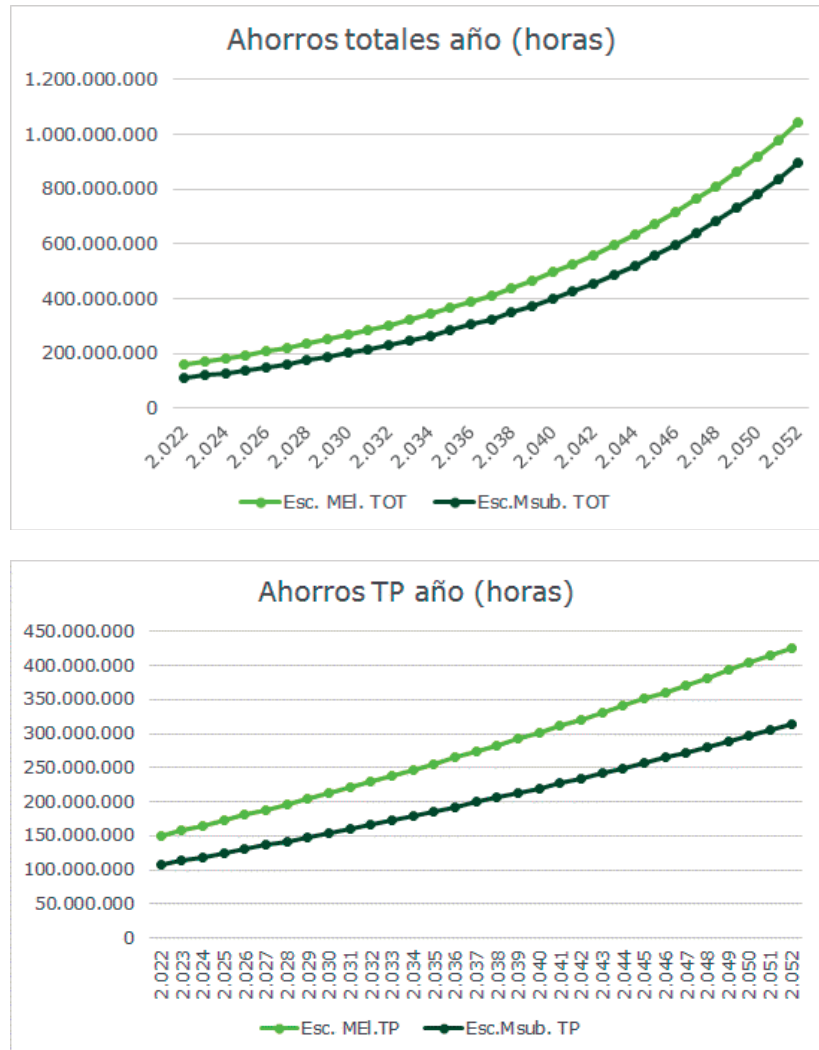
Tabla 56 ahorros de tiempo de los escenarios con metro

| AHORROS TIEMPO (AÑO) | Esc. MEI. | Esc.Msub. |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| T. Público | 8.644.574.928 | 6.299.888.345 |
| Privado | 6.165.516.936 | 5.687.968.856 |
| TOTAL | 14.810.091.865 | 11.987.857.202 |

Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

²⁴ La Evaluación Socioeconómica ex-ante del Proyecto “Primera Línea del Metro de Bogotá” (2014) estima, en su apartado 10.2.2.1, un tiempo promedio 2050 de 49,43 min en el Escenario Base y de 16,59 min en el escenario de proyecto (diferencia del -66,4% del tiempo por viaje. En la simulación realizada en este estudio, la diferencia es del -20% para el año 2050.

Figura 18 Ahorros de tiempo en los escenarios con Metro



Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

10.2.20 En la tabla y figuras anteriores, se indican los ahorros de tiempo en transporte público y vehículo privado. La principal componente de ahorro proviene del transporte público (un 58% del total en el caso del Metro Elevado) siendo minoritario el ahorro en el privado. Esta posición es también conservadora ya que son esperables mayores transferencias modales por una mayor y mejor oferta de transporte público.

10.3 Valor del tiempo

10.3.1 A partir de la encuesta de preferencias declaradas, realizada para efectos del análisis costo/beneficio y expuesta en el Capítulo 6, se ha estimado el valor del tiempo por estratos de población. En la encuesta se pedía información de uno de los viajes realizados en el día anterior (elegido de manera aleatoria). Este viaje se describía detalladamente considerando su costo, modo y motivo de viaje.

Respecto de este viaje se planteaban nueve opciones hipotéticas en las que pudiera realizarse el desplazamiento utilizando el metro. En cada opción se modificaba el precio del

pasaje, el tiempo en metro y el tiempo de espera. Con estas opciones se tenía la base para calibrar un modelo LOGIT que permitiera estimar el valor del tiempo por estrato y modo de transporte.

10.3.2 A efectos de calibrado, se agruparon los viajes en modo privado (auto y moto) y público (Transmilenio, resto de SITP y bus-TPC).

Los modelos LOGIT de reparto modal parten del principio de que la desutilidad de cada alternativa de transporte viene definida por una expresión polinómica de acuerdo con la expresión:

$$U_i = K_i + \alpha \cdot c_i + \beta \cdot tv_i + \gamma \cdot te_i$$

Donde:

- K_i es una constante de preferencia por el modo "i"
- α, β, γ son parámetros de las variables que se calibran a partir de los resultados de la encuesta
- c_i es el costo del desplazamiento en el modo "i"
- tv_i es el tiempo de viaje en el vehículo del modo "i"
- te_i es el tiempo de espera si se usa el modo "i"

A partir de esta definición de las funciones de desutilidad, el modelo LOGIT permite establecer la probabilidad de elegir el modo "i" según la expresión:

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_k e^{U_k}}$$

En modelos binomiales (caso de comparar el modo actual con el metro), la expresión anterior sería:

$$P_1 = \frac{e^{U_1}}{e^{U_1} + e^{U_2}} = \frac{1}{1 + e^{U_2 - U_1}} = \frac{1}{1 + e^{K_2 - K_1 + \alpha \cdot (c_1 - c_2) + \beta \cdot (tv_1 - tv_2) + \gamma \cdot (te_1 - te_2)}}$$

La calibración de este tipo de modelos se hace mediante la técnica de la máxima verosimilitud. Con ella se pueden estimar los parámetros α, β, γ y la diferencia entre las constantes de preferencia modal ($K_2 - K_1 = K$).

Es de destacar que una vez obtenidos los parámetros del modelo se puede estimar el valor del tiempo de viaje mediante el cociente de los parámetros del modelo:

$$VT = \frac{\beta}{\alpha}$$

10.3.3 Con este planteamiento teórico, para la estimación de los parámetros se comenzó por preparar la base de datos de la encuesta para su tratamiento en un software que permitiera estimar este tipo de modelos utilizando funciones de máxima verosimilitud. Para ello se utilizó el programa *Biogeme*. De la encuesta se comenzó por seleccionar los informantes que en el día anterior realizaron algún viaje potencialmente captable por el metro.

10.3.4 El siguiente paso consistió en eliminar de la base de datos, para la calibración, a los usuarios que nunca cambiaban de modo en las alternativas planteadas o que siempre lo hacían. Estos usuarios se deben tener en cuenta en las estimaciones finales como porcentajes "fijos" que tenderán a usar siempre que puedan el metro o que no lo usarán nunca. Pero a efectos de la calibración de los modelos se dejó fuera esta parte de la muestra (lógicamente los resultados de la calibración se aplican a la población que a veces elige metro y a veces no).

10.3.5 A continuación, se generó un registro para cada una de las opciones planteadas a cada informante. Con ello se obtuvo la base de datos que se utilizó para la calibración, teniendo información, para cada viaje, del estrato social del usuario y el modo de viaje actual. En general, en los resultados obtenidos se constató que la constante modal del metro no era significativa²⁵. En cuanto al factor del tiempo de espera tampoco resultó significativo y en muchas de las combinaciones de modos-estratos planteadas salía con signo inverso al esperado. Es por ello que los modelos finalmente obtenidos no incluyen constantes y no consideran el factor del tiempo de espera.

10.3.6 En la Tabla 57 se muestran los resultados de de:

- Porcentaje de usuarios que siempre eligen metro o que no lo eligen nunca
- Parámetros de los modelos calibrados con los usuarios que unas veces eligen metro y otras no.
- Cociente de parámetros de usuarios que cambian de opción ("Par. tiempo/ Par. Costo")
- Valor tiempo medio ponderado modo-estrato (considerando también los que siempre elegirían el mismo modo)
- Valor tiempo medio ponderado estrato (media considerando los usuarios de vehículo privado y de transporte público)

Tabla 57 Valor del tiempo. Resultados de la estimación a partir de la encuesta de preferencias declaradas

| Estrato | Modo actual | Eligen siempre modo actual | Cambian siempre a Metro | Cambian en función de relación costo-tiempo | Parámetro costo (solo los que cambian) | Parámetro tiempo (solo los que cambian) | Par. tiempo/ Par. costo | Valor tiempo medio ponderado modo-estrato (considerando también los que siempre elegirían el mismo modo) | Valor tiempo medio ponderado estrato (pesos/ minuto) |
|---------|---------------|----------------------------|-------------------------|---|--|---|-------------------------|--|--|
| 1 y 2 | Auto | 16.1% | 6.6% | 77.3% | -0.00202 | -0.17700 | 87.6 | 95.3 | |
| 1 y 2 | Tte colectivo | 5.6% | 11.0% | 83.5% | -0.00174 | -0.15800 | 90.8 | 95.7 | 95.6 |
| 3 | Auto | 25.7% | 16.4% | 57.9% | -0.00098 | -0.08850 | 89.9 | 99.9 | |
| 3 | Tte colectivo | 25.4% | 19.9% | 54.7% | -0.00129 | -0.12200 | 94.6 | 96.7 | 97.8 |
| 4 | Auto | 28.5% | 17.6% | 53.9% | -0.00118 | -0.11300 | 95.8 | 107.8 | |
| 4 | Tte colectivo | 28.9% | 15.0% | 56.1% | -0.00131 | -0.14300 | 109.2 | 105.7 | 106.6 |
| 5 y 6 | Auto | 48.1% | 16.5% | 35.4% | -0.00128 | -0.11300 | 88.3 | 112.9 | |
| 5 y 6 | Tte colectivo | 26.3% | 17.5% | 56.2% | -0.00074 | -0.08250 | 111.9 | 111.9 | 112.6 |

Fuente: Elaboración Propia

10.3.7 Apreciación del valor del tiempo a lo largo del periodo de vida del proyecto.

Una gran parte de los análisis de valor del tiempo y del correspondiente modelo Costo/Beneficio consideran que el valor, calculado en el año base, se incrementa en términos constantes a lo largo del período de vida del proyecto. Autores como Ginés de Rus y otros académicos indican que *"el valor en el tiempo aumenta con el crecimiento de la renta, lo que resulta razonable de acuerdo con los fundamentos teóricos de la demanda de transporte [...]"*

²⁵ Se entiende como "constante modal" aquella constante que entra en el algoritmo de reparto y refleja las ventajas "intrínsecas" del modo de transporte al que se refiere. Así, un modo con una constante muy alta indica que indistintamente del tiempo de viaje o costo, el usuario prefiere ese modo (por comodidad, seguridad, etc.). una constante no significativa indica que el modo compite en tiempo y costo con los otros modos y que no se le incorporan "ventajas" en forma de constante modal. Este resultado evita que se trate de manera más favorable a un modo de transporte frente a otros.

El valor del tiempo varía al cambiar los salarios reales de los individuos. Este hecho resulta muy importante para valorar inversiones en infraestructura de mayor vida útil.”²⁶

10.3.8 Siguiendo este criterio, en el modelo Costo/Beneficio se ha considerado **un incremento del valor del tiempo del 1% anual**, en términos constantes. Par su cálculo se ha utilizado la evolución del ingreso per cápita en Bogotá.

El Informe Calidad de Vida de Bogotá, en su última edición (2016) expone que el ingreso per cápita por unidad de gasto para el año 2016 es de COP 1.052.592. Este indicador es relevante ya que demuestra la capacidad adquisitiva de la población proporcional con el salario efectivo que reciben. La unidad de gasto, según el DANE, está compuesta por los miembros del hogar, sin el servicio doméstico y sus familiares, los pensionistas y otros trabajadores dedicados al hogar.

De esta manera la Tabla adjunta, expone el Ingreso per cápita de los últimos nueve años en la capital del País. Estos valores están a precios constantes de 2016 y una vez se toma el promedio del incremento anual entre estos valores se obtiene un valor del 1.9%. Con esto en mente, la hipótesis de apreciación del valor del tiempo en un 1,00% se sitúa en una perspectiva conservadora.

Tabla 58 Evolución del ingreso per cápita en Bogotá

| Año | Ingreso per cápita en Bogotá de la unidad de gasto (COP Constantes de 2016) | % de incremento |
|------|---|-----------------|
| 2008 | 915.400 | |
| 2009 | 908.542 | -0,7% |
| 2010 | 1.017.418 | 12,0% |
| 2011 | 1.060.560 | 4,2% |
| 2012 | 1.022.895 | -3,6% |
| 2013 | 1.116.206 | 9,1% |
| 2014 | 1.128.184 | 1,1% |
| 2015 | 1.046.215 | -7,3% |
| 2016 | 1.052.592 | 0,6% |
| | Promedio | 1,9% |

Fuente: Elaboración propia

10.4 Ahorros de tiempo

10.4.1 Definición del impacto e indicadores

El ahorro de tiempo es la principal componente de beneficio en el análisis costo/beneficio. Refleja las utilidades, en menos tiempo de viaje, que disfrutaron los viajeros en modos motorizados. El cálculo de los ahorros de tiempo se ha realizado sobre las estimaciones del modelo de demanda (MD-SdM) comparando los escenarios de metro con el caso Base, de referencia. El modelo de demanda está calibrado para la hora pico de un día medio. Los factores de expansión utilizados son:

- Elevación de hora pico a día medio: 10

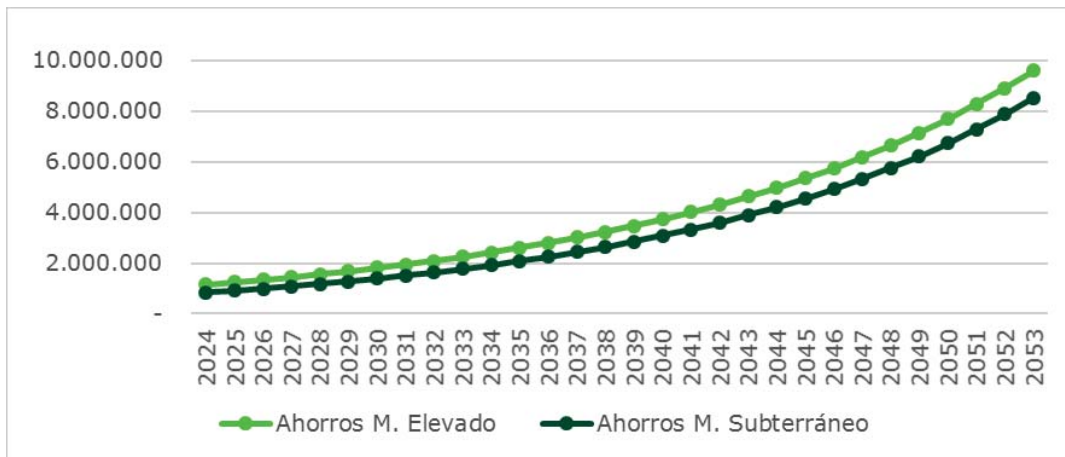
²⁶ (de Rus G. G., 2003)

- Elevación día medio/año: 320

Los beneficios de ahorro del tiempo son los resultantes de multiplicar los ahorros, en horas o minutos, por el valor unitario del tiempo. El cálculo de este valor se ha expuesto en el apartado 10.1 sobre el modelo de demanda.

- 10.4.2 A los ahorros de tiempo de cada escenario (Metro elevado y Metro Subterráneo) se les aplica el valor del tiempo estimado por estrato de población. Asimismo, y según se ha indicado en el apartado anterior, se revaloriza este valor en un 1% anual en términos constantes.

Tabla 59 Beneficios por ahorros de valor del tiempo



Valores en millones pesos constantes del 31 de diciembre de 2016 – caso base
Fuente: Elaboración propia

10.5 Costos de operación del transporte público

- 10.5.1 Los costos de operación del transporte público se calculan de manera indirecta. Dadas las dificultades para disponer de costos fiables para los distintos tipos de vehículos y tipo de servicios, se ha buscado una metodología que permita disponer de una estimación de costos homogénea para todos los escenarios a evaluar. Para ello, los costos de operación del transporte público se calculan a partir de las retribuciones de Transmilenio S.A. para a los operadores por los servicios troncales y zonales. Estas retribuciones reflejan:

- Los costos puros de operación (movimiento, reparaciones y costos indirectos)
- La amortización del material rodante
- La utilidad para el operador

- 10.5.2 Al calcular los costos de operación de cada escenario, incluimos en el Escenario de Metro Elevado los costos de las troncales asociadas. Es decir, los costos de operación de las tres troncales de este escenario no se consideran en el cálculo del Capex-Opex expuesto en el apartado 9.2 sino que se incluyen en el presente impacto. Como puede observarse de las salidas del modelo de demanda, los buses x km del Escenario de Metro Elevado son superiores a los del resto de las alternativas.

- 10.5.3 De esta forma, el efecto asociado al costo de operación de los vehículos de transporte público se mide a partir de los ahorros o costos generados por los cambios en las distancias

recorridas y/o en la velocidad promedio de los vehículos del servicio de transporte público²⁷. Los costos de operación incluyen principalmente el costo de conducción, el combustible, el mantenimiento, el lubricante y los neumáticos de los vehículos, así como la amortización del material rodante y los costos de administración de los operadores de Transmilenio. La ecuación adjunta expresa esa relación.

$$COvpub_{a,k} = \sum CEkm_i \times Km_{anu,i,a}$$

En donde:

$COvpub_{a,k}$ es el costo económico de operación de vehículos públicos para el año a y en el escenario k

$CEkm_i$ es el costo económico por kilómetro para el vehículo i (articulado, biarticulado, padrón dual, microbús, buseta, busetón, padrón).

$Km_{anu,i,a}$ es el número de kilómetros realizados para el tipo de vehículo y durante el año a

- 10.5.4 Para estimar los costos de operación de vehículos públicos asociados a cada escenario se procede en un primer tiempo a estimar el costo por kilómetro de cada tipo de bus incluido en el análisis.

Para poder realizar este ejercicio Transmilenio S.A. entregó al consultor las hojas de remisiones en las cuales se detalla la remuneración de los operadores para las fases I, II y III de Transmilenio en Bogotá para una semana tipo²⁸.

- Los tipos de buses analizados para las troncales son de tipo: articulado, biarticulado y padrón dual.
- Los tipos de buses analizados para el zonal son de tipo: microbús, buseta, busetón y padrón.

Cabe resaltar que en las troncales de las fases I y II de Transmilenio existen solamente buses de tipo articulados y biarticulados, y existen muy pocos de la segunda categoría. En consecuencia, se consideró únicamente buses de tipo articulado para las fases I y II.

El costo por kilómetro se basa en la tarifa técnica aplicada a los operadores de troncales y zonales, presentadas en las ecuaciones siguientes:

Costo financiero para 1 km recorrido por los buses de tipo troncal:

$$CFkm_i = \frac{TMVT_i \times NoVehT_i + TKMT_i \times Kmstronck_i}{Kmstronck_i}$$

Costo financiero para 1 km recorrido por los buses de tipo zonal:

$$CFkm_i = \frac{TMVZ_i \times NoVehZ_i + TKMZ_i \times Kmstronck_i + TPASZ_i}{Kmstronck_i}$$

En donde:

²⁷ En el cálculo realizado no se aplica la velocidad comercial como variable de costo.

²⁸ La semana tipo debe reflejar un día normal del año sin vacaciones escolares, paros o eventos particulares que podrían afectar las distancias recorridas por los operadores. La semana tipo elegida va del 8 al 14 de mayo de 2017.

$CFkm_i =$ Costo financiero por km para el tipo de vehículo i

$TMVT_i =$ Tarifa mensual para vehículo i

$TKMT_i =$ Tarifa por kilómetro para el vehículo i

$NoVehT_i =$ Número de vehículo de tipo i

$Kmstronck_i =$ Número de kilómetros realizados por el vehículo de tipo i

$TPASZ_i =$ Tarifa por pasajero para vehículo i

Los costos por kilómetro obtenidos por tipos de bus se presentan en la Tabla 60.

Tabla 60 Costos de operación del Transporte Público. Costo financiero / km x tipo de bus

| | Troncal | Fase III |
|--|------------------------------------|----------|
| | Articulado (150 pax) | \$ 7.518 |
| | Biarticulado (250 pax) | \$ 7.176 |
| | Padrones duales (diésel) (80 pax) | \$ 4.172 |
| | Padrones duales (hibrido) (80 pax) | \$ 4.532 |
| | Zonal | |
| | Microbús (19 pax) | \$ 2.497 |
| | Buseta (40 pax) | \$ 3.095 |
| | Busetón (48-60 pax) | \$ 2.918 |
| | Padrón (80-90 pax) | \$ 4.002 |

Precios de mercado del 31 de diciembre de 2016

Fuente: Elaboración propia

- 10.5.5 Para estimar el costo económico por kilómetro se procedió a discriminar el costo financiero por kilómetro obtenido de las fichas de remisiones por categoría de gasto y multiplicarlo por la razón precio-cuenta correspondiente. Se ilustra en la ecuación adjunta.

$$CEkm_i = \sum_{i=1}^n [Canasta\ de\ costos_{ij}] \times [Precio\ sombra_{ij}] \times [CFkm_i]$$

En donde:

$Canasta\ de\ costos_{ij} =$ canasta de costo incluyendo los componentes j (combustible, neumáticos, lubricantes, mantenimiento, costos de administración, costos de operación) para el tipo de vehículo i

$Precio\ sombra_{ij} =$ Precio sombra para los componentes j para el tipo de vehículos i

- 10.5.6 En este contexto, Transmilenio S.A. entregó al consultor la canasta de costo típica que presentan los operadores para calcular las tarifas que se van a cobrar a la administración, los cuales se presentan en la Tabla 61.

Tabla 61: Canasta de costos operación de vehículos públicos

| Ponderación Canasta de costos | Combustible | Neumáticos | Lubricantes | Mantenimiento | IPC (Administración) | Salario Mínimo | Total |
|----------------------------------|-------------|------------|-------------|---------------|-------------------------|-------------------|---------|
| Troncal | | | | | | | |
| Articulado (150 pax) | 35,98% | 3,96% | 3,52% | 20,89% | 27,60% | 8,05% | 100,00% |
| Biarticulado (250 pax) | 30,81% | 3,39% | 3,59% | 21,20% | 34,89% | 6,12% | 100,00% |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| Padrones duales (diésel) (80 pax) | 22,62% | 2,49% | 3,15% | 13,13% | 42,09% | 16,52% | 100,00% |
| Padrones duales (híbrido) (80 pax) | 22,62% | 2,49% | 3,15% | 13,13% | 42,09% | 16,52% | 100,00% |
| Zonal | | | | | | | |
| Microbús (19 pax) | 21,77% | 2,39% | 1,99% | 11,17% | 3,62% | 59,06% | 100,00% |
| Buseta (40 pax) | 24,88% | 2,74% | 4,05% | 13,01% | 4,19% | 51,13% | 100,00% |
| Busetón (48-60 pax) | 25,24% | 2,78% | 4,81% | 13,20% | 4,25% | 49,73% | 100,01% |
| Padrón (80-90 pax) | 29,63% | 3,26% | 4,64% | 22,22% | 3,93% | 36,32% | 100,00% |

Fuente: (Transmilenio S.A., 2010)

A partir de la Tabla 61 se puede determinar el costo financiero de cada componente multiplicando el costo por kilómetro por el porcentaje de cada componente. En un segundo paso se procede a identificar las razones precio-cuenta (RPC) a utilizar para cada componente. En este sentido, el cálculo se basó en el estudio del IDU del año 2009, que identificó las RPC para cada uno de los componentes de la canasta.

10.5.7 De acuerdo con la metodología de cálculo de precios económicos, se procedió a identificar los impuestos directos como el IVA y la sobre tasa para el caso del combustible y otros tipos de transferencias como las retenciones sobre el salario para los componentes relacionados con el mantenimiento y el salario de los operadores.

10.5.8 El consultor realizó una adaptación adicional para ajustar los precios económicos a la reforma tributaria de 2016 ajustando las RPC por el IVA que pasó de 16% a 19%.

Tabla 62 Costos de operación del Transporte Público. Razón precio cuenta según

| Precio cuenta | Combustible | Neumáticos | Lubricantes | Mantenimiento | IPC (Administración) | Salario Mínimo |
|---|-------------|------------|-------------|---------------|----------------------|----------------|
| Troncal | | | | | | |
| Articulado (150 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,7647 | 0,8000 | 0,5882 |
| Biarticulado (250 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,7647 | 0,8000 | 0,5882 |
| Padrones duales (diésel) (80 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,8403 | 0,8000 | 0,5882 |
| Padrones duales (híbrido) (80 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,8403 | 0,8000 | 0,5882 |
| Zonal | | | | | | |
| Microbús (19 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,8128 | 0,8000 | 0,5882 |
| Buseta (40 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,5368 | 0,8000 | 0,5882 |
| Busetón (48-60 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,5368 | 0,8000 | 0,5882 |
| Padrón (80-90 pax) | 0,6919 | 0,8403 | 0,8403 | 0,8403 | 0,8000 | 0,5882 |
| componentes de la canasta de costo | | | | | | |

Fuente: (IDU, 2009)

Tabla 63: Costos de operación del Transporte Público. Precio económico por km por tipo de bus

| Troncal | |
|-----------------------------------|----------|
| Articulado (150 pax) | \$ 5.548 |
| Biarticulado (250 pax) | \$ 5.375 |
| Padrones duales (diésel) (80 pax) | \$ 3.080 |

| | | |
|------------------------------------|----|-------|
| Padrones duales (híbrido) (80 pax) | \$ | 3.345 |
| Zonal | | |
| Microbús (19 pax) | \$ | 1.634 |
| Buseta (40 pax) | \$ | 2.071 |
| Busetón (48-60 pax) | \$ | 1.961 |
| Padrón (80-90 pax) | \$ | 2.790 |

Fuente: Elaboración propia. Precios económicos del 31 de diciembre de 2016

10.5.9 Kilómetros recorridos

En el apartado que explica el modelo de demanda se ha indicado que la oferta introducida en el modelo es plana; es decir, no se modifica entre los escenarios 2022 y 2030. Este supuesto es adecuado para el cálculo de tiempos de viaje, pero debe adaptarse para estimar los costos reales de operación.

10.5.10 Para ello, se ha asumido la metodología propuesta por la Secretaría Distrital de Movilidad, y que se basa en calcular los km de servicio a partir de los IPK históricos. Asimismo, los km de metro se calculan directamente de los datos anuales de oferta calculados en los estudios específicos.

10.5.11 De esta manera:

- En el Metro, se ha utilizado la cifra de oferta en tren x km estimada en el estudio de estructuración (para el metro elevado) y en estimaciones realizadas por la Empresa de Metro de Bogotá para el metro subterráneo.
- En los servicios de autobús, se ha asumido un IPK promedio histórico (4,6 y 1,38 para las troncales y zonal respectivamente²⁹), calculándose los km a partir de los mismos y de los abordajes (viajeros subidos).

Tabla 64 Caso Base: Abordajes en transporte público

| | Situación Actual (BASE) | | Metro elevado (MElev) | | Metro Subterráneo (Msubte) | |
|----------------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| | 2022 | 2030 | 2022 | 2030 | 2022 | 2030 |
| Abordajes metro | | | 40.891 | 45.408 | 54.388 | 59.874 |
| Carga maxima metro | | | 25.461 | 26.944 | 28.658 | 30.099 |
| Abordajes transmilenio | 267.912 | 311.783 | 337.184 | 391.610 | 282.815 | 333.858 |
| Abordajes zonal | 500.275 | 477.337 | 384.023 | 358.658 | 432.146 | 414.059 |
| Abordajes totales publico | 768.187 | 789.120 | 787.559 | 822.620 | 798.007 | 837.890 |

Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

10.5.12 Los cálculos anteriores dan lugar a la tabla siguiente, que corrige la inicial del modelo de demanda y es la base para el cálculo de los costos de operación del transporte público.

Tabla 65 Km de servicio en transporte público, corregidos con Abordajes/IPK

| VEH X KM (Hp) | T. Publico | | | Tasa anual 2022-2030 | | |
|------------------|------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
| | Año | Esc. Base | Esc. MEI. | Esc. Msub. | Esc. Base | Esc. MEI. |
| 2022 (assign) | 442.931 | 375.441 | 398.856 | | | |
| 2030 (assign) | 435.846 | 368.893 | 396.846 | -1,60% | -1,74% | -0,50% |

Fuente: Elaboración propia sobre el MD-SdM

²⁹ Fuente: Secretaria de Movilidad

10.5.13 Conversión de los km recorridos en el sistema a km recorridos por tipo de bus

La salida del modelo de demanda de Bogotá para los tres escenarios del estudio permite conocer los abordajes en metro, troncal y zonal, así como la oferta modelizada, en vehículos x km. Se ha explicado en el apartado 10.2.7, sobre el modelo de demanda, que se ha utilizado un conteo de vehículos x km basado en los abordajes y en IPK medios históricos. Estos km se han expandido al año aplicando los factores indicados en la Tabla 66.

Tabla 66 Factores de expansión transporte público

| | |
|---------------------------------|-------|
| km vehículos públicos (Troncal) | |
| Hora pico - día | 9,35 |
| Día - año | 299 |
| km vehículos públicos (Zonal) | |
| Hora pico - día | 10,71 |
| Día - año | 299 |

Fuente: Transmilenio S.A.

Para atribuir un número de kilómetros recorridos por tipo de bus en al año, se realizó el ejercicio de estimar los kilómetros recorridos por tipos de bus según cada escenario.

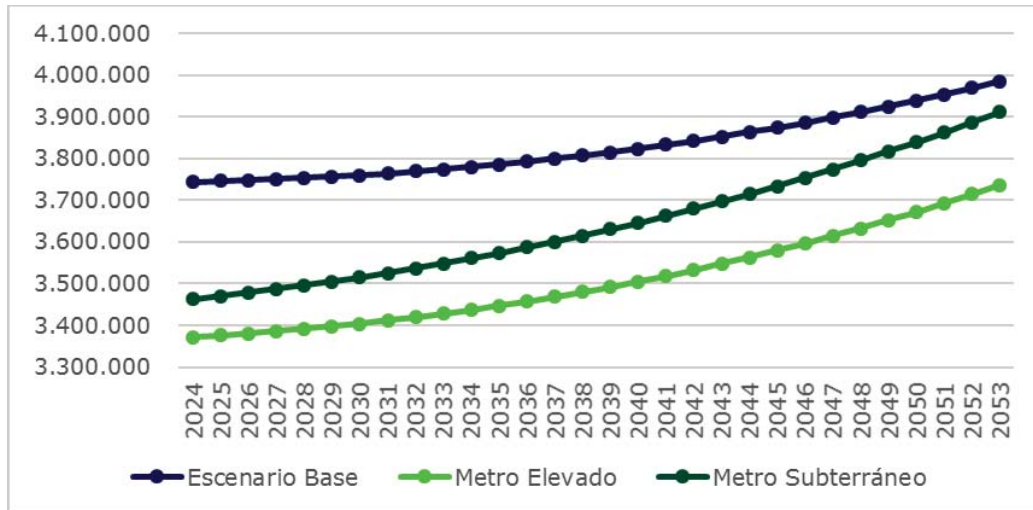
Tabla 67 Distribución de km recorridos por tipos de bus y escenarios

| | Escenario Base | Metro Elevado | Metro Subterráneo |
|------------------------------------|----------------|---------------|-------------------|
| Troncal | | | |
| Articulado (150 pax) | 53% | 49% | 53% |
| Biarticulado (250 pax) | 39% | 43% | 39% |
| Padrones duales (diésel) (80 pax) | 1% | 1% | 1% |
| Padrones duales (híbrido) (80 pax) | 8% | 7% | 8% |
| Total | 100% | 100% | 100% |
| Zonal | | | |
| Microbús (19 pax) | 2% | 2% | 2% |
| Buseta (40 pax) | 15% | 13% | 13% |
| Busetón (48-60 pax) | 43% | 41% | 41% |
| Padrón (80-90 pax) | 41% | 44% | 44% |
| Total | 100% | 100% | 100% |
| Interurbano | | | |
| Busetón | 100% | 100% | 100% |

Fuente: Transmilenio S.A.

10.5.14 Los resultados de aplicar los costos unitarios a los vehículos x km resultantes del modelo de demanda, se exponen en figura adjunta.

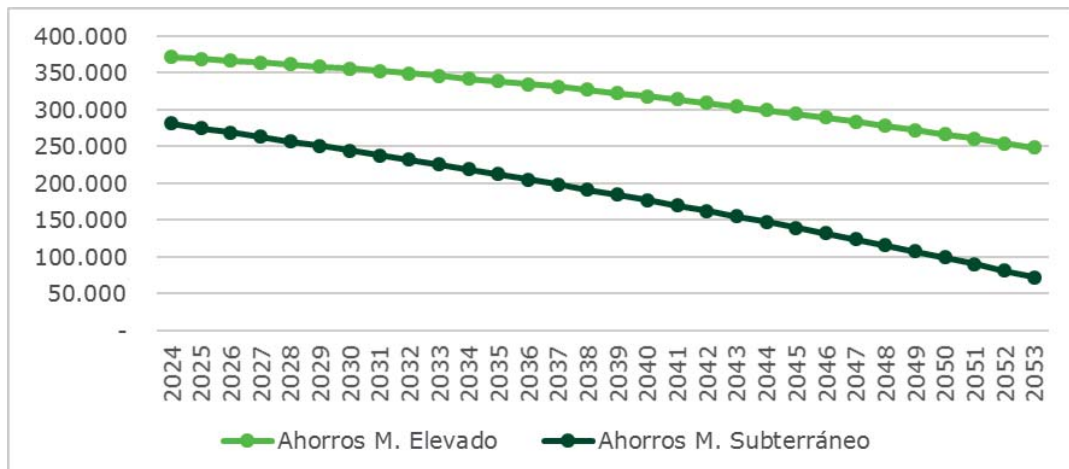
Figura 19 Costos de operación de vehículos públicos



Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016 – caso base
Fuente: Elaboración propia

10.5.15 Los resultados finales de ahorros en costos de operación asociados al transporte público pueden verse en la figura adjunta.

Figura 20 Ahorros en costos de operación del Transporte Público



Valores en millones pesos constantes del 31 de diciembre de 2016 – caso base
Fuente: Elaboración propia

10.5.16 Hagamos notar que los ahorros son mayores en el escenario de Metro Elevado. Si bien es cierto que la troncalización de la red acarrea vehículos más eficientes como sustitución de los antiguos, una mayor eficiencia en el consumo y menores costos de operación por plaza ofertada, en ratios por vehículo los costos son superiores por tratarse de buses mayores. En el escenario de Metro Elevado hay una alta troncalización, superior al resto de escenarios, lo que podría representar un aumento de los costos totales. No obstante, la reducción de Km en los servicios zonales y una mayor eficiencia en la operación, reflejada en el IPK medio hace que ahorros totales de operación sean mayores en el escenario de Metro Elevado frente al Metro Subterráneo, que tiene una menor troncalización.

10.6 Costos de operación de vehículos privados

10.6.1 Los vehículos privados que se contemplan en este apartado incluyen las diferentes tipologías presentes en el parque móvil que pueden ser simuladas en el modelo de demanda. Así, la clasificación de vehículos privados abarca los autos, motos, camiones pequeños, camiones grandes y taxis. Esta clasificación se ha considerado suficiente para el cálculo de los costos de operación³⁰.

10.6.2 Al igual que con el transporte público, el costo de los vehículos privados se mide por los ahorros o costos relacionados con los cambios en distancias recorridas de los vehículos en la ciudad. Similarmente al impacto precedente, en la fase de operación se espera una transferencia modal de usuarios desde el vehículo privado al nuevo sistema de transporte integrado con el Metro, produciéndose dos efectos:

- Un efecto de reducción del número de vehículos en la red vial
- Un segundo efecto de aligeramiento del tránsito y aumento de las velocidades

Ambos efectos dan lugar a una reducción de los costos de operación³¹

10.6.3 Para la cuantificación de este impacto se recurre a las salidas del modelo de demanda en los distintos escenarios. Estas salidas dan los vehículos x km en hora pico para cada tipo de vehículo. De esta manera, se puede determinar la variación entre los escenarios de metro y el escenario base, así como el costo asociado.

10.6.4 Para el cálculo del costo de operación por km asociado a cada tipo de vehículo, se ha utilizado el informe de (IDU, 2009) que indica los costos de operación de una amplia tipología de vehículos basado en el índice de rugosidad promedio de la ciudad. Es decir, el costo de operación de los vehículos privados se calcula:

$$COvpriv_{a,k} = \sum CEkm_i \times Km_{anu,i,a}$$

En donde:

$COvpriv_{a,k}$ es el costo económico de operación de vehículos privados para el año a y en el escenario k

$CEkm_i$ es el costo económico por kilómetro para el vehículo i (auto, moto, taxis, camiones pequeños y camiones grandes).

$Km_{anu,i,a}$ Número de kilómetros realizados para el tipo de vehículo y durante el año a

10.6.5 Cálculo del costo económico por kilómetro. Al igual que para estimar los costos de operación de vehículos públicos asociados a cada escenario, se procede en primer lugar a estimar el costo por kilómetro de cada tipo de vehículo privados incluido en el análisis.

³⁰ Clasificaciones más detalladas presentan el problema de desconocer su estructura de movilidad. Puede plantearse esta sub clasificación aplicando porcentajes fijos, por ejemplo, a los autos, según categorías. Pero este ejercicio complica inútilmente el análisis cuando se puede calcular el costo a partir de vehículos con características medias del parque automotor.

³¹ En el segundo caso, el aumento de la velocidad del vehículo se da entre velocidades de congestión y velocidades urbanas algo mayores. Esta es la razón por la que se considera que puede haber una reducción de los costos de operación.

Como se ha indicado, para poder realizar este ejercicio, se utilizaron las tablas de recursos utilizados para recorrer mil kilómetros en la ciudad, de acuerdo con el estado promedio de las vías.

El estado de las vías y el tipo de vía se mide por el índice de regularidad internacional (IRI). El IRI promedio de la ciudad de Bogotá es 4,62 m/km (IDU, 2009). De acuerdo con lo anterior, el tipo de vía promedio genera un determinado nivel de costo de operación para las distintas tipologías de vehículos. Estos incluyen los costos de combustible, lubricantes, neumáticos, mantenimiento, la depreciación del vehículo, así como los intereses relacionados con la compra a crédito del vehículo.

En la Tabla 68 se presentan los indicadores de costos que se necesitan por cada tipo de vehículo para recorrer 1.000 kilómetros.

Tabla 68: Costos de operación de vehículos privados. Recursos por 1.000 vehículos-km para rugosidad media con IRI de 4,62m/km

| | Motocicleta | Taxi | Auto | Camión pequeño | Camión grande |
|--|-------------|-------|-------|----------------|---------------|
| Combustible (litros) | 19,06 | 68,14 | 90,97 | 105,37 | 292,45 |
| Lubricantes (litros) | 0,43 | 0,59 | 0,65 | 1,78 | 3,71 |
| Neumáticos (% de costo de neumático nuevo) | 1,52% | 1,06% | 1,09% | 2,02% | 0,25% |
| Piezas de Mantenimiento (% de costo de vehículo nuevo) | 0,11% | 0,36% | 0,23% | 0,32% | 0,28% |
| Trabajo de Mantenimiento (horas) | 1,88 | 3,54 | 2,76 | 12,35 | 14,39 |
| Tiempo de Operador (horas) | | 24,02 | | 29,89 | 27,74 |
| Depreciación (% de costo de vehículo nuevo) | 0,70% | 0,10% | 0,43% | 0,05% | 0,13% |
| Interés (% de costo de vehículo nuevo) | 0,17% | 0,03% | 0,11% | 0,05% | 0,09% |

Fuente: (IDU, 2009) Precios económicos del 31 de diciembre 2016

10.6.6 Los indicadores corresponden a múltiples o porcentajes del precio económico de cada componente por lo cual, para obtener el precio económico por kilómetro, se multiplica el indicador por el precio del mismo componente como se indica en la Tabla 69, y luego se divide por 1.000.

Tabla 69: Costos de operación de vehículos privados. Costos unitarios vehículos privados

| Tipo de vehículos | Vehículos nuevo (COP/vehículo) | Neumático Nuevo (COP/neumático) | Combustible (COP/Litro) | Aceite Lubricante (COP/Litro) | Trabajo de mantenimiento (COP/hora) | Gastos anuales (COP/año) | Costo operario (COP/hora) |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Motocicleta | \$ 6.211.332 | \$ 61.758 | \$ 2.560 | \$ 9.959 | \$ 6.153 | \$ 490.949 | \$ - |
| Taxi | \$ 27.241.126 | \$ 121.690 | \$ 2.560 | \$ 20.063 | \$ 14.770 | \$ 7.186.828 | \$ 8.953 |
| Liviano particular | \$ 37.901.800 | \$ 124.226 | \$ 2.560 | \$ 20.063 | \$ 14.770 | \$ 1.066.955 | \$ - |
| Camión pequeño | \$ 69.719.030 | \$ 367.609 | \$ 2.135 | \$ 16.534 | \$ 19.275 | \$ 4.068.676 | \$ 17.906 |
| Camión grande | \$ 166.058.053 | \$ 1.242.265 | \$ 2.135 | \$ 16.534 | \$ 22.098 | \$ 10.285.078 | \$ 17.233 |

Fuente: (IDU, 2009). Precios económicos del 31 de diciembre 2016

Finalmente, en la Tabla 70 se presenta el costo económico para recorrer 1.000 km y luego para recorrer 1 km.

Tabla 70: Costo económico por kilómetro por tipo de vehículos

| Precio económicos del 31 de diciembre 2016 | Motocicleta | Taxi | Auto | Camión pequeño | Camión grande |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Costos de Operación Vehicular | | | | | |
| Combustible (litros) | \$ 48.793 | \$ 174.460 | \$ 232.910 | \$ 224.984 | \$ 624.410 |
| Lubricantes (litros) | \$ 4.249 | \$ 11.853 | \$ 13.135 | \$ 29.451 | \$ 61.408 |
| Neumáticos (% de costo de neumático nuevo) | \$ 940 | \$ 1.288 | \$ 1.353 | \$ 7.430 | \$ 3.114 |
| Piezas de Mantenimiento (% de costo de vehículo nuevo) | \$ 6.984 | \$ 97.551 | \$ 86.190 | \$ 225.627 | \$ 472.739 |
| Trabajo de Mantenimiento (horas) | \$ 11.567 | \$ 52.325 | \$ 40.816 | \$ 238.001 | \$ 317.979 |
| Tiempo de Operador (horas) | \$ - | \$ 215.064 | \$ - | \$ 535.163 | \$ 478.126 |
| Depreciación (% de costo de vehículo nuevo) | \$ 43.707 | \$ 26.505 | \$ 161.083 | \$ 37.386 | \$ 207.790 |
| Interés (% de costo de vehículo nuevo) | \$ 10.440 | \$ 7.763 | \$ 42.415 | \$ 33.933 | \$ 149.170 |
| Costo total por 1000 vehículos - km | \$ 126.680 | \$ 586.809 | \$ 577.903 | \$ 1.331.975 | \$ 2.314.736 |
| Costo total por 1 vehículo - 1 km | \$ 127 | \$ 587 | \$ 578 | \$ 1.332 | \$ 2.315 |

Fuente: Elaboración propia. Precios económicos del 31 de diciembre 2016

- 10.6.7 Para convertir las salidas del modelo de demanda en kilómetros recorridos en el año, se procedió a multiplicar los kilómetros recorridos en hora pico por los factores de expansión hora pico - día y día - año con los factores de expansión de la Tabla 71.

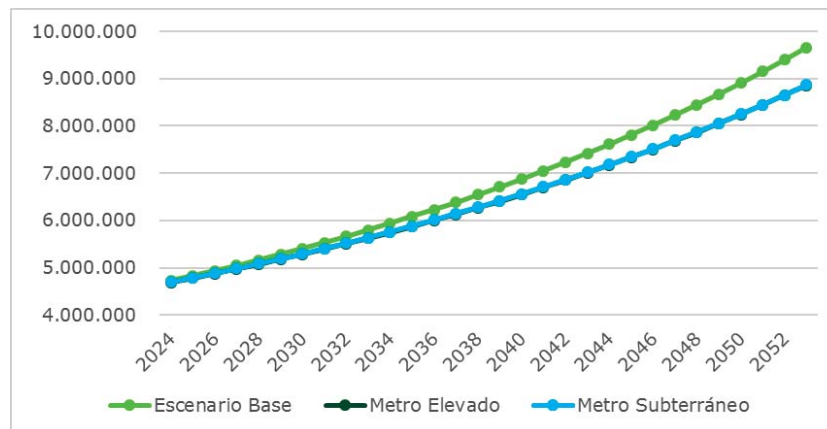
Tabla 71 Factores de expansión transporte privado

| km Vehículos privados | |
|-----------------------|------|
| Hora pico - día | 12,5 |
| Día - año | 300 |

Fuente: Secretaría de Movilidad

- 10.6.8 Los resultados de aplicar los costos unitarios a los vehículos x km resultantes del modelo de demanda, se exponen en figura adjunta. Puede observarse que estos costos son similares en el caso del Metro Elevado y del Subterráneo.

Figura 21 Costos de operación vehículos privados

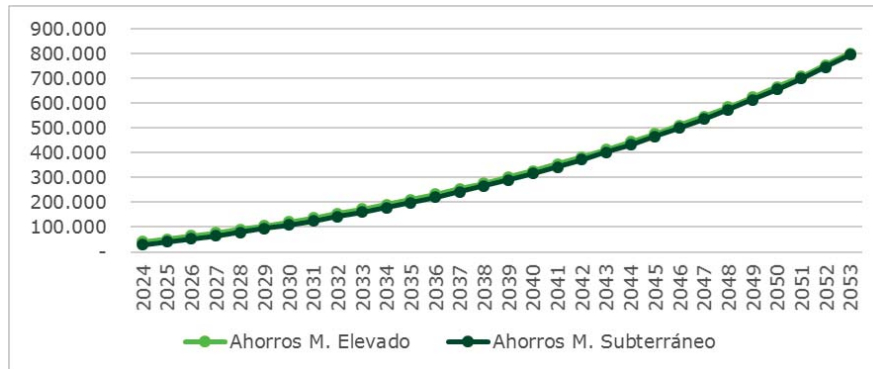


Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016 – caso base

Fuente: Elaboración propia

10.6.9 Los ahorros en costos de operación de vehículos privados, se exponen a continuación.

Figura 22 Ahorros en costos de operación de vehículos privados



Valores en millones de pesos constantes del 31 de diciembre de 2016 – caso base
Fuente: Elaboración propia

10.7 Ahorros en la accidentalidad

10.7.1 Las diferentes tasas de accidentalidad asociadas a los modos de transporte implican que en los escenarios con nuevos proyectos se producen impactos diferenciales por la construcción de infraestructura o sistemas de transporte con menor accidentalidad. La prioridad a la seguridad en el transporte, hace que la práctica totalidad de los nuevos proyectos de infraestructura y transporte urbano sean más seguros y reduzcan los accidentes.

10.7.2 De esta manera, con la construcción del metro, usuarios que utilizan el auto o el transporte público convencional pasan a moverse en un sistema masivo considerado de los más seguros. La disminución de la accidentalidad pasa a ser un beneficio directo derivado de la construcción del metro.

10.7.3 Costos de accidentalidad. Solamente se consideran costos externos por accidente aquellos costos que no están directamente repercutidos a quienes sufren los accidentes. Los costos externos por accidentes incluyen el gasto social (no privado) en atención médica, el costo de oportunidad para la sociedad por las incapacidades o pérdida de vidas humanas, la estimación del costo del sufrimiento y dolor de las víctimas y su entorno, y los de intervención pública en los accidentes³².

10.7.4 En el marco del presente estudio su valoración se lleva a cabo a partir del cálculo de tres tipos de gravedad de accidentes viales en Colombia³³.

- Accidentes con solo daños
- Accidentes con heridos
- Costo de accidentes con muertos

Los costos asociados a cada tipo de accidente se presentan en la Tabla 72.

³² (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010)

³³ (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010)

Tabla 72: Costos económicos por tipo de accidentes

| COSTOS POR ACCIDENTE | TIPO DE GRAVEDAD DEL ACCIDENTE | | |
|------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| | SOLO DAÑOS (COP) | CON HERIDOS (COP) | CON MUERTOS (COP) |
| Daños a la propiedad | \$ 7.732.474 | \$ 9.253.617 | \$ 16.352.282 |
| Costos Médicos | \$ 0 | \$ 3.042.285 | \$ 1.267.619 |
| Costos Administrativos | \$ 1.140.857 | \$ 2.915.523 | \$ 4.690.189 |
| Costos Humanos | \$ 0 | \$ 10.521.235 | \$ 769.824.851 |
| Total Costo | \$ 8.873.331 | \$ 25.732.660 | \$ 792.134.940 |

Fuente: (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010) - Valores en pesos del 31 de diciembre de 2016

Como se indica en la Tabla 72, los costos de accidentes se dividen en cuatro categorías:

10.7.5 Costos por daños a la propiedad.

Esta categoría incluye los costos de los daños ocasionados a los vehículos involucrados, así como al mobiliario público y a los bienes privados que hayan resultado dañados como consecuencia del accidente. Este valor incluye:

1. El número promedio de vehículos involucrados en un accidente de tránsito.
2. La proporción de daño en los vehículos involucrados en cada tipo de accidente de tránsito.
3. Factor de ajuste que permita diferenciar costos por daños a propiedad.
4. Costo promedio de reparación por vehículo.
5. Costo promedio por un accidente de tránsito por tipo de vehículo y gravedad del accidente.
6. Costo promedio por no disponibilidad del vehículo.

10.7.6 Costos médicos.

Hace referencia a los costos que se deben asumir de forma más inmediata una vez ocurre un accidente y constituyen una carga importante para las víctimas más pobres de los accidentes quienes incurren en costos extras por medicamentos, transporte al lugar de tratamiento o costo de oportunidad de dejar de trabajar. La información proviene de las compañías aseguradoras y los hospitales que atienden un mayor número de víctimas de accidentes. Este valor incluye:

1. Costo promedio por concepto de gastos médicos y gastos de transporte.
2. Porcentaje de reclamaciones que sobrepasan la cobertura del SOAT y del FOSYGA.
3. Factor de ajuste para tipos de accidente.
4. Costos médicos por víctima para cada tipo de accidente.
5. Número de víctimas (heridos y muertos) por cada tipo de accidente.
6. Costos médicos por accidente para cada tipo de accidente.

10.7.7 Costos administrativos.

Dentro de estos costos se incluyen aquellos en los que incurren las compañías de seguros para tramitar reclamaciones asociadas a accidentes, al igual que el costo de los servicios de emergencia que atienden un siniestro, es decir las autoridades. Las fuentes principales de estos costos son Fasecolda, el INMLCF (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses) y la Dirección de Tránsito de la Policía Nacional.

Para la administración de seguros se estimó el costo basado en el porcentaje de las primas de seguros de vehículos que va dirigido a gastos administrativos. Por su parte, para la información proporcionada por la policía, ésta permitió un análisis a mayor profundidad pues segregaba información por oficial de tránsito y tipo de accidente. Finalmente, la información del INMLCF facilitó conocer al detalle los costos en los que se incurre por la práctica de diferentes pruebas como consecuencia de los accidentes con heridos graves y muertos.

10.7.8 Costos humanos

Acá se hace referencia a la valoración de la vida; si bien es un tema difícil de medir y ponerle un valor monetario, se toman como base metodologías hechas alrededor del mundo donde se estima que aproximadamente de un 65% a 80% (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2010) de los costos de un accidente corresponden a la pérdida de vidas. Igualmente, también se incluye la valoración del dolor y el luto desencadenados a raíz del suceso del accidente. Esta última valoración hace referencia a las indemnizaciones aplicadas por daños en la legislación colombiana. El valor incluye:

1. Edad promedio en accidentes de tránsito.
2. Número promedio de días de incapacidad.
3. Pérdida de la productividad a causa del fallecimiento de una persona.
4. Pérdida de la productividad a causa de la incapacidad temporal de una persona y quién la cuida.
5. Dolor (Con base en el SMMLV).
6. Número de víctimas por cada tipo de accidente.
7. Costo total asociado a factores humanos por tipo de accidente.

10.7.9 Las tasas de accidentalidad por tipo de vehículos se estiman a partir de los datos de vehículos x kilómetros, suministrados por el modelo de demanda (en hora pico). De esta manera se tiene una misma base de comparación de los tres escenarios.

10.7.10 A partir de este insumo, se estiman las ratios de accidentalidad según los accidentes históricos por tipo de vehículo, privados y públicos. Posteriormente se calculan las tasas de accidentalidad a partir de los vehículos x km estimados por el modelo de demanda en el año 2016.

10.7.11 Para estimar la ratio de accidentalidad se han utilizado varias fuentes:

- Para la ratio de accidentalidad de los vehículos privados, se utilizaron las estadísticas históricas de 2009 a 2016 de accidentes de la Secretaría de Movilidad de Bogotá. Estas estadísticas discriminan por todos los tipos de vehículos privados (auto, moto, taxi y camiones pequeños y grandes) y por tipo de accidentes (accidentes con solo daños, accidentes con heridos y accidentes con muertos).
- Se realizó el mismo ejercicio para los vehículos públicos (articulado, biarticulado, padrones duales y zonal) a partir de la información recibida por la Transmilenio S.A.

10.7.12 El cálculo seguido fue el siguiente:

- En primer lugar, se estimó el promedio de accidentes por tipo de vehículos entre el año 2009 y 2016.
- Seguidamente, se estimó el número de kilómetros recorridos en el año 2016 por los diferentes tipos de vehículos a partir de la información extraída del modelo de demanda, en un escenario base de calibrado calculado para el 2016.
- Se procedió a convertir el número de kilómetros recorridos en hora pico a número de kilómetros recorridos en el año multiplicando los valores obtenidos por los factores de expansión hora pico-día y día-año específicos para vehículos privados y públicos.
- Por último, se calculó la tasa de accidentalidad dividiendo el número de accidentes promedio sobre el número de kilómetros recorridos por el tipo de vehículo.

En la Tabla 73, Tabla 74 y Tabla 75 se presenta el cálculo para cada tipo de accidentes.

Tabla 73: Cálculo tasa de accidentalidad "solo daños"

| Vehículos modelo de transporte | Promedio Accidentes 2009 -2016 | km Modelo de demanda 2016 | Factor de Expansión hora-día | Factor de Expansión día – año | kms x Factor de Exp. | Tasa Acc/km |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Moto | 7.717 | 1.197.943 | 12,5 | 300 | 4.492.285.401 | 0,0001816% |
| Auto | 25.401 | 1.566.362 | 12,5 | 300 | 5.873.857.500 | 0,0004324% |
| Camión pequeño | 10.322 | 102.955 | 12,5 | 300 | 386.081.397 | 0,0023366% |
| Camión grande | 1.486 | 18.556 | 12,5 | 300 | 69.583.485 | 0,0018643% |
| Taxis | 8.193 | 477.693 | 12,5 | 300 | 1.791.349.446 | 0,0003972% |
| Transmilenio | 457 | 36.256 | 9 | 299 | 101.359.086 | 0,0004513% |
| Zonal | 2.952 | 84.024 | 9 | 299 | 234.901.696 | 0,0012567% |

Fuente: Secretaría de Movilidad y Transmilenio S.A.

Tabla 74: Cálculo tasa de accidentalidad "con heridos"

| Vehículos modelo de transporte | Promedio Accidentes 2009-2016 | km recorrido modelo 2016 | Factor de Expansión hora-día | Factor de Expansión día – año | kms x Factor de Exp. | Tasa Acc/km |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Moto | 5789 | 1.197.943 | 12,5 | 300 | 4.492.285.401 | 0,0001363% |
| Auto | 5169 | 1.566.362 | 12,5 | 300 | 5.873.857.500 | 0,0000880% |
| Camión pequeño | 1725 | 102.955 | 12,5 | 300 | 386.081.397 | 0,0003905% |
| Camión grande | 158 | 18.556 | 12,5 | 300 | 69.583.485 | 0,0001988% |
| Taxi | 2405 | 477.693 | 12,5 | 300 | 1.791.349.446 | 0,0001166% |
| Transmilenio | 546 | 36.256 | 9 | 299 | 101.359.086 | 0,0005389% |
| Zonal | 1008 | 84.024 | 9 | 299 | 234.901.696 | 0,0004292% |

Fuente: Secretaría de Movilidad y Transmilenio S.A.

Tabla 75: Caculo tasa de accidentalidad "con muertos"

| Vehículos modelo de transporte | Promedio Accidentes 2009-2016 | km recorrido modelo 2016 | Factor de Expansión hora-día | Factor de Expansión día – año | kms x Factor de Exp. | Tasa Acc/km |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Moto | 202 | 1.197.943 | 12,5 | 300 | 4.492.285.401 | 0,00000475% |
| Auto | 119 | 1.566.362 | 12,5 | 300 | 5.873.857.500 | 0,00000203% |
| Camión pequeño | 91 | 102.955 | 12,5 | 300 | 386.081.397 | 0,00002060% |
| Camión grande | 41 | 18.556 | 12,5 | 300 | 69.583.485 | 0,00005195% |
| Taxis | 57 | 477.693 | 12,5 | 300 | 1.791.349.446 | 0,00000276% |
| Transmilenio | 26 | 36.256 | 9 | 299 | 101.359.086 | 0,0000260% |
| Zonal | 25 | 84.024 | 9 | 299 | 234.901.696 | 0,0000107% |

Fuente: Secretaria de Movilidad y Transmilenio S.A.

10.7.13 La tasa de accidentalidad del metro se elaboró a partir de información pública de accidentes del metro de Nueva York para el periodo julio 2015-julio 2016. Se procedió a calcular la tasa de accidentalidad de la misma forma que para los otros tipos de vehículos con la excepción de que los kilómetros recorridos son los reales del metro neoyorquino. Igualmente, es importante resaltar que el metro de Nueva York cuenta con varias secciones en tipología elevada.

Tabla 76 Tasa de accidentes del metro de Nueva York

| Año | Número pasajeros | Accidente por millón de pasajeros | Millas | Kilómetros | Número de accidentes totales | Tasa de accidentalidad por km |
|-----------|------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|
| 2015/2016 | 1.756.814.800 | 2,48 | 358.000.000 | 576.143.720 | 4.357 | 0,00076% |

Fuente: (Metropolitan Transportation Authority, 2016)

10.7.14 Mejora de la accidentalidad. Se considera que la tasa de accidentalidad tiene una tendencia decreciente debido a las mejoras en la organización del tráfico y de la congestión, así como mejoras a nivel de la educación ciudadana en su comportamiento durante la conducción de vehículos. La tasa de accidentalidad está sujeta a un decrecimiento anual tanto en el caso base como en los escenarios de metro elevado y subterráneo. El coeficiente utilizado para representar esa mejora es de 0,955³⁴, y se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 5

$$A_n = A_0 \times \beta^n$$

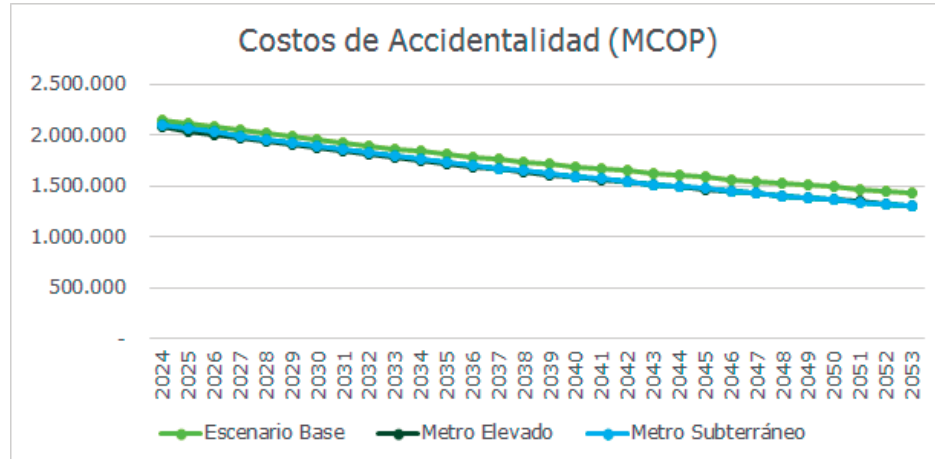
En donde:

- A_n es la tasa de accidentalidad para el año n
- A_0 es la tasa de accidentalidad para el año 2016
- β es la tasa de mejora de accidentalidad

³⁴ (NRA, 2011)

10.7.15 Los resultados de aplicar los costos unitarios a los tipos de accidentes x tasa de accidentalidad respectiva y por km resultantes del modelo de demanda, se exponen en siguiente figura.

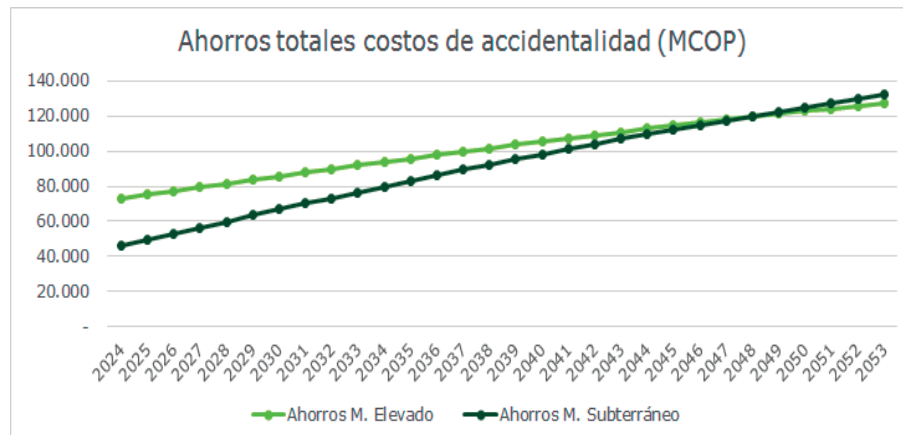
Figura 23 Costos de accidentalidad



Fuente: elaboración propia. Valores en millones de pesos del 31 de diciembre de 2016 – caso base

10.7.16A partir del proceso de cálculo anterior, se pudo estimar la reducción de accidentes en el período de análisis de cada escenario, así como los ahorros monetarios obtenidos. La figura adjunta refleja estos resultados cara a la introducción como insumo en el modelo de costo/beneficio.

Figura 24 Ahorro en costos de accidentalidad



Valores en millones de pesos del 31 de diciembre de 2016 – caso base

Fuente: Elaboración propia

10.8 Ahorros en las emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero

10.8.1 Como consecuencia de la ejecución del proyecto, se espera una reducción de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero por la entrada en operación de un sistema de producción limpia como el Metro y por el traslado de viajeros al mismo, lo que impactará en una reducción de la movilidad en modos más contaminantes, principalmente el vehículo privado.

10.8.2 Los cambios de emisiones contaminantes entre los diferentes escenarios se basan en el diferencial de kilómetros recorridos por los tipos de vehículos circulando en la ciudad, así como en las distintas tipologías de vehículos. De acuerdo con lo anterior se pueden observar dos efectos:

- Efecto de transferencia de modos, desde los más contaminantes a los menos. Como en el cálculo de los costos de operación, es de esperar una reducción de los km recorridos por los vehículos privados en favor de uso del metro y otras troncales de Transmilenio.
- Efecto por el tipo de vehículo utilizado en los medios de transporte público. En efecto, el metro es menos contaminante que los buses en el servicio troncal que, a su vez, son menos contaminantes que los buses zonales. Cuando la oferta de troncal mejora en la ciudad, la oferta de recorridos zonales disminuye ya que las troncales absorben un parte de los viajes realizados por los buses de tipo zonal.

Asimismo, indicaremos que en este análisis no se han realizado estimaciones respecto de la adquisición y puesta en servicio de nuevos autobuses menos contaminantes, como los eléctricos o híbridos. El Distrito Capital quiere promover en los nuevos contratos de servicio de Transmilenio la utilización de flotas limpias, lo que redundará en una reducción de emisiones, principalmente en aquellos escenarios en los que exista una mayor oferta de transporte troncal.

10.8.3 Se han calculado las emisiones contaminantes emitidas en el aire bogotano como función de los kilómetros recorridos por los diferentes tipos de vehículos, según el escenario analizado y el factor de emisión de cada tipo de vehículo. En la estimación monetaria de este impacto, se han diferenciado cinco tipos de contaminantes: i) dióxido de carbono – CO₂, ii) monóxido de carbono - CO, iii) dióxido de sulfuro – SO₂, iv) dióxido de nitrógeno – NO₂ y, v) partículas de 2,5 y 10 micrómetros – PM_{2,5} y PM₁₀.

Se multiplican las toneladas emitidas en el año por los diferentes tipos de vehículos por el costo social de dichos contaminantes y gases a efecto invernadero.

10.8.4 La Tabla 77 presenta los factores de emisión por cada tipo de vehículo privado en gramos por kilómetro recorridos.

Tabla 77: Factores de emisión vehículos privados (g/km)

| Vehículos privados | CO ₂ | CO | NOX | SO ₂ | PM ₁₀ | PM _{2,5} |
|--------------------|-----------------|--------|-------|-----------------|------------------|-------------------|
| Auto | 312,00 | 8,50 | 0,90 | 0,34 | 0,00 | 0,003 |
| Camión pequeño | 702,57 | 9,49 | 14,69 | 0,75 | 0,85 | 0,828 |
| Camión grande | 474,77 | 108,49 | 6,00 | 0,22 | 0,05 | 0,050 |
| Moto | 258,00 | 8,40 | 2,00 | 0,87 | 0,00 | 0,003 |
| Taxi | 28,09 | 7,56 | 0,03 | 0,06 | 0,15 | 0,145 |

Fuente: (Secretaría de Ambiente de Bogotá, 2010)

En la Tabla 78, se indican los factores de emisión por cada tipo de vehículo público en gramos por kilómetro recorridos.

Tabla 78: Factores de emisión vehículos públicos (g/km)

| Vehículos públicos | CO ₂ | CO | NOX | SO ₂ | PM ₁₀ | PM _{2,5} |
|------------------------------------|-----------------|-------|------|-----------------|------------------|-------------------|
| Transmilenio | | | | | | |
| Articulado (150 pax) | 685,16 | 1,84 | 7,33 | 0,96 | 0,29 | 0,288 |
| Biarticulado (250 pax) | 685,16 | 1,84 | 7,33 | 0,96 | 0,29 | 0,288 |
| Padrones duales (diésel) (80 pax) | 487,70 | 88,08 | 5,24 | 0,22 | 0,04 | 0,040 |
| Padrones duales (híbrido) (80 pax) | 487,70 | 88,08 | 5,24 | 0,22 | 0,04 | 0,040 |

| Zonal | | | | | | |
|---------------------|--------|-------|-------|------|------|-------|
| Microbús (19 pax) | 415,99 | 65,20 | 3,90 | 0,06 | 0,04 | 0,041 |
| Buseta (40 pax) | 787,03 | 9,08 | 15,21 | 0,75 | 1,21 | 1,186 |
| Busetón (48-60 pax) | 787,03 | 9,08 | 15,21 | 0,75 | 1,21 | 1,186 |
| Padrón (80-90 pax) | 487,70 | 88,08 | 5,24 | 0,22 | 0,04 | 0,040 |
| Interurbano | 787,03 | 9,08 | 15,21 | 0,75 | 1,21 | 1,186 |

Fuente: (Secretaría de Ambiente de Bogotá, 2010)

Cabe resaltar que, para los buses interurbanos, no existe mucha información. Por lo tanto, se hizo el supuesto que todos los buses interurbanos tienen las mismas características que un busetón.

Para tener en cuenta las mejoras tecnológicas de los vehículos, se ponderan los factores de emisión contaminantes por un coeficiente de mejora de emisión. Este se estima en 0,99³⁵, y se calcula de la siguiente forma:

$$C_{n,i} = C_{0,i} \times \beta^n$$

En donde:

- C_n es el factor de emisión para el año n
- C_0 es el factor de emisión para el año base
- β es la tasa de mejora de emisiones contaminantes

Finalmente, el costo asociado a cada tipo de emisión de contaminantes se presenta en la Tabla 79.

Tabla 79 Costo asociado a cada tipo de emisión de contaminantes

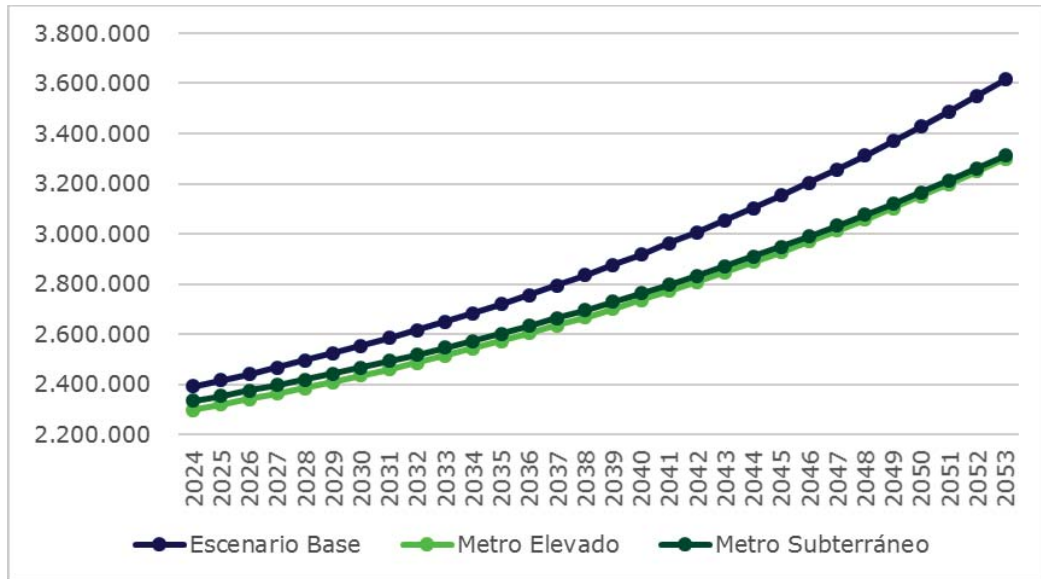
| Costos unitarios de emisión (COP por toneladas) – 2016 | | | | |
|---|----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| Dióxido de Carbono | Monóxido de Carbono | Dióxido de Nitrógeno | Partículas | Partículas |
| CO2 | CO | SO2 | PM10 | PM2,5 |
| \$ | \$ | \$ | \$ | |
| 15.836 | 1.439.604 | 1.151.683 | 116.978.512 | 116.978.512 |

Fuente: Elaboración propia a partir de Observatorio de movilidad urbana para América Latina, CAF 2009; EPA, United States Environmental Protection Agency y (Morgenstern, 2007)

10.8.5 Los resultados de aplicar los costos unitarios de las emisiones contaminantes x las cantidades emitidas se exponen a continuación.

³⁵ Fuente: TOOL 18 - Methodological tool - Baseline emissions for modal shift measures in urban passenger transport

Figura 25 Estimación de costos de emisiones contaminantes

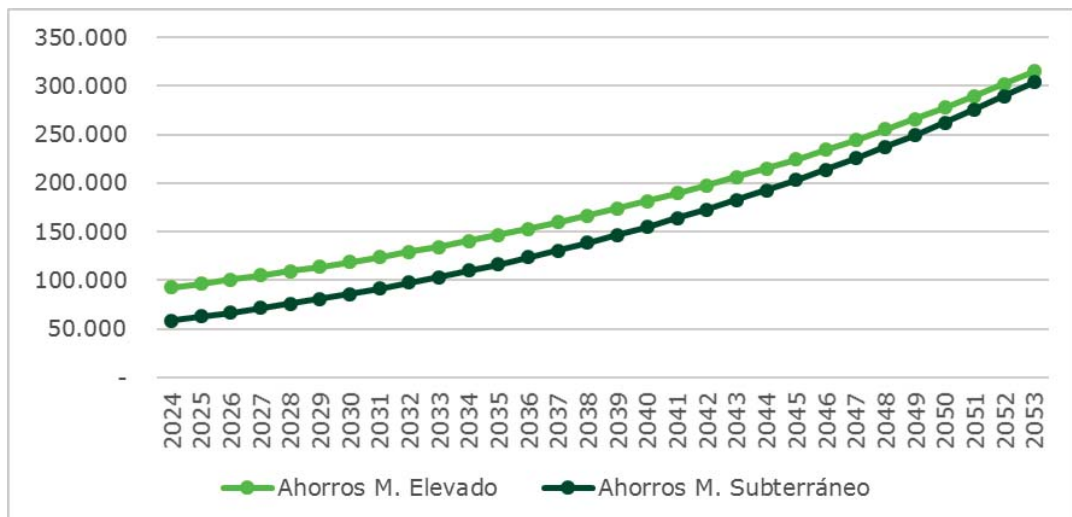


Valores en millones de pesos del 31 de diciembre de 2016 – caso base

Fuente: Elaboración propia

10.8.6 En la figura adjunta se recogen los resultados del ejercicio de estimación y monetización de la emisión de contaminantes.

Figura 26 Estimación de beneficios monetarios derivados de la reducción de contaminantes



Valores en millones de pesos del 31 de diciembre de 2016 – caso base

Fuente: Elaboración propia

10.9 Otros impactos no cuantificados, que se consideran en la evaluación cualitativa

10.9.1 El análisis de este apartado hace referencia al informe realizado por SYSTRA (2016) con respecto al estudio del metro elevado en Bogotá. Más específicamente, al estudio

multicriterio en el que se analizan diferentes alternativas para la construcción del metro. Dentro de estas alternativas, se tomaron dos escenarios concretos: en primer lugar, el escenario que se nombra en el informe como A. Alternativa Base Modificada (A.BM), el cual considera la construcción del metro de manera subterránea. De igual forma, se toma la alternativa D.1 que toma el escenario en el cual el 100% del trazado es construido de forma elevada.

Así pues, se toman en el estudio diferentes factores que pretenden actuar a manera de indicador sobre los beneficios y costos que puede tener la implementación de cada una de las alternativas. Dentro de este informe se incluyen algunos de estos, los cuales se consideran relevantes: **i) Afectación arbórea, ii) Generación de ruido y vibraciones por la operación del sistema, iii) Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico, iv) Impacto visual, v) Interferencia con cuerpos de agua, vi) Interferencia con redes principales y vii) Percepción de seguridad.**

10.9.2 Afectación arbórea

Este indicador es de tipo cuantitativo, y se toma en cuenta ya que los árboles son considerados un recurso de vital importancia para la sostenibilidad de los ecosistemas que se encuentran dentro de las zonas urbanas. Contribuyen a la regulación del clima, refugian y alimentan a la avifauna, y aportan belleza al entorno donde se encuentran. De esta manera, se considera importante incluir este factor en el análisis pues la afectación que puedan sufrir los árboles a raíz de los proyectos realizados en la ciudad deben contar con medidas de control que prevengan y mitiguen los impactos causados. Esta afectación puede hacer referencia a la permanencia de los árboles en el lugar, realizar su bloqueo y/o traslado o terminar por talar los árboles sobre los que se hace mención.

La información fue extraída de la base de datos del Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá (SIGAU) que es manejado por el Jardín Botánico de Bogotá y contiene información acerca de los árboles localizados en el espacio público de la ciudad. Igualmente, se definió una zona "buffer" en el estudio que incluía los árboles que por cercanía al sistema pudieran verse afectados en su estructura. De esta manera, se puede observar en las imágenes siguientes el método según el cual se identificaron los árboles que se verían afectados por la construcción de estaciones, viaductos y trincheras dentro de cada una de las alternativas de construcción.

Figura 27 Identificación de árboles afectados



Fuente: (SYSTRA, 2016)

Así pues, se prosiguió con la cuantificación del número de árboles afectados bajo las alternativas propuestas por el estudio. En ese sentido, la construcción de la alternativa A.BM afecta en total a 1.887 árboles en total, mientras que la alternativa D.1 afecta en total 1.896 individuos arbóreos. Es claro que la diferencia entre las dos alternativas no es muy grande, razón por la cual en el estudio se les otorga la calificación más alta de "A" a ambas alternativas para este criterio estudiado.

10.9.3 Generación de ruido y vibraciones por la operación del sistema

Al entrar en funcionamiento un nuevo sistema de transporte, los niveles de ruido se ven afectados en la medida que aumentan las actividades generadoras de ruido dentro de la ciudad. Esto podría presentar perturbaciones a las personas y al desarrollo normal de sus tareas diarias. Por esta razón, se decide estimar este indicador en el estudio que toma los niveles de presión sonora para el caso subterráneo y elevado; el primero se hizo a partir de los valores obtenidos en las proyecciones de ruido desarrolladas en estudios anteriores y el segundo a partir de valores de referencia internacional.

La información mencionada del metro subterráneo proviene del Estudio de Impacto Ambiental del año 2015 contratado por el IDU, esto hace referencia a los niveles de presión sonora que se proyectaron mediante el software SoundPLAN. Se tomó como referencia el nivel máximo de ruido definido por el estudio, que encuentra que los niveles de presión sonora causados por el metro en operación oscilan entre los 60 dB(A) y 70 dB(A) entre las zonas habitables con edificios y las inmediaciones de la operación.

En cuanto al metro elevado, no se encontraron en el estudio niveles de referencia medidos en metros elevados que estuvieran en funcionamiento. Por esta razón, se tienen como referencia los datos definidos por la Administración de Seguridad Ocupacional y Salud (OSHA, por sus siglas en inglés) para el valor de ruido generado por el tren de un sistema metro. Este valor corresponde a 95 dB.

En ese sentido, la alternativa A. BM obtiene la mejor calificación de "A" pues obtiene un nivel de ruido de 70 dB, mientras que la alternativa D.1 obtiene la peor calificación de "E" gracias al valor elevado del indicador.

En cuanto a las vibraciones, las construcciones e infraestructura contiguas pueden verse afectadas al entrar en funcionamiento un nuevo sistema de movilidad. La velocidad de desplazamiento, las características mecánicas de los suelos y el peso del material rodante son elementos esenciales para determinar el nivel de vibración. Este indicador cualitativo se construye a partir de los umbrales de riesgo de movimientos admisibles establecidos en función de los movimientos y las edificaciones definidos en el contrato 849 de 2013 del IDU, que corresponde a la Consultoría para la Línea 1 del metro.

El estudio cita lo elaborado en el contrato, a partir de lo cual se identificaron para el metro subterráneo, los predios con cimentaciones que estuvieran a 10 metros del eje del túnel y los predios con fachadas que estuvieran a 10 metros del borde externo del viaducto para el metro elevado. De igual forma, y de acuerdo con la experiencia internacional estudiada por el informe, se le asignó un peso mayor al metro subterráneo que al metro elevado pues el funcionamiento de este genera mayores vibraciones gracias al medio de propagación y área de contacto con respecto al medio receptor.

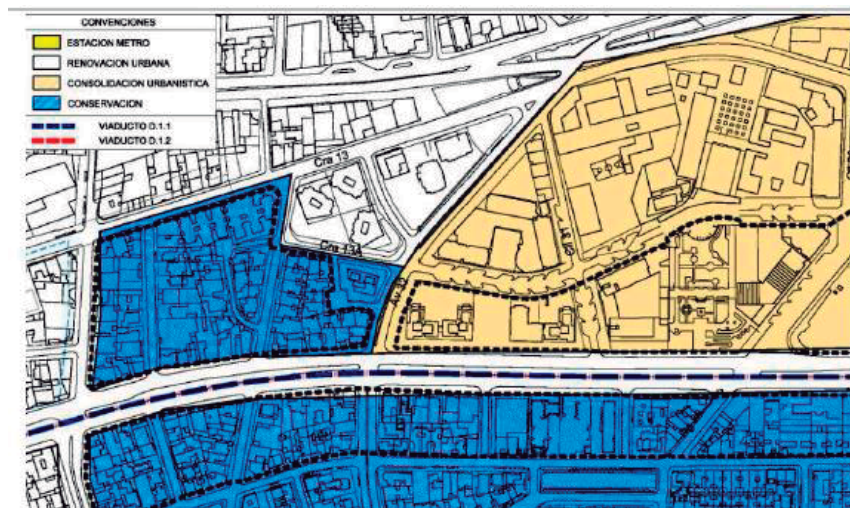
A partir de estos dos factores de predio y valoración asignada por cada sistema, se le dio una calificación a cada alternativa con respecto al número de predios con alto potencial de perturbación. En ese sentido la alternativa A. BM afectaría 732 predios mientras que la D.1 afectaría tan solo 89. Por esta razón la primera obtuvo la peor calificación de "E" y la segunda la mejor de "A".

10.9.4 Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico

Este indicador cuantifica los metros cuadrados de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico que podrían ser afectados por la construcción del metro. Esto, debido a que tiene como objeto proteger el patrimonio cultural de la ciudad representado en las áreas que poseen valores urbanísticos, históricos, arquitectónicos y ambientales, en concordancia con el modelo de ordenamiento territorial.

Para medir este factor, el estudio toma las áreas definidas como “sectores de conservación” y “sectores de consolidación urbanística” en el ámbito de influencia de las estaciones y por efectos de trazado de acuerdo con el decreto 190 de 2014 que define el POT para la ciudad de Bogotá. Esto, debido a que la construcción y posterior funcionamiento de un viaducto influye en la calidad de los barrios mencionados anteriormente, por lo que el área de influencia de la estación no es suficiente para cuantificar este factor. En la Figura 28 se presenta un ejemplo que muestra cómo se identificaron dichos sectores.

Figura 28 Ejemplo de la identificación de las áreas de conservación y consolidación.



Fuente: (SYSTRA, 2016)

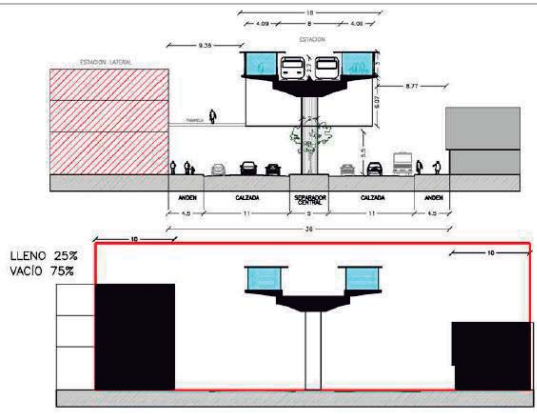
Así pues, se identificaron las primeras manzanas adyacentes al viaducto o estación que se encuentren constituidas como “sectores de conservación” o “sectores de consolidación urbanística” para cada una de las alternativas planteadas en el estudio. Una vez realizado esto, se cuantificaron la cantidad de metros cuadrados que resultarían afectados dentro de la construcción de cada alternativa. Es importante tener en cuenta, que la alternativa que contempla la construcción de un metro elevado (D.1) podría tener una mayor afectación debido a que las mayores áreas de conservación están sobre la Carrera Décima y la Avenida Caracas.

De esta manera, la alternativa A. BM resultaría afectando un total de 128.653 metros cuadrados, mientras que la alternativa D.1 afectaría un total de 746.261 metros cuadrados. Razón por la cual la primera obtiene la mejor calificación de “A” y la segunda obtiene la peor calificación de “E”.

10.9.5 Impacto visual

Al introducir infraestructura nueva en el entorno urbano, los habitantes de la ciudad experimentan un impacto visual, que se evalúa a partir de la calidad y/o fragilidad paisajística y sus efectos en cuanto a la integración, visibilidad y proporción. De esta manera, se divide el espacio en área construida y área libre y se calcula la proporción de cada uno dentro del área estudiada. La Figura 29 presenta una imagen que ilustra la forma en la que se calcula este indicador.

Figura 29 Ejemplo del cálculo de impacto visual



Fuente: (SYSTRA, 2016)

El metro elevado tiene una gran afectación visual, así como lumínica, lo cual puede llegar a afectar o degradar la calidad urbana del sector donde se construye. El principal factor para cuantificar este indicador, se estableció como el vacío, el cual se puede entender como el área libre que no está construida. De esta manera, se determinó el porcentaje de lo que se encuentra construido en estaciones y trazado, sobre el área libre que no está construida o que está vacía. Posteriormente, se sacan promedios de los porcentajes para cada una de las alternativas para darle un valor a este indicador.

De esta manera, la alternativa A. BM obtiene un porcentaje de impacto visual de 0% y la mejor calificación de "A" mientras que la alternativa D.1 obtiene un porcentaje de 22% y la peor calificación de "E".

10.9.6 Interferencia con cuerpos de agua

El recurso hídrico de la ciudad de Bogotá está compuesto por una red de ríos, quebradas, canales y humedales que atraviesan la ciudad, alimentando su principal cauce fluvial, el río Bogotá. Cuando se introduce un nuevo sistema de transporte, el área de intervención probablemente modificará este recurso, razón por la cual es importante considerar este factor.

De esta manera, este indicador calcula la cantidad de cuerpos de agua que serán interceptados en cada una de las alternativas propuestas y para esto, el estudio se basa en el mapa de fuentes hídricas de la ciudad y el trazado de las alternativas. En la Figura 30, se muestra la relación entre el trazado de las alternativas planteadas en el estudio y fuentes hídricas de la ciudad.

Figura 30 Interferencia del trazado con los cuerpos de agua



Fuente: (SYSTRA, 2016)

Es así como el estudio analiza el número de interferencias que se presentan bajo cada una de las alternativas. Así, la alternativa A. BM interfiere con un total de 3 fuentes hídricas (Molinos, Virrey y Callejas) mientras que la alternativa D.1 no interfiere con ninguna fuente hídrica dado que corresponde a la construcción de una estructura elevada. En ese sentido, la primera alternativa recibe una calificación deficiente de "D" mientras que la segunda alternativa obtiene la mejor calificación de "A".

10.9.7 Interferencia con redes principales

Las redes de servicios públicos están construidas sobre y debajo de las vías urbanas, y al realizar la construcción de infraestructura se presenta cierto nivel de dificultad debido a la aparición de interferencias que se deben prever con el fin de que dichas obras no se vean interrumpidas. De esta manera, el estudio toma cada una de las redes de servicio público y calcula el número de metros lineales de infraestructura principal que interfieren con cada una de las alternativas trazadas.

Los servicios que se analizan en el informe son: Acueducto, Alcantarillado, Energía y Gas. De manera homogenizada, el estudio establece el cálculo de redes principales de la siguiente manera:

- Red de acueducto: redes matrices con diámetros mayores a 12".
- Red de alcantarillado: redes colectoras con diámetros mayores a 1 m y todas las redes interceptoras.
- Red eléctrica: red de alta tensión con cargas superiores a 57,5 kV.
- Red de gas natural: redes con diámetros mayores a 4".

Igualmente, se tuvieron en cuenta en el estudio, la afectación a las redes de servicios públicos que es diferente para cada tipología. En ese sentido se definieron una serie de criterios que determinan qué redes se afectan con relación a cada trazado y tipología, los cuales se presentan a continuación:

- La sección y profundidad del túnel o de la cimentación del viaducto, y el método constructivo.
- Las normas de las empresas de Servicios Públicos, donde se definen las distancias mínimas que deben respetarse desde la infraestructura hasta el eje de la red afectada.
- La sección transversal de la vía por la que transcurre el túnel, pues las redes principales deben reubicarse dentro del ancho de la calzada del corredor.
- Redes paralelas al trazado pues las redes transversales no se consideran para la solución de viaducto, salvo aquellas que no pueden ser salvadas debido a la distancia entre pila y pila (20 m)

Así, se calcularon las longitudes de redes posiblemente afectadas:

Túnel mediante TBM (Tunnel Boring Machine, por sus siglas en inglés): Dado que el túnel está a una profundidad bastante superior a la de las redes, se asume en el estudio que no afecta ni interfiere con ninguna red principal. Por lo tanto, solo se tienen en cuenta las redes que están dentro de la proyección en planta de las estaciones, las cuales son ejecutadas mediante excavación desde la superficie.

Túnel entre pantallas: Dado que esta construcción contempla una excavación completa desde la superficie, el estudio cita el Consorcio L1 donde se establece que las redes contempladas para esta excavación corresponden a 12,40 m. De igual forma, se tienen en cuenta las normas de las empresas prestadoras de servicios y el ancho de las calzadas, se estimó una distancia de seguridad promedio de 7 m desde el borde de la pantalla hasta el eje de la red afectada, lo cual lleva a que se establezca una distancia de 13 m desde el eje del túnel a partir de lo cual todas las redes se verían afectadas.

Viaducto: La cimentación del viaducto es la que termina por afectar e intervenir las redes. El ancho de los dados o zapatas de la cimentación oscilarán entre los 8 m y 10 m. Así, el estudio define una distancia de seguridad de 5 m que establece una zona de posible afectación que va entre los 9 m y 10 m respecto del eje del viaducto.

De esta manera, el estudio prosiguió a ponderar cada alternativa dándole un peso de 70% a la longitud de redes húmedas afectadas y un 30% a la longitud de redes secas afectadas. Así, se obtuvo un único valor homogéneo para todas las redes afectadas por el sistema bajo cada una de las alternativas. En ese sentido, la alternativa A. BM afecta un total de 3.845 m de redes mientras que la D.1 afecta 8.987 m, recibiendo así la primera la mejor calificación de "A" y la segunda la peor calificación de "E"

10.9.8 Percepción de seguridad

Dependiendo del tipo de infraestructura que se construya (subterránea o elevada), los vecinos y usuarios percibirán diferentes niveles de seguridad dentro de las estaciones y por fuera de ellas. Esto se ve condicionado a la transparencia de las edificaciones, su iluminación, las condiciones de acceso y la posibilidad de ver desde el exterior lo que sucede al interior de las mismas. Así pues, se le otorga en el estudio una calificación ponderada a cada alternativa de acuerdo al número de estaciones elevadas y subterráneas que tengan contempladas.

Este factor depende en gran parte de la seguridad aplicada por las autoridades de la ciudad. Así pues, depende de la adecuada aplicación por parte de estas que ciertas configuraciones físicas de la infraestructura no se presten para el desarrollo de inseguridad y deterioro físico de las mismas. En ese sentido, las configuraciones que se prestarían para esto son: la parte inferior del viaducto y los accesos a las instalaciones subterráneas.

Para cuantificar este factor, se consideró un benchmark sobre ejemplos en el mundo de sistemas de metro que contaran con una extensa red de líneas, gran cantidad de estaciones elevadas y subterráneas y una misma política de seguridad aplicada en la ciudad para poder observar en sus estadísticas las consecuencias de cada uno de los dos tipos de estaciones. En ese sentido se usó en el estudio como ejemplo el metro de la ciudad de Nueva York que permite tener un retorno de experiencia de 110 años dentro del cual se puede contemplar un periodo en el que se lograron bajar los índices de criminalidad que afectaban al metro y a la ciudad en general.

Citando un estudio basado en estadísticas de la MTA y NYPD, el informe revela que durante 2008 y 2013 el 70% de los incidentes ocurridos en el metro se presentaron en estaciones subterráneas. Por esta razón, se le asigna una puntuación de 5 a la infraestructura de estaciones elevadas y de 3 a la infraestructura de estaciones subterráneas. Así pues, la alternativa de A. BM obtiene una nota de 3,4 mientras que la alternativa D.1 obtiene una calificación de 4,2 lo cual termina siendo una calificación deficiente de "E" para la primera alternativa y una calificación sobresaliente de "B" para la segunda.

10.9.9 Valoración de predios

Adicionalmente, es importante considerar la revalorización del valor de los predios. Sin embargo, el estudio realizado por SYSTRA (2016) no incluye en sí un indicador que explique este efecto como consecuencia de la construcción de un metro. En el estudio se incluyen tres indicadores que miden el: i) Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios, ii) Potencial de generación de espacio público y iii) Potencial de recuperación de zonas deprimidas. El primer indicador, hace referencia al desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios, el segundo a la generación de zonas de espacio público por la inserción urbana del proyecto y el tercero habla acerca de la recuperación de zonas deprimidas a raíz de la inserción del sistema.

Igualmente, tomando como base la Evaluación socioeconómica ex-ante del proyecto "Primera Línea del Metro de Bogotá" (2014), realizado por el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá, se puede entender que la implementación del metro desencadenaría un incremento de 2,4% para el valor de metro cuadrado residencial y 0,1% en el valor del metro cuadrado comercial.

Así mismo, se sabe que la construcción del metro valoriza las construcciones residenciales que se encuentran cercanas a este. La inserción del sistema de transporte permite un ahorro de tiempos considerable que la gente valora y por el cual está dispuesta a pagar más. Sin embargo, cuando el metro es construido de manera subterránea, todas las construcciones cercanas a las estaciones se ven afectadas positivamente mientras que, si el metro es de tipo elevado, aquellas construcciones que se encuentran en primera línea en frente del metro verán consecuencias negativas en cuanto al impacto visual, el ruido y la vibración y el número de usuarios que aparecerán en su entorno.

Por esta razón, y a pesar de que aquellas construcciones que no están en la primera línea próxima al metro si ven los beneficios completos de tener el viaducto cerca, las consecuencias negativas que sobre los residentes de la primera línea tiene la instalación del viaducto hacen que en este sentido el metro elevado no presente los mismos beneficios. Así pues, siguiendo la metodología desarrollada por SYSTRA (2016) donde se le asigna a cada alternativa una calificación, el metro subterráneo obtendría bajo este contexto la mejor calificación de "A" mientras que el elevado tendría una calificación intermedia de "C".

10.9.10 Conclusión

En la Tabla 80 se muestra un resumen de cada una de las calificaciones que las alternativas obtuvieron en cada indicador.

Tabla 80 – Resumen de las calificaciones de las alternativas

| Indicador | Calificaciones | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| | Alternativa A. BM (Subterráneo) | Alternativa D.1 (Elevado) |
| Afectación arbórea | A | A |
| Ruido y vibraciones operación | E | A |
| Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico | A | E |
| Impacto visual | A | E |
| Interferencia con cuerpos de agua | D | A |
| Interferencia con redes principales | A | E |
| Percepción de seguridad. | E | B |
| Valoración de predios | A | C |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla, la alternativa que contempla la construcción del metro subterráneo obtiene en general mejores calificaciones para cada uno de los indicadores. Igualmente, con respecto a la alternativa que contempla la construcción del metro elevado obtiene un mayor número de "A" y un menor número de "E". Por esta razón, en los términos cualitativos en los que se realizó el estudio de SYSTRA (2016), podría decirse que esta alternativa presentaría mejores beneficios para la ciudad de Bogotá. Sin embargo, cabe anotar que es importante verificar los términos cuantitativos y la ponderación que se le pueda dar a cada uno de los indicadores para obtener un verdadero resultado general.

11 Modelo costo/beneficio

11.1 Hipótesis generales e indicadores

11.1.1 El modelo costo/beneficio realiza un balance entre costos y beneficios identificados y monetizados. Se trata de un modelo de comparación de flujos económicos monetizados (basado en precios sombra) y referenciados a moneda constante (se ha referenciado a COP 2016 -31 de diciembre).

El modelo realiza la comparación simple de costos y beneficios en términos constantes y a diversas tasas de descuento. La comparación se realiza entre los escenarios con y sin proyecto, de manera que pueda obtenerse la utilidad social por diferencia de los mismos. LE periodo de análisis es de 30 años. En este contexto, y debido a que la operación de los escenarios con metro empezaría a partir del segundo semestre del año 2023, de manera conservadora, se contabilizan los impactos a partir del 1 de enero del año 2024 hasta el el 31 de diciembre del año 2053. El mismo año, se descuenta el valor residual de la obra civil en función de la vida útil promedia de la misma evaluado a 60 años para ambas alternativas de metro.

11.1.2 Los indicadores de rentabilidad social que se emplean son: i) Valor Presente Neto Social (VPNS), ii) Tasa Interna de Retorno Económica -TIRE y iii) Relación Beneficio Costo (B/C), a partir de la información recopilada y los resultados de las estimaciones en los numerales anteriores. En las ecuaciones a continuación descritas S_t es el balance de flujos de efectivo, b_t , flujo de beneficios y c_t , flujo de costos. a_t , es el factor de descuento, r es la tasa de descuento y n la evaluación del periodo. B/C es la razón costo- beneficio e TIRE la tasa interna de retorno económico. (European Comission Directorate General Regional Policy, 2008)

11.1.3 El valor presente neto de los costos (VPNC) será:

$$C_i = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{(-c_0)}{(1+r)^0} + \frac{(-c_1)}{(1+r)^1} + \dots + \frac{(-c_n)}{(1+r)^n}$$

11.1.4 El valor presente neto de los beneficios (VPNB) será:

$$B_i = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{(b_0)}{(1+r)^0} + \frac{(b_1)}{(1+r)^1} + \dots + \frac{(b_n)}{(1+r)^n}$$

11.1.5 La razón beneficio costo (B/C) será:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{(b_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{(c_t)}{(1+r)^t}}$$

11.1.6 El valor presente neto social (VPNS) será:

$$VPNS = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{(b_0 - c_0)}{(1+r)^0} + \frac{(b_1 - c_1)}{(1+r)^1} + \dots + \frac{(b_n - c_n)}{(1+r)^n}$$

11.1.7 La Tasa interna de retorno económica será:

$$TIRE_i = \sum_{t=0}^n \frac{(b_t - c_t)}{(1+i)^t} = 0$$

Se realizan variaciones de la tasa de descuento r hasta que el valor presente neto este igual a 0. El r que resulta es la tasa interna de retorno económica del proyecto.

11.2 Análisis de sensibilidad

11.2.1 Sensibilidades de los parámetros considerados en cada evaluación. Cualquier previsión a futuro incluye un nivel de incertidumbre ligado a las posibles pautas de desarrollo de las variables explicativas y la respuesta de la demanda a ellas. Para evaluar esta incertidumbre se emplea el análisis de sensibilidad. El presente análisis incluye un estudio de sensibilidad a la tasa de descuento social. Se utiliza la tasa oficial del DNP de 12% como tasa de descuento del escenario base. Adicionalmente, como segunda sensibilidad, se utiliza la tasa de 9% que corresponde a la tasa de 12% menos una tasa promedio de inflación de Colombia de 3%. Finalmente, se realizó una tercera sensibilidad con la tasa de descuento de 4,4% propuesta por el Banco mundial (López, 2008).

12 Resultados del proyecto de metro elevado y comparación con el proyecto de Metro Subterráneo

12.1 Caso Base

12.1.1 El caso base se basa en un crecimiento de la movilidad en transporte público de 0,30% anual. Este Caso asume una transferencia modal desde el vehículo privado en una movilidad general que no cambia respecto de los casos alternativos.

12.1.2 La Tabla 81, presenta los resultados del **Caso Base para escenario de Metro Elevado**. El VPNS es de 1,907 billones COP, descontando los flujos a la tasa de 12% y la relación Beneficio/Costo, de 1,21.

Tabla 81 Caso base metro elevado – indicadores

| Indicadores | 12,00% | 9,00% | 4,40% |
|----------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Metro elevado | | | |
| Beneficios | 10.994.190 | 18.847.330 | 49.619.471 |
| Costos | -9.086.454 | -10.376.849 | -12.525.180 |
| VPNS | 1.907.736 | 8.470.481 | 37.094.291 |
| TIRE | | 13,42% | |
| B/C | 1,21 | 1,82 | 3,96 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en precios económicos del 31 de diciembre de 2016 descontados.

12.1.3 Los ahorros en tiempos de viajes y los ahorros en costos de operación de vehículos públicos son los impactos más importantes representando 75,71% y 11,55% de los beneficios respectivamente. Detrás de estos se ubican los costos de operación de vehículos privados con un 5,47% y las Emisiones contaminantes y la Accidentalidad con 2,91% y 4,36% respectivamente. Como se puede observar los ahorros en tiempo de viajes tienden a bajar proporcionalmente frente a los ahorros en costos de operación de vehículos privados por el peso de la transferencia modal.

12.1.4 Los costos del proyecto representan un costo de 9,086 billones COP, siendo los costos de Capex y Opex los únicos representativos con un importe del 100%.

Tabla 82: Caso base metro elevado - importe de cada impacto

| Importe de cada impacto | M. Elevado | | | | |
|--|-------------------|-----------|------------|------------|-------|
| | Tasa de descuento | 12% | 12% | 9% | 4% |
| | % | Monto | Monto | Monto | Monto |
| Tiempos de viaje | 75,71% | 8.323.613 | 14.523.094 | 39.314.029 | |
| Costos de operación vehículos privados | 5,47% | 601.642 | 1.096.820 | 3.143.025 | |

| | | | | |
|--|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Accidentalidad | 2,91% | 320.113 | 508.771 | 1.167.284 |
| Emisiones contaminantes | 4,36% | 479.098 | 789.516 | 1.939.871 |
| Costos de operación vehículos públicos | 11,55% | 1.269.724 | 1.929.128 | 4.055.261 |
| Beneficios totales | 100% | 10.994.190 | 18.847.330 | 49.619.471 |
| Tiempos de viaje | 0,00% | - | - | - |
| Costos de operación vehículos privados | 0,00% | - | - | - |
| Accidentalidad | 0,00% | - | - | - |
| Emisiones contaminantes | 0,00% | - | - | - |
| Costos de operación vehículos públicos | 0,00% | - | - | - |
| Capex y Opex de metro | 100,00% | 9.086.454 | 10.376.849 | 12.525.180 |
| Costos totales | 100% | 9.086.454 | 10.376.849 | 12.525.180 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en precios económicos del 31 de diciembre de 2016 descontados.

- 12.1.5 La Tabla 83 indica los resultados del **Caso Base para el escenario del Metro Subterráneo**. Puede observarse que el VPNS es ligeramente positivo (4.410 millones COP descontando al 12%) con un balance beneficio/costo de 1,00. Esta peor rentabilidad socioeconómica es debida en gran parte a la menor red troncal de apoyo, constituida por las troncales adicionales incluidas en este escenario (Séptima y prolongación de Caracas) frente a las cinco troncales del Metro elevado.

Tabla 83 Caso base metro subterráneo – indicadores

| Indicadores | 12,00% | 9,00% | 4,40% |
|--------------------------|--------------|------------------|-------------------|
| Metro Subterráneo | | | |
| Beneficios | 8.681.694 | 15.088.651 | 40.621.425 |
| Costos | -8.677.284 | -9.848.741 | -11.790.915 |
| VPNS | 4.410 | 5.239.910 | 28.830.511 |
| TIRE | | 11,78% | |
| B/C | 1,00 | 1,53 | 3,45 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en precios económicos del 31 de diciembre de 2016 descontados.

- 12.1.6 Los impactos en ahorro de tiempo de viaje, costos de operación de vehículos privados, accidentalidad y emisiones contaminantes generan beneficios por un monto 8,681 billones COP (tasa 12%). Los ahorros en tiempos de viajes y los ahorros en costos de operación de vehículos públicos son los impactos más importantes representando 76,54% y 9,84% de los beneficios respectivamente. Seguidamente, se ubican los costos de operación de vehículos privados con un 6,46% y las Emisiones contaminantes y la Accidentalidad con 4,22% y 2,94% respectivamente.

- 12.1.7 Igualmente, los costos del proyecto representan un costo descontado de 8,677 billones COP de los cuáles los costos de Capex y Opex corresponden a la totalidad del valor.

Tabla 84: Caso base metro subterráneo - importe de cada impacto

| Importe de cada impacto | M. Subterráneo | | | | |
|--|-------------------|-----|------------------|-------------------|-------------------|
| | Tasa de descuento | 12% | 12% | 9% | 4% |
| | | % | Monto | Monto | Monto |
| Tiempos de viaje | 76,54% | | 6.645.153 | 11.751.140 | 32.491.275 |
| Costos de operación vehículos privados | 6,46% | | 560.406 | 1.033.710 | 3.008.933 |
| Accidentalidad | 2,94% | | 255.397 | 417.886 | 1.007.499 |
| Emisiones contaminantes | 4,22% | | 366.389 | 620.679 | 1.596.605 |
| Costos de operación vehículos públicos | 9,84% | | 854.348 | 1.265.236 | 2.517.113 |
| Beneficios totales | 100,00% | | 8.681.694 | 15.088.651 | 40.621.425 |
| Tiempos de viaje | 0,00% | | - | - | - |
| Costos de operación vehículos privados | 0,00% | | - | - | - |

| | | | | |
|--|----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Accidentalidad | 0,00% | - | - | - |
| Emisiones contaminantes | 0,00% | - | - | - |
| Costos de operación vehículos públicos | 0,00% | - | - | - |
| Capex y Opex de metro | 100,00% | 8.677.284 | 9.848.741 | 11.790.915 |
| Costos totales | 100,00% | 8.677.284 | 9.848.741 | 11.790.915 |

Fuente: Elaboración propia. Valores en precios económicos del 31 de diciembre de 2016 descontados.

13 Bibliografía

- ADB, A. D. (2013). *Cost Benefit for development, a practical guide*. Asian Development Bank.
- Armstrong, R. (1994). Impact of commuter Rail Service a Relected in Single-Family Residential Property values. Preprint Trasnportation Research Board 73. Washington D.C.
- Azqueta, D. (1996). Valoración económica del medio ambiente: una revisión crítica de los métodos y sus limitaciones. *Información comercial española*, 37-46.
- Belli, P. (1998). *Handbook on economic analysis of investment operations*. Banco Mundial.
- Boarnet, M. &. (2001). The influence of land use on travel behavior: specification and estimation strategies. *Transportation research Part A: Policy and Practice*, vol. 35, issue 9., 823-845.
- CEDEX. (2010). *Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*.
- Cervini, H. B. (1990). *Estimación de p ́recios de cuenta para Colombia*. Bogotá: DNP.
- Corporación Fondo de Prevención Vial, C. y. (2010). *Desarrollo de Metodología de Valoracion del Costo Económico de la Accidentalidad Vial en Colombia y su cálculo para el periodo 2008-2010*. Bogotá.
- de Rus, G. B. (2006). *Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- de Rus, G. G. (2003). *Economía del transporte*.
- DNP, D. N. (2006). *Manua de valorción y cuantificación de beneficios*. Departamento Nacional de Planeación.
- Echeverry, J., Ibáñez, A., & Moya, A. (2005). *Una evaluación económica del Sistema Transmilenio*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Eduardo Lora, S. P. (2016). *Técnicas de Medición Económica*. Cali, Colombia: Universidad Icesi.
- European Comission Directorate General Regional Policy, E. (2008). *Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects: Final Report*.
- European Union. (2015). *Guide to Cost-Benefit Analisis of Investment Projects*. Brussels: Publications Office of European Union.
- FDN, F. d. (2013). *Manual de evaluación socioeconómica para el sector transporte de Colombia*. Financiera de Desarrollo Nacional .
- Héctor Cervini, C. I. (1990). *stimación de precios de cuenta para Colombia* .
- Hernandez, G. (2012). *Matrices Insumo-Producto y análisis de multiplicadores: una aplicación para Colombia*. Revista de Econmía Intenacional Vol 14, Nº 26, primer semestre, pp. 203-221.

- IDU. (2009). *Contrato IDU-BM-112. Evaluación de costos de usuario de acuerdo a las intervenciones que realiza el instituto en Bogotá D.C.*
- IDU, I. d. (2014). *Evaluación socioeconómica ex-ante del proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá.* Bogotá.
- Litman, T. (2003). Measuring transportation: traffic, mobility and accesibility. *ITE Journal, October, Vol. 73, No. 10, 28-32.*
- Lleras, G. (2003). *Bus Rapid Transit: Impacts on Travel Behavior. Tesis de Maestría. Departamento de Estudios Urbanos. Boston, MIT.*
- López, H. (2008). *The social discount rate: estimates for nine latin americian countries.* Policy research working paper: World Bank.
- Loukaitou, A. L. (2002). The Geography of Transit Crime: Documentation and Evaluation of crime incidence on and around the Green Line Stations in Los Angeles. . *Journal of planning education and research 22, 135-151.*
- Ltd., T. a. (2010). *Contrato IDU-BM 112 de 2009: Evaluación de costos de usuarios de acuerdo a las intervenciones que realiza el Instituto en Bogotá D.C.* Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).
- Metropolitan Transportation Authority, M. (2016). *Safety Committee Meeting.* Nueva York: MTA.
- Morgenstern, L. y.-T. (2007). *Improving Air Quality in Environmental Priorities and Poverty reduction: A country environmental analysis for Colombia. .*
- NRA, N. (2011). *Project Apraisal Guidelines.* Dublin.
- Ortuzar, J. R. (2005). On the joint valuation of averting fatal and severe injuries in highway accidents. *Journal of Safety Research, 377-386.*
- Riera, P. (1994). *Manual de valoración Contingente.* Instituto de Estudios Fiscales.
- Secretaría de Ambiente de Bogotá, S. (2010). *Plan decenal de descontaminación del aire de Bogotá.* Bogotá.
- SYSTRA Entregable 5, S. (2016). *Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original. PLMB-SYS-DOC-TOD-0500-0B.*
- SYSTRA, S. (2016). *SYSTRA-PLMB-SYS-DOC-TOD-0300_OC_Multicriterio_v4-1.*
- Transmilenio S.A., T. (2010). *Contrato no. 004 de 2010 de concesión para la explotación preferencial y no exclusiva para la prestación del servicio público de transporte de pasajeros dentro del esquema SITP Engativá con operación troncal.* Transmilenio S.A y Gmóvil S.A.S.
- Transportation Research Board. (2002). *Estimating the Benefits and costs of Public Transit Projects: A guidebook for practicioners.* Washington D.C.: National Academy Press.
- UK Department for Transport, U. (2013). *Value for Money Assesment: Advice Note for Local Transport Decision Makers.*
- Ustaoglu, E. (2014). *Economic evaluation of the impacts of new rapid rail investments and consequential forms of urban development within the grater Dublin area.*

World Bank, W. (2009). *Project Paper, Colombia, Integrated Mass Transit Systems Project.*
Report No.49400-CO. Washington.

Deloitte.

Deloitte se refiere a Deloitte Touche Tohmatsu Limited, (*private company limited by guarantee*, de acuerdo con la legislación del Reino Unido) y a su red de firmas miembro, cada una de las cuales es una entidad independiente. En www.deloitte.com/about se ofrece una descripción detallada de la estructura legal de Deloitte Touche Tohmatsu Limited y sus firmas miembro.

Deloitte presta servicios de auditoría, asesoramiento fiscal y legal, consultoría y asesoramiento en transacciones corporativas a entidades que operan en un elevado número de sectores de actividad. Con una red de firmas miembro interconectadas a escala global que se extiende por más de 150 países, Deloitte aporta las mejores capacidades y un servicio de máxima calidad a sus clientes, ofreciéndoles la información que necesitan para abordar los complejos desafíos a los que se enfrentan. Deloitte cuenta en la región con más de 200.000 profesionales, que han asumido el compromiso de convertirse en modelo de excelencia

© 2017 Deloitte Consulting, S.L.U.

© 2017 Deloitte Asesores y Consultores, Ltda.