



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Elaborado por:



Bogotá D.C, 2022

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Revisión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión inicial para revisión de FDN. No remitida a EMB
B	17-03-2022		Actualización de la versión del documento
C	20-05-2022		Atención a comentarios a partir de comunicación del Ministerio de Transporte Radicado MT No.: 20222100440511 del 21 de abril, 2022
D	16-06-2022 22-06-2022 29-06-2022		Atención a comentarios a partir de comunicación del Ministerio de Transporte Radicado MT No.: 20222100640101 del 08 de junio, 2022, y radicado MT No. 20222100688681 del 17 de junio, 2022 Atención comentarios radicado MT No. 20222100717551 del 28-junio-2022

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Preparó: F.A. Sánchez 29-06-2022	Revisó: F.A. Sánchez 29-06-2022	Revisó: I.M. Fierro 29-06-2022	Revisó: E. Cáceres 29-06-2022
Coordinación U.T.	VoBo. Coordinador Técnico	VoBo. Coordinador Legal	VoBo. Coordinador Financiero

Revisó: O.R. Veliz 29-06-2022	Revisó: C.L. Umaña 29-06-2022	Revisó: F.M. Faria 29-06-2022	Aprobó: J.M. Martínez 29-06-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Legal	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción. contenido del informe.....	8
2	Antecedentes.....	9
3	Objetivos de la evaluación socioeconómica.....	11
3.1	Objetivos generales.....	11
3.2	Objetivos específicos.....	11
4	Metodología utilizada.....	13
4.1	Comparación internacional de metodologías de evaluación.....	13
4.2	Identificación y cuantificación de impactos en los proyectos de transporte urbano.....	14
4.3	Benchmark de costo beneficio en proyectos de Metro.....	15
4.4	Metodología costo/beneficio empleada para el proyecto del metro de Bogotá: costos evitados.....	17
5	Modelo costo/beneficio.....	18
5.1	Indicadores de rentabilidad social.....	18
5.1.1	El Valor Presente Neto Social (VPNS).....	18
5.1.2	Tasa interna de retorno social (TIRS).....	19
5.1.3	Relación Beneficio Costo (B/C).....	20
5.2	Tasa social de descuento.....	20
5.3	Horizonte de evaluación.....	21
5.4	Valor residual.....	21
5.5	Fases para el análisis costo beneficio.....	22
6	Identificación y descripción de los impactos.....	25
6.1	Descripción y análisis de los impactos considerados inicialmente.....	25
6.2	Impactos directos.....	26
6.3	Impactos indirectos o externalidades.....	27
6.4	Resumen de los impactos considerados en este estudio.....	30
7	Fuentes de información.....	31
7.1	Principales fuentes informativas.....	31
8	Definición de escenarios.....	36
8.1	Escenario sin proyecto (Base) – EsP.....	36
8.2	Escenario con proyecto – EcP.....	38
9	Estimación de costos directos.....	39
9.1	Precios económicos (precios-sombra) y su aplicación.....	39

9.2	Estimación del CAPEX y OPEX del proyecto en precios económicos	39
10	Cuantificación de impactos.....	45
10.1	El modelo de demanda.....	45
10.2	Supuestos macroeconómicos.....	46
10.3	Ahorro en tiempos de viaje	48
10.3.1	Valor del tiempo	51
10.3.2	Ahorros en tiempo.....	54
10.4	Costos de operación vehicular.....	57
10.4.1	Ahorros en distancia recorrida	57
10.4.2	Costos de operación vehicular.....	63
10.5	Accidentalidad	68
10.5.1	Ahorros por disminución de accidentes	68
10.5.2	Mortalidad en la accidentalidad.....	72
10.6	Ahorros en las emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero.....	75
10.6.1	Beneficio por emisión de gases contaminantes.....	75
10.6.2	Beneficio por reducción en afecciones a la salud.....	77
10.7	Costo por emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero.....	79
10.8	Beneficios por edificabilidad adicional por nuevos desarrollos bajo la modalidad de renovación urbana.....	80
11	Resultados y sensibilidades	120
11.1	Resultados	120
11.2	Sensibilidades.....	124
12	Conclusiones	126
13	Anexos.....	127
14	Bibliografía.....	129

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de impactos en proyectos de transporte	14
Tabla 2. Benchmark de análisis costo beneficio en proyectos de metro	15
Tabla 3. Periodos de referencia recomendables para proyectos de infraestructura, según sector	21
Tabla 4. Impactos y su medición.....	25
Tabla 5. Impactos considerados en el ACB de L2MB.....	30
Tabla 6. Principales fuentes informativas	31
Tabla 7. Proyectos de transporte público y privado - Escenario sin proyecto (Base).....	36
Tabla 8. RPC aplicables a cada ítem del CAPEX – L2MB	40
Tabla 9. CAPEX de la L2MB luego de la aplicación de precios sombra.....	41
Tabla 10. RPC aplicables a cada ítem del OPEX – L2MB.....	43
Tabla 11. OPEX de la L2MB luego de la aplicación de precios sombra. COP millones constantes de diciembre de 2021	44
Tabla 12. Categorías de vehículos para el modelo de demanda.....	45
Tabla 13. Supuestos macroeconómicos	46
Tabla 14. Tiempos de viaje – HMD vehículos privados	48
Tabla 15. Factores de expansión para tiempos de viaje – vehículos privados.....	48
Tabla 16. Tiempos de viaje anuales – vehículos privados.....	49
Tabla 17. Tiempos de viaje – HMD vehículos públicos	49
Tabla 18. Factores de expansión para tiempos de viaje – vehículos públicos	50
Tabla 19. Tiempos de viaje anuales – vehículos públicos	50
Tabla 20. Contribuciones salariales.....	52
Tabla 21. Valor del tiempo	53
Tabla 22. Ingresos laborales per cápita para Bogotá D.C. (2011-2020).....	54
Tabla 23 Variables de cálculo beneficio ahorro en tiempo	55
Tabla 24. Promedios anuales de ahorro de tiempo EcP - EsP	56
Tabla 25. Total beneficio tiempos de viaje EcP – EsP.....	57
Tabla 26. Distancias recorridas – HMD vehículos privados.....	57
Tabla 27. Distancias recorridas anuales – vehículos privados (km)	58
Tabla 28. IPKs para cálculo de km – vehículos públicos	60
Tabla 29. Pasajeros transportados en HMD por vehículos de transporte público (2032).....	60
Tabla 30. Pasajeros transportados en HMD por vehículos de transporte público (2042).....	60
Tabla 31. Pasajeros transportados en HMD por vehículos de transporte público (2052).....	60
Tabla 32. Factores de expansión para distancia recorrida – vehículos públicos	61
Tabla 33. Distancias recorridas anuales – vehículos públicos (km)	61
Tabla 34. Costos variables por km para vehículos privados.....	64
Tabla 35. RPC aplicables a cada ítem de los COV – vehículos privados.....	64
Tabla 36. COV vehículos privados luego de la aplicación de precios sombra	64
Tabla 37. inputs calculo COV Privado	65
Tabla 38. Costos operacionales por km para componentes troncal y zonal del SITP	67
Tabla 39. Inputs Calculo COV Público.....	67
Tabla 40. Total beneficio costos de operación vehicular EcP – EsP	68
Tabla 41. Índices de accidentalidad.....	69
Tabla 42. Costos económicos por tipo de accidente	70
Tabla 43. Promedio anual de accidentes ahorrados EcP – EsP	71
Tabla 44. Total beneficio reducción accidentalidad EcP – EsP	72
Tabla 45. Cálculo VSL Colombia	73

Tabla 46. Inputs calculo beneficio VSL accidentes.....	74
Tabla 47. Total beneficio por muertes evitadas EcP – EsP	74
Tabla 48. Factor de emisión de CO ₂ por tipo de vehículo.....	76
Tabla 49. Costo social de emisión para cada tipo de contaminante	76
Tabla 50. Total beneficio por emisiones evitadas EcP – EsP	77
Tabla 51. Factor de emisión de PM _{2,5} por tipo de vehículo.....	77
Tabla 52. Resultados beneficio reducción mortalidad por emisiones EcP – EsP	79
Tabla 53. Resultados beneficio reducción morbilidad por emisiones EcP – EsP	79
Tabla 54. Total costo por emisiones producidas por tracción L2MB EcP – EsP	80
Tabla 55. Áreas de oportunidad L2MB	105
Tabla 56. Razones precio cuenta aplicables a valores de venta y costos de construcción por m ²	113
Tabla 57. Valores de venta por metro cuadrado, por estrato socioeconómico	113
Tabla 58. Valores de construcción por metro cuadrado – directos e indirectos por estrato socioeconómico	114
Tabla 59. Estratos predominantes por estación.....	114
Tabla 60. Beneficio generado por Edificabilidad adicional por nuevos desarrollos EcP – EsP	116
Tabla 61 Hoja de ruta Decreto 190 de 2004 - Actuaciones urbanísticas.....	117
Tabla 62 Hoja de ruta Decreto 555 de 2021 - Actuaciones urbanísticas.....	118
Tabla 63. Resultado de los principales flujos en valor presente neto social EcP – EsP.....	120
Tabla 64. Resultados indicadores de rentabilidad socioeconómica EcP – EsP	120
Tabla 65. Flujos anuales de Beneficios EcP – EsP (COP millones, constantes diciembre 2021).....	121
Tabla 66. Flujos anuales de Costos EcP – EsP (COP millones, constantes diciembre 2021)	122
Tabla 67. Sensibilidad sobre el valor del tiempo.....	124
Tabla 68. Sensibilidades sobre relación B/C	124
Tabla 69. Sensibilidades sobre VPN.....	124
Tabla 70. Sensibilidades sobre TIRS.....	125
Tabla 71. Relación de anexos.....	127

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Tiempos de viaje por escenario.....	55
Gráfica 2. Beneficio por ahorro en tiempos de viaje EcP - EsP	56
Gráfica 3. Ahorros en distancia recorrida vehículos privados EcP – EsP	58
Gráfica 4. Ahorro en distancia recorrida vehículos privados EcP – EsP	59
Gráfica 5. Ahorros en distancia recorrida vehículos públicos EcP – EsP	62
Gráfica 6. Ahorro en distancia vehículos públicos EcP – EsP	62
Gráfica 7. Total beneficio costo operacional para vehículos privados EcP – EsP	66
Gráfica 8. Total beneficio costo operacional para vehículos públicos EcP – EsP	68
Gráfica 9. Ahorros en número de accidentes (todos los tipos) EcP – EsP	71
Gráfica 10. Beneficio por reducción accidentalidad EcP – EsP.....	72
Gráfica 11. Beneficio por emisiones evitadas EcP – EsP	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. La evaluación como comparación de equilibrios	9
Figura 2. Contenido básico planes de ordenamiento.....	86
Figura 3. Contenido básico planes de ordenamiento - componentes	87

Figura 4. Resumen dimensiones Renovación Urbana.....	88
Figura 5. Tratamientos urbanísticos según el POT.....	91
Figura 6. Clasificación del suelo por tratamientos urbanísticos – Bogotá (a corte 2017).....	92
Figura 7. Tratamientos de renovación urbana – Bogotá.....	94
Figura 8. Unidades de Planeamiento Zonal – UPZ - y trazado del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá SLMB.....	96
Figura 9. Unidades de Planeamiento Zonal – UPZ - trazado proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá y alturas en el corredor.....	97
Figura 10. Unidades de Planeamiento Zonal – UPZ - trazado del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá y alturas en el corredor sección.....	98
Figura 11. Áreas de incorporación al tratamiento de renovación urbana.....	99
Figura 12. Modelo ciudad actual alturas, trazado.....	100
Figura 13. Modelo ciudad actual alturas, con el viaducto del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá.....	100
Figura 14. Modelo de ciudad con aumento de edificabilidad en el corredor. Generación de espacio público.....	101
Figura 15. Modelo de ciudad con aumento de edificabilidad en el corredor.....	101
Figura 16. Ejemplo modelación índices de construcción.....	102
Figura 17. Índice de construcción promedio a nivel Bogotá.....	103
Figura 18. Ejemplo desarrollos Decreto 823 de 2019.....	104
Figura 19. Identificación de áreas de oportunidad para desarrollos de renovación urbana.....	107
Figura 20. Elementos considerados en las áreas de oportunidad.....	108
Figura 21. Explicación fichas análisis pág. 1 y 2 de cada estación.....	109
Figura 22. Identificación de elementos de carácter permanente por estación.....	111
Figura 23. Estratificación socioeconómica Localidad Barrios Unidos.....	115

SIGLAS

ACB	Análisis Costo-Beneficio
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
COV	Costo de Operación Vehicular
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HMD	Hora de máxima demanda
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano
IPK	Índice de pasajeros por km
L2MB	Línea 2 del Metro de Bogotá
PLMB	Primera Línea del Metro de Bogotá
SDM	Secretaría Distrital de Movilidad
SIN	Sistema Interconectado Nacional
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
VSL	Valor estadístico de una vida – Value of a Statistical Life

1 INTRODUCCIÓN. CONTENIDO DEL INFORME

El presente documento desarrolla, para el proyecto de la Segunda Línea del Metro de Bogotá (L2MB), la evaluación socioeconómica del proyecto a través del análisis costo beneficio.

La información contenida en el presente documento constituye un resultado del trabajo conjunto del Comité de Consultores de Estructuración Técnica, Legal y Financiera de la L2MB, compuesto por la MOVIUS U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE, conformada por las empresas Systra S.A. Sucursal Colombia, INGETEC INGENIERÍA Y DISEÑO S.A.S., KPMG Advisory Tax & Legal S.A.S., Bonus Banca de Inversión S.A.S., Brigard & Urrutia DP S.A.S. y Garrigues Colombia S.A.S. (“Movius”), junto con la Financiera de Desarrollo Nacional y la Empresa Metro de Bogotá.

De igual forma, se resalta que las conclusiones de este informe – dado el grado de avance de la estructuración integral del Proyecto y tomando en cuenta que puede haber cambios futuros – pueden ser objeto de ajustes debido a la evolución, aprobación y cierre de la estructuración.

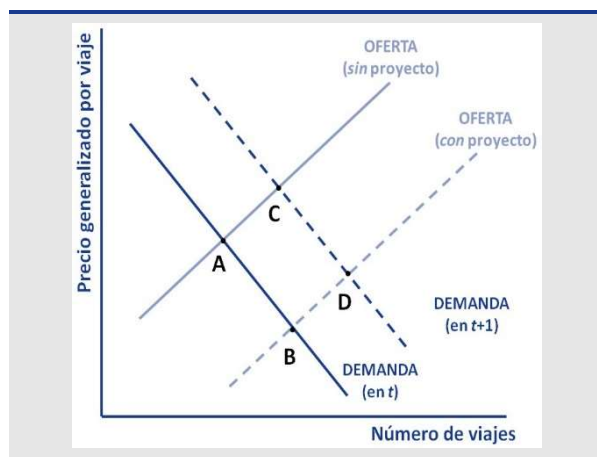
2 ANTECEDENTES

La infraestructura es de vital importancia para el crecimiento y desarrollo económico de la sociedad y de un país. Todas las áreas de infraestructura son necesarias para beneficio de las personas, pero es importante determinar a cuáles se les da prioridad. En otras palabras, si se da prioridad a infraestructura de transporte o social, en qué lugar y en qué momento se realiza, para el progreso del país. Adicionalmente, los proyectos de transporte afectan al funcionamiento de los mercados, bien mediante la creación o modificación de determinadas infraestructuras o bien mediante cambios en los servicios que se prestan sobre ellas.

En el caso de la infraestructura de transporte, existe un alto grado de interés por parte de las entidades públicas y la sociedad en general por las métricas de impacto de costos y beneficios que generan y, principalmente, sobre el beneficio de la sociedad. Una evaluación socioeconómica para los proyectos de infraestructura permite tomar este tipo de decisiones, en la cual se compara el beneficio social proyectado frente al costo de ejecutar e implementar el proyecto.

La evaluación de dichos proyectos consistirá entonces en un ejercicio de comparación de equilibrios, a través del cual pueden valorarse los efectos del mismo para la sociedad. Evaluar es, por tanto, analizar el nivel de bienestar social que la sociedad alcanza con un proyecto de transporte en comparación con la situación sin proyecto, esto es, qué habría sucedido si el proyecto no se hubiese llevado a cabo. Además, dado que la mayoría de las intervenciones en los mercados de transporte producen efectos a lo largo de varios períodos de tiempo, la comparación de equilibrios también debe realizarse en cada uno de ellos, teniendo en cuenta tanto los cambios producidos por el proyecto como los que ocurrirían en los mercados si éste no se llevara a cabo.

Figura 1. La evaluación como comparación de equilibrios



Fuente: Evaluación económica de proyectos de transporte. Ministerio de Fomento, Gobierno de España

Los efectos de un proyecto de transporte no se limitan necesariamente a los mercados primarios representados por la figura anterior (en los que se produce la intervención), sino que a menudo repercuten también sobre otros mercados relacionados con el primario (mercados secundarios) y sobre la actividad económica global (efectos económicos adicionales).

En principio, los efectos directos de un proyecto de transporte deben buscarse en el mercado donde se realiza la intervención, a partir de la identificación de todos los agentes afectados por ésta y, por tanto, vendrán determinados por la amplitud utilizada en la propia definición del proyecto de transporte.

Por su parte, los efectos indirectos aparecen en los mercados (secundarios) cuyos productos o servicios mantienen relaciones de complementariedad o sustituibilidad con los del mercado primario, y en los que existe alguna distorsión que impide que el precio sea igual al costo marginal. En muchos proyectos de transporte es frecuente que cualquier intervención en un modo concreto afecte al reparto de tráfico entre los distintos modos u operadores existentes, produciendo así efectos en otros mercados de transporte en los que hay congestión, externalidades, etc., además de aquél en el que se realizó la intervención.

En muchos casos, los efectos indirectos pueden ignorarse si los mercados secundarios afectados son razonablemente competitivos, o existiendo distorsiones la magnitud de los efectos no es significativa. Como criterio general pueden ignorarse los efectos indirectos siempre que en los mercados donde se producen no existan distorsiones significativas a la libre interacción de la oferta y la demanda. El supuesto que subyace detrás de esta recomendación consiste en considerar que la contribución marginal de estos efectos al beneficio social es igual a su efecto marginal sobre el costo para la sociedad, lo cual tiende a ser correcto en la medida en que dichos mercados (de productos y factores) funcionen de manera competitiva (ausencia de distorsiones causadas por subvenciones o impuestos, inexistencia de barreras a la entrada o externalidades, etc.). Cuando esto no ocurra en algún mercado secundario en el que los efectos indirectos son significativos, estos deberían medirse e incorporarse a la evaluación.

3 OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA

3.1 Objetivos generales

Como bien se ha establecido, las obras de infraestructura de transporte representan un alto grado de interés por parte del sector público y de la ciudadanía en general, en especial la que se impacta directamente con su ejecución. Esto debido a las métricas de impacto de costos y beneficios que generan y, principalmente, sobre el beneficio de la sociedad.

En el caso de la L2MB, el interés es de gran importancia, tanto por el continuo mejoramiento del sistema de transporte en Bogotá como por el volumen de inversión. Se espera entonces que exista alta voluntad para invertir en el proyecto en el caso que el valor económico de los beneficios sociales supere el de los costos sociales generados.

3.2 Objetivos específicos

- *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 coordinado de medidas y funciones. Este aspecto es particularmente relevante a la hora de definir el perímetro dentro del cual se percibirán los costos y beneficios que deben ser incluidos en el análisis. El escenario con proyecto utilizado para esta evaluación considera la oferta de transporte del sistema de movilidad limpio en el año 2032 y como infraestructura adicional a la actual, la implementación de la L2MB y los proyectos de la troncal de la Av. Ciudad de Cali desde la calle 6 hasta la calle 80 y la extensión de la troncal de Calle 80.
- *Establecer una definición clara del “escenario contra factual” o “escenario Base” de comparación:* Dado el carácter relativo de la evaluación costo-beneficio, es de vital importancia definir con especial atención el escenario Base de comparación o escenario contra el que se medirán los beneficios esperados de la implementación del proyecto. En el caso de la L2MB, la definición del escenario Base obedece a la oferta de transporte del sistema de movilidad limpio en el año de implementación del proyecto, es decir, no realizar alguna intervención.
- *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 la alternativa planteada. En todo caso, y como se plantea en apartados posteriores, se ha optado por incluir los impactos monetizables, a los que se puede acceder mediante fuentes informativas fiables.
- *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 la alternativa).

- *Determinar el valor presente neto social para las distintas alternativas:* A partir de la selección de la tasa de descuento real 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.
- *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 índices de edificabilidad o el valor del tiempo), realizando un análisis de sensibilidad de los resultados.

El análisis de resultados considera variables de referencia y en particular sobre la tasa social de descuento, oficialmente establecida en 9% de acuerdo con la resolución 1092 del 20 de abril de 2022 del DNP.

4 METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1 Comparación internacional de metodologías de evaluación

El objetivo principal de la evaluación de las infraestructuras de transporte es estimar y evaluar los costos y beneficios de un determinado proyecto o política, y comprobar que "los escasos recursos se están asignando de forma eficiente con el objetivo de maximizar el bienestar social" (OCDE, 2002: 19). Según (Ustaoglu, 2014), el enfoque del Análisis Costo-Beneficio (ACB) ha servido de base para la evaluación de las repercusiones de diversos proyectos de transporte y cambios políticos en una gran variedad de estudios. Sin embargo, el enfoque tradicional del ACB es generalmente criticado en la literatura debido a que el ACB sólo considera los beneficios del usuario, y excluye los efectos indirectos sobre los agentes económicos, el entorno urbano y las redes que proporcionan la interacción entre ellos. Por ello, es necesario adoptar un enfoque complementario que se incorpora en el enfoque tradicional del ACB y que permite una evaluación más amplia de los proyectos de transporte. El resumen del ACB, incluido el análisis complementario, se presenta en la Tabla 1.

En esta tabla se observa que el ACB tradicional sólo tiene en cuenta los beneficios para el usuario e ignora un número importante de efectos externos. Es el principal inconveniente del ACB estándar y es objeto de debate entre los investigadores en gran medida. Sería inexacto decir que los estudios actuales de ACB ignoran totalmente los efectos externos de las disposiciones de transporte.

Existe amplia variedad de fuentes bibliográficas para realizar un estudio socioeconómico de proyectos de infraestructura de transporte y en este caso particular se utilizará como orientación principal la Guía de beneficio costo para proyectos de inversión de la Comisión Europea, en la cual diferencian la metodología para realizar los cálculos específicamente para proyectos de transporte. Adicionalmente, muchos estudios en la literatura tratan de identificar e incorporar los efectos externos en el enfoque estándar del ACB y pueden examinarse en dos grupos principales, como se presenta en la Tabla 1.

El primer grupo analiza los impactos de las redes de transporte en la estructura del desarrollo del suelo aplicando el ACB en un marco cualitativo o cuantitativo. Algunos estudios de trabajos cuantitativos cuestionan la eficacia de las políticas de transporte teniendo en cuenta su impacto en los procesos de desarrollo del suelo y la forma urbana. También, existe mucha literatura sobre estudios cuantitativos que sigue las reglas y principios del enfoque convencional del ACB y en estos se presentan ejemplos de diferentes países.

El segundo grupo de estudios se centra en los indicadores para medir y evaluar los costos y beneficios de las disposiciones de transporte. En este grupo, hay estudios sobre las relaciones entre las inversiones en transporte y el desarrollo del uso del suelo mediante la derivación de las medidas de accesibilidad y exámenes de la relación entre el transporte y el uso del suelo incorporando las medidas de accesibilidad en diferentes escenarios de desarrollo del suelo.

En la literatura se encuentran diversos estudios empíricos basados en los impactos de la accesibilidad de las disposiciones de transporte del transporte. Esas publicaciones incorporan un análisis de escenarios en la evaluación de la accesibilidad de las estrategias integradas de transporte y uso del suelo.

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

La teoría económica define que, dado que los recursos son escasos, se deben asignar de la mejor manera para maximizar el beneficio del agente económico. Esto quiere decir que ante la evaluación socioeconómica que pretende estimar y evaluar los beneficios y costos de los proyectos, se debe asegurar que los recursos se distribuyan de la manera más eficiente para maximizar el bienestar social.

En la siguiente tabla se puede observar a manera 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 se valoran basados en el costo de oportunidad. — Costos de operación vehicular: ahorros de costos según la variación de su uso. — Seguridad: la valoración se basa en el análisis de riesgo de los accidentes de transporte asociado con el 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. — Cambio modal: basado en la modelación y la evaluación de los cambios de modalidad, es decir, conmuta entre los modos de transporte. — Confiabilidad: relacionado con la variación y consistencia en los tiempos de viaje y la confiabilidad relacionada con factores externos del sistema. — 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 EL 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> • EXCEDENTES SOCIOECONÓMICOS <ul style="list-style-type: none"> — Empleo — Productividad — Inclusión social — Incremento del valor del suelo — Accesibilidad

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

4.3 Benchmark de costo beneficio en proyectos de Metro

Así como se está realizando para la L2MB, a nivel global también se han realizado análisis costo beneficio de este tipo, aplicados a nuevos proyectos de metro o para la ampliación de alguna línea de metro existente, con el objetivo de determinar el bienestar social con la construcción de este tipo de infraestructura. En la Tabla 2 se presenta una comparación de diferentes análisis costo beneficio aplicado en varios sistemas de metro, con la descripción de los impactos que se tuvieron en cuenta en cada uno de los proyectos, y cómo se relacionan entre sí. Los proyectos analizados son en las ciudades de Bogotá, Medellín, México, Santiago de Chile, Quito, Madrid y Londres.

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

Concepto/Metros	PLMB	Av.80 MDE	México	S. de Chile	Quito	Madrid	Londres
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							
Confort y convivencia							
Valor salvamento							
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							
Externalidades							
Incremento en el tiempo de viaje durante el período de construcción							

Concepto/Metros	PLMB	Av.80 MDE	México	S. de Chile	Quito	Madrid	Londres
Desgaste de vehículos privados							
Incremento gases contaminantes por privados							
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							
Disminución en el costo operacional							
Reducción accidentalidad							
Disminución demanda otros tipos de transporte							
Variación tiempo de viaje							

Fuente: elaboración propia a partir de Evaluación socioeconómica para la Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB. Deloitte (2017) y Evaluación social y económica del Metro ligero de la 80 de Medellín (2020)

A partir de la comparación, se puede observar que con relación a los beneficios se presenta una uniformidad en la medición de algunos de los impactos como la reducción en los tiempos de viaje, el cual se incluye en todos los análisis. La disminución en las emisiones contaminantes también lo calculan en al menos cuatro de los estudios.

El cálculo de los costos, a su vez, presenta un estándar para la medición de los costos directos de inversión, operativos y de mantenimiento, es decir, el CAPEX y OPEX. Por otro lado, la identificación de los impactos externos es diferente para

cada proyecto y no siempre se considera por una posible duplicación de conteo. Por esta razón es que el presente análisis se realiza sobre una relación limitada de impactos, con el fin de no realizar una doble contabilidad.

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

A partir del benchmark anterior, es posible determinar que los impactos a evaluar como la reducción de la accidentalidad, la reducción de emisión de gases contaminantes, el ahorro del COV de transporte público y privado y la reducción de tiempos de viaje son recurrentes en la valoración para este tipo de análisis y suficientes para la ejecución de esta evaluación socioeconómica de la Línea 2 del Metro de Bogotá. Es así como el presente análisis se elabora sobre una relación limitada de impactos con el fin de evitar duplicidades.

Como bien se ha establecido, esta evaluación socioeconómica identificará y cuantificará la contribución de la ejecución e implementación de la L2MB al bienestar de la población de Bogotá. Así como en todo tipo de proyectos, la ejecución de la L2MB exigirá recursos que podrían ser destinados para satisfacer otras necesidades sociales, y como los recursos disponibles en cualquier sociedad son escasos, en esta valoración se podrá comparar los beneficios esperados del proyecto con su costo de oportunidad. Siendo así, si los beneficios sociales superan los costos asociados a la ejecución y operación – CAPEX y OPEX, entonces se puede aseverar que el proyecto contribuye al aumento del bienestar social.

La metodología de evaluación económica usada para ejecutar el análisis costo beneficio se basa en un análisis determinístico de las condiciones del transporte motorizado en la región metropolitana de Bogotá y las dinámicas de preferencia modal consideradas en el análisis de los escenarios, a partir del modelo de demanda de transporte de la región. El análisis determinístico se podrá realizar mediante la identificación y asignación de valor monetario a los beneficios y costos en términos de **edificabilidad adicional por nuevos desarrollos, emisiones evitadas, incidentes viales evitados, ahorro de COV y ahorros de tiempos**, para cada uno de los escenarios en cuestión.

Esta metodología aplicada busca comparar los costos directos e indirectos con los beneficios calculados, usando como guía el método de costos evitados, es decir, los beneficios equivalentes a la reducción de costos potencialmente ocasionados. La metodología de costos evitados o inducidos es un método indirecto muy utilizado para valorar beneficios, que consta de calcular las pérdidas en que podrían incurrir los agentes económicos de la sociedad en caso de que no se realizara la inversión analizada.

Las características del proyecto de la L2MB permitirán generar unos beneficios que se pueden considerar en gran medida como resultado de un ahorro en recursos o disminución de costos, debido a una mayor eficiencia en la producción del transporte. Se prevé que la mejora en la eficiencia generará menores tiempos de viaje para los usuarios de todo el sistema de transporte, menores costos de operación o menores impactos ambientales para la ciudad de Bogotá.

En cuanto a los costos, estos se refieren a las compensaciones por el uso y disfrute de bienes, servicios o factores, y pueden incluir dinero, tiempo, suelo o la pérdida de oportunidades de obtener otros beneficios. Por lo tanto, los costos que se considera que no son iguales a los percibidos por el usuario del sistema, ya que estos no necesariamente son exactos a los que sufre la sociedad por realizar los desplazamientos.

5 MODELO COSTO/BENEFICIO

La evaluación de un proyecto de transporte ayuda a adoptar decisiones sobre el mismo a partir de la comparación entre los beneficios y costos que dicho proyecto genera a lo largo del tiempo. Cuando estas decisiones se formulan desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, la comparación debe incluir los beneficios y costos sociales de los agentes afectados por el proyecto.

La evaluación económica intenta responder a la cuestión ¿debe realizarse el proyecto?, formulada desde la perspectiva de la sociedad en su conjunto, representada por el sector público, y tomando como referencia la contribución del proyecto al bienestar social.

Finalmente, existe una importante dimensión adicional que condiciona notablemente tanto la perspectiva social como la privada en la evaluación de proyectos. Se trata del hecho de que cualquier decisión sobre un proyecto de transporte debe abordarse necesariamente bajo condiciones de incertidumbre sobre los posibles resultados de éste. La evaluación de proyectos debe realizarse siempre con la mejor información disponible, pero incluso en el mejor de los casos ésta suele resultar insuficiente debido a nuestra incapacidad para predecir completamente el futuro en un contexto de racionalidad limitada.

5.1 Indicadores de rentabilidad social

Para determinar la rentabilidad de un proyecto se utilizan diversos indicadores, los que se calculan a partir de la comparación de los costos con los beneficios del proyecto.

5.1.1 El Valor Presente Neto Social (VPNS)

Aunque existen diferentes herramientas que permiten la comparación de los flujos de (cambios en los) beneficios y costos sociales de un proyecto de transporte, la más utilizada en el análisis costo-beneficio es el valor presente neto social (VPNS), que consiste en descontar dichos flujos hasta un período común de referencia (normalmente, el comienzo del período inicial $t = 0$)¹.

$$\bullet \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + TSD)^t}$$

donde:

¹ El valor presente neto en general resume en un único valor numérico el flujo de beneficios y costos durante toda la vida del proyecto, permitiendo una comparación sencilla de dichos beneficios y costos correspondientes a distintos momentos del tiempo. Lógicamente, cuando esos flujos de beneficios y costos son variables aleatorias, el valor presente neto es también una variable aleatoria, cuyos valores se corresponden con cada realización concreta del proyecto.

- B_t = Beneficios totales en el año t
 C_t = Costos totales en el año t
 $B_t - C_t$ = Flujo neto en el año t
TSD = Tasa social de descuento
n = Número de años del horizonte de evaluación.
t = Año calendario, en donde el año 0 será el año base para el análisis

De manera particular, la evaluación económica se lleva a cabo comparando los costos y beneficios sociales de un proyecto de transporte, una vez homogeneizados temporalmente a través de su VPNS. Si el VPNS de un proyecto es positivo, significa que el proyecto es rentable. Al comparar proyectos el más rentable es aquel que obtiene mayor VPNS. La ventaja de este método es que permite llevar los flujos a mismo momento de tiempo, típicamente al año 0. Además, es posible considerar flujos positivos y negativos sin distorsionar el resultado, como puede suceder con la TIRS.

$$VPNS = VPBS - VPCS > 0$$

5.1.2 Tasa interna de retorno social (TIRS)

Corresponde a aquel valor de la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero.

$$\bullet \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Cuando el valor de la TIRS es mayor que la tasa social de descuento del proyecto, significa que el mismo es rentable de acuerdo con el análisis realizado.

$$\bullet TIRS > Tasa\ social\ de\ descuento$$

Sin embargo, deben tomarse precauciones cuando los flujos del proyecto cambian de signo a lo largo del horizonte de evaluación, ya que existe la posibilidad de obtener más de una solución para el valor de la TIR. En tal caso, la TIR debe desestimarse como criterio de rentabilidad.

5.1.3 Relación Beneficio Costo (B/C)

Corresponde al cociente entre los beneficios y costos del proyecto, considerando los valores actualizados tanto de los beneficios como de los costos del proyecto. Valores mayores o iguales a 1 indicarán que el proyecto es rentable, en tanto valores menores a 1 indicarán que el proyecto no es rentable. Este indicador genera una medida de beneficio por unidad de costo.

$$\bullet \quad \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{VPNB}{VPNC} > 1.0$$

Donde el *VPBS* es el valor presente de los beneficios sociales y el *VPCS* es el valor presente de los costos sociales.

5.2 Tasa social de descuento

La elección de la tasa social de descuento tiene un impacto considerable en la rentabilidad del proyecto. Su importancia contrasta con las dificultades casi insalvables para determinar con exactitud su valor. La tasa social de descuento convierte a valores del año base los flujos de beneficios y costos de los proyectos

La tasa social de descuento es el parámetro que determina las equivalencias entre valores presentes y futuros. Los proyectos de inversión típicos en infraestructuras de transporte consisten en sacrificar consumo presente para obtener unos servicios relacionados con el desplazamiento de personas y bienes durante 30 o 50 años. Decidir sobre la rentabilidad social de un proyecto de estas características exige identificar y cuantificar los beneficios y costos durante la vida de este, y ponderar dichos beneficios y costos con los factores de descuento anuales que se obtienen una vez determinada la tasa social de descuento.

De igual forma, la tasa social de descuento se puede definir como aquella que mide el costo al cual la sociedad está a dispuesta a ofrecer el consumo presente por el beneficio futuro. Es decir, permite comparar el costo relativo entre los dos conceptos, y entre menor sea, existe mayor disposición de la sociedad para disfrutar y consumir más en el futuro que en el presente. Esto sucede en las economías desarrolladas o que se están desarrollando, donde el desarrollo económico se da al tiempo con el progreso social y se espera que la tasa disminuya a medida que ejecuten más inversiones en bienes públicos y privados, mediante la disminución de la disposición al consumo actual y el mayor bienestar general.

Para el caso de Colombia, aunque se ha utilizado una tasa del 12%, en el informe (Piraquive Galeano, Matamoros Cárdenas, Céspedes Rangel, & Rodríguez Chacón, 2018) del DNP se actualiza, con datos hasta el año 2015, la tasa social de descuento o el valor del costo de oportunidad asemejando la metodología aplicada en el estudio de 1969 para Colombia por el profesor Arnold Harberger, basado en cifras de 1967.

Teniendo en cuenta que las condiciones económicas del país han cambiado, el reciente estudio del DNP indicado actualizó la tasa al considerar la evolución del PIB, inflación, desarrollo industrial y de servicios, entre otros indicadores de los últimos años. Como resultado de este análisis, la tasa social de descuento recomendada por el DNP para la evaluación socioeconómica de proyectos en Colombia es del 9%, según la resolución 1092 del 20 de abril de 2022.

5.3 Horizonte de evaluación

La definición del horizonte de evaluación se realiza con base en el potencial de captura de beneficios del proyecto, pero también con base en los tiempos de análisis recomendables para este tipo de proyectos y las vidas útiles de sus diferentes componentes. Si bien la vida útil de algunos de los componentes de los proyectos ferroviarios puede superar los 30 años, los principales expertos en la materia (De Rus Mendoza, Betancor Cruz, & Campos Méndez, 2006) afirman que en una evaluación costo beneficio convencional es útil cuando se cumplen varias condiciones, entre ellas que “los periodos de tiempo en los que hay que evaluar no sean exageradamente prolongados”.

Como soporte adicional a esta afirmación, en la guía para el desarrollo de análisis costo-beneficio de la Comisión Europea se encuentran los periodos de referencia recomendables para las evaluaciones socioeconómicas, dependiendo del sector:

Tabla 3. Periodos de referencia recomendables para proyectos de infraestructura, según sector

Sector	Período de referencia (años)
Férreo	30
Carreteras	25-30
Puertos y Aeropuertos	25
Transporte Urbano	25-30
Acueductos/alcantarillado	30
Manejo de residuos	25-30
Energía	15-25
Banda ancha	15-20
Innovación y Desarrollo	15-25
Infraestructura de negocios	10-15
Otros	10-15

Fuente: Comisión Europea

Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá podría tenerse en cuenta como un proyecto férreo o de transporte urbano. También, teniendo en cuenta las vidas útiles de componentes como lo es el material rodante, se realizará un análisis a 30 años.

5.4 Valor residual

El valor terminal o valor residual del proyecto es igual al costo esperado de reposición de todos los activos que componen el proyecto al finalizar el período de evaluación. Este también refleja la capacidad del restante potencial de servicio de los activos fijos donde su vida útil económica no se ha agotado completamente, y será cero si el horizonte de tiempo de evaluación es igual a la vida útil del activo. El valor residual se representa mediante una depreciación simple de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Vr = \frac{V_{Activo}}{Vida\ útil} \times (Vida\ útil - Horizonte\ de\ evaluación\ socioeconómica)$$

Donde

V_r = Valor residual de la infraestructura

V_{Activo} = CAPEX proyecto en precios económicos

$Vida\ útil$ = periodo útil económico de uso de la infraestructura

Horizonte de evaluación = 30 años

Para un proyecto de transporte urbano como una línea de metro pesado, las vidas útiles de sus componentes no necesariamente corresponden con el periodo de análisis tenido en cuenta para una evaluación socioeconómica, por lo que es importante tener en cuenta el valor residual de aquellos componentes que cuenten con un potencial de servicio restante al finalizar el periodo de evaluación. Para el caso de proyectos de tipo férreo, la literatura establece vidas útiles según sus diferentes componentes²:

- Componentes de infraestructura: túneles, viaductos y otras obras civiles: 80 a 100 años.
- Material rodante para servicios metropolitanos y suburbanos: 15 años.

Para el caso de la infraestructura, es sabido por experiencia que varios de estos componentes en la práctica presentan vidas útiles de más de 100 años, sin embargo, se toma como escenario base una vida de 80 años, concordando con la literatura alrededor del tema. En el caso del material rodante, para la Línea 2 del Metro este efectivamente presenta una vida útil base de 15 años, sin embargo, en los costos de operación y mantenimiento se contemplan costos de “overhaul”, que precisamente permiten alargar la vida de estos componentes hasta los 30 años.³ Las intervenciones mayores de mantenimiento al material rodante se prevén aproximadamente a los 1.750.000 km recorridos acumulados por tren. Dado el programa de operación vigente, esta intervención equivale a realizarla cada 15 años de operación de cada tren. Por lo tanto, la siguiente intervención mayor corresponde a los 3.500.000 km recorridos acumulados por tren.

5.5 Fases para el análisis costo beneficio

Luego de la cuantificación de los beneficios expuestos anteriormente, se procede a la estructuración de los flujos de caja anuales a partir de los costos de la ejecución del proyecto – CAPEX – y operación – OPEX – de la L2MB, junto con el de los beneficios sociales mencionados en los anteriores capítulos. Como se estableció en el capítulo Objetivos, se pretende comprobar la rentabilidad social del proyecto mediante el cálculo de los siguientes indicadores: Valor Presente Neto Social (VPNS), Tasa Interna de Retorno Social (TIR Social) y la Razón Beneficio – Costo (B/C), para luego interpretar los resultados obtenidos.

² Disponible en: https://www.eib.org/attachments/pj/railpag_en.pdf

³ La vida útil de los trenes depende de múltiples factores, entre ellos el rodamiento en kilómetros anuales para cada uno de ellos. Los componentes de este material rodante tienen vidas útiles estimadas de entre 25 y 40 años, y dadas las características de la L2MB y los mantenimientos programados durante la vida media (mantenimientos mayores en los años 14,15 y 16 de operación, y también en los años 29 y 30 de operación), no se plantean reposiciones de los trenes hasta después del año 30 de operación.

Con los resultados de los indicadores financieros en términos sociales, se podrá concluir si los beneficios sociales derivados de la ejecución y operación de la L2MB son mayores a sus costos y, por lo tanto, si el proyecto tiene la capacidad de generar un valor positivo en las condiciones de vida de las personas en la zona de influencia y, en general, de contribuir a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de Bogotá y los municipios aledaños.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Valor Presente Neto Social (VPNS) es una medida que, a través del descuento de flujos de caja futuros, concluye si la inversión genera ganancia o pérdida en el presente, y en este caso particular, el VPN Social cuantifica en el presente la retribución social que el proyecto devuelve a la sociedad relacionado con los beneficios sociales. Como se indica en el apartado Tasa social de descuento a utilizar, la tasa utilizada en este ejercicio para traer a valor presente los flujos de caja futuros del análisis socioeconómico de la L2MB es del 9%, como lo establece la resolución del DNP 1092 del 20 de abril de 2022.

El indicador de la Tasa Interna de Retorno Social (TIRS) estima la rentabilidad promedio por unidad de tiempo (mensual, semestral, anual, etc, según la temporalidad de los flujos) que tendría el inversionista si mantiene su posición durante todo el ciclo de vida del proyecto. De igual forma, en términos sociales, la TIR Social refleja la rentabilidad promedio que percibe la sociedad según el periodo de tiempo en relación con los beneficios sociales, luego de tomar la decisión de invertir los recursos públicos para realizar la ejecución e implementación de la L2MB.

Por último, la razón Beneficio – Costo utiliza el VPNS de cada rubro en el mismo periodo, para establecer un indicador que evalúe en tiempo presente el impacto social que tiene el proyecto al dividir el VPNS de los beneficios entre el VPNS de los costos del proyecto.

Los posibles resultados y criterios de decisión asociados a cada uno de los indicadores se explican a continuación.

- VPNS
 - $VPNS < 0$, el proyecto genera pérdidas sociales, por lo cual su ejecución en términos socioeconómicos afecta negativamente.
 - $VPNS = 0$, el proyecto no genera más ganancias sociales que las esperadas, por lo cual su ejecución en términos socioeconómicos cumple justo con lo necesario.
 - $VPNS > 0$, el proyecto supera las expectativas generando más ganancias de las esperadas, es decir, que la implementación en términos socioeconómicos excede con lo requerido.

- TIRS
 - $TIRS < \text{Tasa de descuento social}$, es decir que implementar el proyecto genera pérdidas sociales y en términos de rentabilidad afecta negativamente.
 - $TIRS = \text{Tasa de descuento social}$, el proyecto no genera rentabilidades sociales adicionales frente a las esperadas.
 - $TIRS > \text{Tasa de descuento social}$, el proyecto supera las expectativas generando más rentabilidades de las esperadas.

- B/C
 - $B/C < 1$, en valores absolutos, si la relación es menor que uno (1) representa un detrimento social, es decir que la implementación del proyecto no generaría ningún tipo de beneficio para la comunidad, e impactaría y podría afectar de manera negativa el bienestar general.
 - $B/C = 1$, la relación igual a uno (1) indica que no hay impacto social positivo, es decir que las actuales condiciones de la comunidad impactada se mantienen prácticamente constantes y, por lo tanto, adelantar la inversión en este proyecto y sector tiene el mismo valor que mantener las condiciones sociales sin proyecto.
 - $B/C > 1$, la relación mayor a uno (1) resulta en un beneficio social positivo, es decir que realizar esta inversión realmente mejora las condiciones de vida de las personas en la zona de influencia y de la sociedad en general.

6 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS

6.1 Descripción y análisis de los impactos considerados inicialmente

A continuación, dentro del marco de la metodología de los costos evitados, se presenta el resumen de los impactos que podrían ser eventualmente considerados en un análisis costo beneficio para un proyecto de metro. Si bien el listado puede ser extenso, luego de la revisión realizada se concluye que, mientras algunos impactos son comunes en estudios de esta naturaleza y cuentan con metodologías generalmente aceptadas con la información local disponible para cuantificarlos fácilmente, la medición de otros impactos tiene mayor dificultad y no cuentan con metodologías robustas en la literatura o en los estudios realizados en Colombia hasta la fecha.

El resumen que incluye el conjunto de todos los impactos y costos potencialmente aplicables al proyecto se presenta en la siguiente tabla. La clasificación se realiza por su tipología, si es impacto directo o externalidad, y se diferencian con base en la fase en la que se miden: construcción (preoperacional) y operacional. Esta matriz refleja:

- Según la fase analizada, si el impacto considerado es un costo (C) o un beneficio (B).

Tabla 4. Impactos y su medición

Impactos	Costo /Beneficio	Observaciones
Impactos directos		
Ahorro en tiempos	B	Calculado en el ACB
COV transporte público	B	Calculado en el ACB
COV transporte privado	B	Calculado en el ACB
Accidentalidad	B	Calculado en el ACB
Seguridad ciudadana	C/B	Dificultad para cuantificación con fiabilidad
Impactos indirectos y externalidades		
Emisiones contaminantes evitadas	B	Calculado en el ACB
Emisiones contaminantes producidas	C	Calculado en el ACB
Ruido y vibraciones	B	Dificultad para cuantificación con fiabilidad
Contaminación de agua a nivel freático	C	Dificultad para cuantificación con fiabilidad
Edificabilidad adicional por nuevos desarrollos	B	Calculado en el ACB
Costos directos		
Capex	C	Incluido en ACB
Opex	C	Incluido en ACB

Fuente: elaboración propia a partir de (De Rus Mendoza, Betancor Cruz, & Campos Méndez, 2006) y (European Commission, 2014)

6.2 Impactos directos

- Variación en el tiempo de viaje:

Se relaciona con el ahorro de tiempo que se prevé generará la implementación de la L2MB en la ciudad de Bogotá, tanto para los usuarios del sistema de transporte público como para los no usuarios, teniendo en cuenta la descongestión de la red vial. El impacto se calcula a partir de la estimación de la diferencia del tiempo de viaje antes y después de la implementación del sistema de transporte (modelo de demanda de transporte) y la estimación del valor del tiempo. Este se calcula a partir de la metodología desarrollada por la Comisión Europea, en el que establece que la fuente preferida de donde se obtienen los valores del tiempo a nivel local debe ser de fuentes de datos oficiales basados en investigación local. Por consiguiente, en este estudio se utilizan datos del Ministerio del Trabajo.

El tiempo de viaje es un impacto clave en este proyecto de transporte y crítico en el ACB, debido a que es el que mayor beneficio aporta frente a los demás impactos.

Este impacto se valorará de forma cuantitativa según el valor del tiempo y la estimación de ahorros de tiempos de viaje a partir del modelo de demanda.

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

El impacto relacionado al costo de operación de los vehículos – COV – de transporte público como el Transmilenio (TM) y el SITP se mide a partir de los ahorros o costos generados por la variación en las distancias recorridas y/o en la velocidad promedio de los vehículos del servicio. Estos costos operativos incluyen especialmente (i) el costo de conducción, (ii) el combustible, (iii) el mantenimiento, (iv) lubricantes y (v) neumáticos de los vehículos. En las evaluaciones socioeconómicas de transporte urbano es común incluir este impacto, el cual cuenta con metodologías de estimación comúnmente aceptadas. En el contexto de este estudio se plantea calcular el impacto por variación en los COV de transporte público y la valoración de este impacto se realizará de manera cuantitativa.

- Variación en los costos de operación de los vehículos privados:

Los resultados del modelo de transporte permitirán calcular el valor de este impacto en términos de los kilómetros recorridos por los vehículos privados. Los costos unitarios y la estructura del parque automotor se obtienen a partir de un estudio del IDU sobre el costo de los usuarios de vehículos privados en la ciudad de Bogotá y la Secretaría Distrital de Movilidad. De esta manera, este impacto se valorará de manera cuantitativa.

- Accidentalidad:

El modo de transporte ferroviario se considera más seguro que el modo de transporte de vehículo particular, por lo que el cambio modal y la demanda inducida una vez implementado el proyecto podrán reducir las tasas de accidentalidad en los diferentes modos de transporte. Esto se podría dar dado que una parte de la demanda que actualmente usa otros medios de transporte diferente al público, como el carro, pasarían a usar el modo ferroviario que es más seguro. Esto es considerado como un beneficio por la disminución de la accidentalidad por la ejecución del proyecto y el impacto será medido de manera cuantitativa.

- Seguridad ciudadana:

El cambio de la seguridad ciudadana a causa de realizar proyectos de infraestructura de transporte público como la L2MB ha sido estudiado en diferentes partes del mundo. En resumen, durante la etapa de construcción se ha demostrado el incremento de número de hurtos y homicidios en el área de influencia del proyecto, mientras que, en la etapa de operación, se espera una reducción del fenómeno, el cual se explica por el establecimiento de medidas más estrictas en las estaciones e instalaciones del proyecto. Lo anterior resulta en un mayor nivel de seguridad que el expuesto anteriormente.

Se determinó por medio de estudios de seguridad ciudadana que luego de la implementación de proyectos metro en diferentes ciudades de Estados Unidos y Europa ha tenido un efecto directo sobre la criminalidad y seguridad. Sin embargo, para este impacto es difícil definir una aproximación precisa sobre cómo será el cambio en seguridad ya que cada ciudad tiene sus propias condiciones específicas en las que influyen muchas otras variables. Por lo tanto, no se tendrá en cuenta dentro de los cálculos realizados.

6.3 Impactos indirectos o externalidades

- Ruido y vibraciones:

El ruido y vibraciones que los vehículos ferroviarios generan pueden ser causal de molestia para las personas. Según la intensidad, pueden conllevar a daños en el oído, 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 particular del Metro, el efecto sobre el oído humano dependerá principalmente del nivel de emisiones de ruido y vibraciones generadas (en función del tipo de infraestructura y del tipo y condición del vehículo) y del periodo horario (día, noche).

Para un proyecto de estas características, el impacto por ruido y vibraciones se presenta en dos momentos durante la vida del proyecto. El ruido y las vibraciones que se pueden generar durante el periodo de construcción y en segundo lugar durante la etapa de operación del sistema como se presentaba anteriormente. Sin embargo, teniendo en cuenta que el impacto durante la etapa de construcción es transitorio, solo se va a considerar durante la etapa de operación del sistema.

Los costos derivados del ruido dependen del número de habitantes expuestos al ruido y su distancia a la fuente de este, ambos marcados por el tipo de uso del suelo que condiciona el asentamiento, la velocidad de propagación de la onda y la densidad de población. Estos costos varían considerablemente en función del nivel de ruido (decibeles) en el cuál éste se considera una molestia.

Existen diferentes metodologías para cuantificar los beneficios obtenidos por reducciones en ruido debidas a la implementación de un proyecto como es el caso de la L2MB. Sin embargo, hay dos métodos principalmente acogidos por la bibliografía aplicable a este beneficio (Restrepo, Osorio, Patiño, 2011):

- Método de valoración contingente: este método busca obtener la Disponibilidad a Pagar (DAP) por la reducción del ruido. Este se basa en información de encuestas sobre la población de la zona de estudio. En este sentido es un método de valoración directa de la pérdida o ganancia del beneficio.
- Método de precios hedónicos: este es un método indirecto de cuantificación del beneficio, basado en los cambios en el valor de las propiedades (finca raíz) asociados con la disminución en ruido.

A pesar de la existencia de estos diferentes métodos, es recomendable la utilización de métodos indirectos como son los precios hedónicos, basados en información de mercado que no son fácilmente sometidos a cuestionamientos (Pearce & Turner, 1990).

Ahora bien, para el caso específico de este proyecto es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones para poder realizar estimaciones confiables en la medición y cuantificación de este impacto:

- Valoración contingente: busca establecer cuál es la mínima compensación que las personas están dispuestas a pagar por la disminución en afectaciones generadas por el ruido. Se realiza mediante la aplicación de encuestas de percepción de ruido a una población objetivo. Por ejemplo, en el año 2015 la universidad de Medellín llevo a cabo el estudio *Valoración Económica De La Reducción Del Ruido Por Tráfico Vehicular: Una Aplicación Para Medellín* (Restrepo et al, 2015) mediante el cual se buscó calcular los beneficios económicos que se podrían obtener en la ciudad por la reducción de ruido por tráfico vehicular. El análisis aplicó la metodología de valoración contingente y para poder estimar la disponibilidad a pagar (DAP) de la población, tomando una muestra estadística de 1075 encuestas en toda la ciudad para desarrollar un escenario de valoración económica a través de preguntas abiertas a los encuestados. En este orden de ideas y una vez revisada la información pública disponible de este impacto para la ciudad de Bogotá. Se evidencia que, a la fecha, no se ha realizado una valoración estadística particular para la ciudad, y poder obtener los valores de compensación que se podrían aplicar para este ejercicio y por ende el cálculo del impacto mediante esta metodología no es posible.
- Método de precios hedónicos: este método tiene una aproximación indirecta a su cálculo y que tiene en cuenta los beneficios de la reducción de ruido a través del incremento del valor del suelo por la disminución del impacto en área de estudio. No se puede considerar en el ejercicio de análisis beneficio costo ya que al emplear una metodología indirecta que tiene como principio un cambio en el valor de la tierra, el beneficio se estaría contabilizando por partida doble, ya que el análisis general para el proyecto de la L2MB contempla cálculos directos de beneficios asociados a la valorización del suelo por impactos positivos en el desarrollo del proyecto para la ciudad.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, las dos metodologías establecidas para el cálculo de este impacto no pueden ser aplicados a este análisis ya que no podrían ser definidas de forma confiable. Por ende, no se tiene en cuenta dentro de los cálculos realizados.

- Emisiones de contaminación local:

El uso 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 incentivan al cambio climático (dióxido de carbono –CO₂– y metano –CH₄–), que puede impactar negativamente los cultivos agrícolas, los bosques y ecosistemas. Otras afectan directamente a la salud humana (hidrocarburos –HC–, óxido nitroso –NO_x–, óxido sulfuroso –SO_x–, ozono –O₃–, monóxido de carbono –CO–) o provocan daños en edificios o materiales. Todos los anteriores 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 y por esto no se considera.

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

- Emisiones de Gases Efecto Invernadero

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 de 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.

La valoración de este impacto se realiza de manera cuantitativa.

- Contaminación de agua a nivel freático:

La emisión de metales pesados y de hidrocarburos policíclicos 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 la infraestructura de transporte. El nivel de la amenaza y, por

consiguiente, el nivel del costo ambiental adicional por contaminación de suelo y agua, dependen de las concentraciones críticas (en el suelo y en el agua) de los distintos contaminantes.

Para este ejercicio, no se cuenta con información suficiente para tener en cuenta este impacto sobre los cálculos realizados.

- Impactos por uso del suelo:

Los estudios empíricos demuestran que la introducción de un sistema de transporte en una ciudad trae efectos sobre el uso del valor del suelo, lo cual a su vez genera beneficios adicionales a otros que hayan podido ser medidos de forma paralela. El desarrollo de un proyecto nuevo de transporte desbloquea restricciones en el desarrollo inmobiliario, ya sea al aliviar congestión o al reducir riesgos en el desarrollo de edificaciones adicionales.

Es importante realizar una distinción entre el efecto generado por usos adicionales del suelo y la valorización del suelo entendida como el aumento de precios del suelo en la zona de influencia del proyecto. Este segundo efecto puede estar capitalizando otros tipos de beneficio como ahorros en tiempo, con lo cual se incurre en un riesgo de doble conteo de beneficios.

Sin embargo, si se identifica un potencial de desarrollos adicionales (aumento en edificabilidad) como resultado de la introducción del proyecto, se puede cuantificar el beneficio económico como el valor comercial de los nuevos desarrollos, menos el costo para llevar a cabo los mismos (costos de construcción). (Government of New Zealand, 2019)

Para este ejercicio se realiza una cuantificación del beneficio por edificabilidad adicional por nuevos desarrollos.

6.4 Resumen de los impactos considerados en este estudio

La siguiente tabla presenta los impactos directos, indirectos y externalidades que se consideran en el presente análisis costo beneficio.

Tabla 5. Impactos considerados en el ACB de L2MB

Impacto	Indicador
Impactos directos	
Ahorros de tiempo	Valor del ahorro total del tiempo en el sistema
COV transporte público	Costo total a partir de costo/km
COV transporte privado	Costo total a partir de costo/km por tipo de vehículos
Accidentalidad	Accidentes evitados por costo asociado
Emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero	Emisiones evitadas y producidas por costo asociado
Edificabilidad adicional por nuevos desarrollos	Área de influencia del proyecto
Costos directos	
CAPEX	Costo
OPEX	Costo

Fuente: elaboración propia

7 FUENTES DE INFORMACIÓN

7.1 Principales fuentes informativas

La presente sección tiene como objetivo describir las diferentes fuentes de información utilizadas en este análisis, en el que se logró el cálculo de la valoración de beneficios aplicables al proyecto de la L2MB.

Tabla 6. Principales fuentes informativas

Concepto	Información	Fuente	Tipo	Referencia
Modelo de demanda	Tiempos de viaje para vehículos privados y públicos, distancias recorridas para vehículos privados y públicos	Unión Temporal Movius	Primario	NA
Valor del tiempo	Promedio de ingresos laborales – Bogotá	Ministerio del Trabajo	Secundario	http://filco.mintrabajo.gov.co/FILCO/faces/indicadores.jsf?nombre=Promedio+de+los+ingresos+laborales&ind=303
	Tasa de ocupación Bogotá 2019	Ministerio del Trabajo	Secundario	http://filco.mintrabajo.gov.co/FILCO/faces/indicadores.jsf?nombre=Tasa+de+ocupacion&ind=96 Y Anexo 1 - FILCO - Ministerio del Trabajo - tasa ocupación
	Promedio de horas trabajadas a la semana – Bogotá	Ministerio del Trabajo	Secundario	http://filco.mintrabajo.gov.co/FILCO/faces/indicadores.jsf?nombre=Promedio+de+horas+trabajadas+a+la+semana&ind=97
	Contribuciones adicionales del empleador por ley	Ministerio del Trabajo	Secundario	Anexo 2 - https://www.mintrabajo.gov.co/atencion-al-ciudadano/tramites-y-servicios/mi-calculadora
	Ingreso no ocupados sobre ingreso ocupados	Comisión Europea	Secundario	https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf
	Tasa de crecimiento anual valor del tiempo	Gines de Rus	Secundario	Anexo 3 - Economia_del_transporte_Gines_de_Rus.pdf

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Concepto	Información	Fuente	Tipo	Referencia
Distancias recorridas – transporte público	Factores de expansión – HMD/día, día/año,	Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá	Secundario	Capítulo A – Definición del Esquema Operacional y Financiero, en su numeral 1 – Modelo de Transporte (Demanda) de la UT MOVIUS
	Índices de Pasajero por km (IPK)	Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá	Secundario	Capítulo A – Definición del Esquema Operacional y Financiero, en su numeral 1 – Modelo de Transporte (Demanda) de la UT MOVIUS
COV transporte público	Fichas de remuneración de los operadores de troncales y zonales con remuneración discriminada por tipo de bus Transmilenio	Transmilenio S.A.	Secundario	Anexo 4 - Respuesta TMSA km por componente 2022-EE-03232 y Anexo 5 - 03232
	Canasta de costos de operación de los operadores de troncales y zonales	Transmilenio S.A.	Secundario	Anexo 4 - Respuesta TMSA km por componente 2022-EE-03232 y Anexo 5 - 03232
COV transporte privado	Costos de operación por km por tipo de vehículos privados (lubricantes, combustible, llantas, mano de obra, amortización) para Bogotá	IDU	Secundario	Anexo 6 - Estimación costos usuarios - Contrato IDU-BM-112
Accidentalidad	Siniestros viales consolidados en la ciudad de Bogotá (2015-2020)	Secretaría Distrital de Movilidad	Secundario	https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/siniestros-viales-consolidados-bogota-d-c
	Anuario siniestralidad vial de Bogotá	Secretaría Distrital de Movilidad	Secundario	https://datos.movilidadbogota.gov.co/documents/movilidadbogota::anuario-de-siniestralidad-vial-de-bogota-2019/about

Concepto	Información	Fuente	Tipo	Referencia
	Costos de accidentalidad por tipo de accidente (muertos, heridos, daños)	ANSV y Fasecolda	Secundario	Evaluación socioeconómica PLMB, Deloitte (2017) Anexo 7 – Costos de la accidentalidad vial en Colombia
Mortalidad por accidentes	No. de muertes por tipo de vehículo asociadas a accidentes viales en Bogotá - 2019	Secretaría Distrital de Movilidad	Secundario	https://datos.movilidadbogota.gov.co/documents/0b83f2df819e42cd9c7aaedd06fa3433/explore
	Valor estadístico de una vida	W. Kip Viscusi* and Clayton J. Masterman (2017)	Secundario	Anexo 8 – Value of Statistical Life Anexo 9 – Income elasticities and global values of a statistical life, 2017
Emisiones de gases contaminantes	Factores de emisión de diferentes tipos de gases para diferentes tipos de vehículos	Secretaría de Ambiente	Secundario	Demás gases: https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/397082/Inventario+de+Emisiones+de+Bogota+portal+nuevo.pdf/972994eb-7f58-42c2-a801-0f8579937919 Anexo 10 - De CO ₂ : https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Noticias/10-03-2020/inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf
	Costos de emisión por gramo – CO ₂ y tasa de incremento del costo social global del carbono	Asian Development Bank	Secundario	https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/32256/economic-analysis-projects.pdf
Emisiones de gases contaminantes proyectos tipo metro	Factores de emisión sistemas tipo metro por tracción eléctrica	Unión Temporal MOVIUS – i) Factor de emisión de SIN calculado por la UPME kgCO ₂ /kWh ii) kilómetros totales recorridos por años por el proyecto línea 2	Secundario	Estudios técnicos - UT MOVIUS https://www1.upme.gov.co/Normatividad/382_2021.pdf

Concepto	Información	Fuente	Tipo	Referencia
Afecciones en salud por gases contaminantes	No. de muertes atribuibles a emisiones en Bogotá	Observatorio de Salud Pública y Epidemiología José Félix Patiño, Universidad de los Andes	Secundario	https://uniandes.edu.co/es/noticias/salud-y-medicina/como-enfrentar-la-alerta-por-calidad-del-aire
	Relación mortalidad – morbilidad por impacto a salud	Banco Mundial	Secundario	https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21096
	Valor estadístico de una vida	W. Kip Viscusi* and Clayton J. Masterman (2017)	Secundario	Anexo 8 – Value of Statistical Life
Edificabilidad adicional por nuevos desarrollos	Identificación de áreas aprovechables	EMB, Unión Temporal Movius	Secundario	Estudios técnicos - UT MOVIUS
	Planos cartográficos	Sistema de información Geográfica	Secundario	Anexo 11 - SIG UT MOVIUS y Fichas de diagnóstico áreas de oportunidad
	Razón precio-cuenta aplicables a valores de venta y costos de construcción	DNP	Secundario	https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/497.pdf
	Valor de referencia del metro cuadrado para las manzanas alrededor de la L2MB	IDU y Universidad de los Andes	Secundario	Anexo 12 - Diagnóstico y propuesta estaciones tramo sur - IDU-Uniandes
	Costo promedio de construcción por metro cuadrado	IDU y Universidad de los Andes	Secundario	Anexo 12 - Diagnóstico y propuesta estaciones tramo sur - IDU-Uniandes
	Estratificación en Bogotá	SDP	Secundario	Anexo 13 - https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estratificacion/estratificacion-por-localidad

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Concepto	Información	Fuente	Tipo	Referencia
	Índices de construcción base para desarrollos adicionales	UAECD	Secundario	Anexo 14 - Áreas de influencia y potencial de edificabilidad
	Índices de construcción para máximos para desarrollos adicionales	Decreto 190 de 2004	Secundario	https://www.sdp.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/decreto-190-de-2004
	Parámetros de diseño	Lancaster, Rosen, Higgins, Kanaroglou, Transmilenio, Escartín, Smolka, Mullahy, Debrezion, Suzuki, Global Designing Cities Initiative	Secundario	Anexo 15 - A new approach to consumer theory Anexo 16 - Hedonic prices and implicit markets Anexo 17 - A latent class method for Classifying and Evaluating the Performance of Station Area Anexo 18 - Parámetros Operacionales TM Anexo 19 - Periurbanismo estatal Anexo 20 - Perspectivas urbanas Anexo 21 - The Impact of Railway Stations On residential and commercial property value Anexo 22 - Transformando Ciudades Anexo 23 – Guía global de diseño de calles Anexo 25 - Mapa Tratamientos_Urbanisticos Anexo 26 - Portafolio_de_mapas Anexo 27 - Presentacion-diagnostico_pot_2017
Comunicaciones	Carta Radicado 20223031212702	Alcaldía Mayor de Bogotá		Anexo 24 - 20220621 Alcance 2 Carta remisoría productos Alcaldía a MT AT
Modelo	Modelo en Excel (carpeta)	Unión Temporal Movius	Primario	Anexo 28 - Modelo de evaluación social y económica

8 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

La metodología de costos evitados se basa en la comparación del escenario de proyecto frente a un escenario base sin proyecto. Esta comparación es determinante desde el punto de vista de seleccionar los escenarios que representen correctamente la situación que se desea estudiar. Para tal efecto y garantizar que se sigue fielmente la metodología, se plantean dos (2) escenarios con el fin de poder realizar un análisis de beneficio costo que permita tomar una decisión sobre la implementación del proyecto.

En consecuencia, se definió el escenario Base o sin proyecto, que obedece a la oferta de transporte del sistema de movilidad para 30 años, comparado con el escenario que contempla la implementación de la L2MB. Este escenario permite obtener los beneficios netos que tendría la L2MB sin incluir proyectos adicionales que alteren su verdadero impacto en la ciudad. De acuerdo con el cronograma de inversiones y operación de la L2MB, se han definido los siguientes periodos de proyección para el modelo del beneficio/costo:

- Fase de construcción: inicia en el año 2024 y finaliza en el año 2031.
- Fase de operación y mantenimiento: inicia en el año 2032 y el modelo se proyecta hasta 2062.

8.1 Escenario sin proyecto (Base) – EsP

El punto de partida para comparar la aplicación de la metodología es el escenario sin proyecto, el cual representa las condiciones de referencia del sistema de transporte de la región. Para efectos del contenido del presente documento, este escenario será denominado “Escenario sin proyecto”.

Este escenario, como bien se ha establecido, es un escenario sin la ejecución del proyecto, el cual permite determinar los beneficios netos atribuidos por el proyecto en sí. Para este escenario se deben calcular todas las magnitudes atribuibles a los beneficios en cuestión, como tiempos de viaje, contaminación ambiental, COV de transporte público y privado y accidentalidad. Como este escenario es aquel que no considera el proyecto de la L2MB, a partir de este es que se podrá comparar los beneficios y ahorros debido a la implementación del proyecto en el Escenario con proyecto.

A continuación, se presentan los proyectos que hacen parte del escenario:

Tabla 7. Proyectos de transporte público y privado - Escenario sin proyecto (Base)

Proyecto	2032	2042	2052
PLMB	✓	✓	✓
Extensión PLMB hasta Calle 100	✓	✓	✓
Troncal Av. 68	✓	✓	✓
Tren de cercanías de Occidente – Regiotram de Occidente	✓	✓	✓

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Proyecto	2032	2042	2052
Av. Ciudad de Cali hasta Manuel Cepeda	✓	✓	✓
Soacha Fase 2 y 3	✓	✓	✓
Caracas Extensión Sur	✓	✓	✓
Av. Villavicencio entre Av. Boyacá y Autopista Sur	✓	✓	✓
Troncal Calle 13	✓	✓	✓
Autopista Norte entre Calle 200 y 245	✓	✓	✓
SITP al 100 %	✓	✓	✓
Carrera Séptima Verde	✓	✓	✓
L2MB	✓	✓	✓
Troncal Calle 80 extensión – Intercambiador Modal 80	✓	✓	✓
Troncal Américas Conexión	✓	✓	✓
Regiotram del Norte	✓	✓	✓
Av. Cali entre AC 6 y AC 80	✓	✓	✓
Troncal El Dorado Extensión	✓	✓	✓
PLMB – Extensión Calle 100 - 200		✓	✓
Corredor Férreo del Sur (L3MB)			✓
Transporte masivo Av. Boyacá (L4MB)			✓
PLMB – Extensión Calle 200			✓
Calle 170			✓
Calle 63			✓
Calle 127			✓
Troncal ALO Sur			✓

8.2 Escenario con proyecto – EcP

El denominado escenario con proyecto determina todas las condiciones de movilidad esperadas con la entrada del proyecto de la L2MB y no contempla otros proyectos de transporte masivo. Desde el punto de vista metodológico, es directa la comparación con el anterior escenario (con proyecto y sin proyecto) que tendrá el sistema de transporte con el inicio de operación de la L2MB.

Los proyectos de la oferta de transporte de la ciudad que se tienen en cuenta para el escenario con proyecto son los mismos que los que se incluyen en el escenario sin proyecto, únicamente con la diferencia de que este escenario incluye la entrada de la L2MB y la reestructuración de rutas por la entrada de la línea.

9 ESTIMACIÓN DE COSTOS DIRECTOS

9.1 Precios económicos (precios-sombra) y su aplicación

El análisis económico realizado se basa en la sociedad y es por esto que los insumos del proyecto se deben valorar por su costo de oportunidad. Como la teoría económica establece que existe un equilibrio de mercado competitivo, se deben realizar ajustes a los flujos de caja financieros por medio de correcciones fiscales, valoración de externalidades y aplicación de precios sombra para ajustar la distorsión de los precios. Es importante resaltar que en la literatura se utilizan los términos precios sombra, precios económicos y precios cuenta, en alusión a los precios ajustados con esta desviación.

Los precios sombra utilizados serán aquellos que sean aplicables a Colombia y al sector. Teniendo esto en cuenta, se utilizan en el cálculo las razones aplicables a cada ítem del CAPEX y OPEX de los proyectos objeto de análisis, a partir de las siguientes fuentes:

- Departamento Nacional de Planeación. Actualización de la estimación de los indicadores “Razón Precio-Cuenta”. Documento 497 de la Dirección de Estudios Económicos de agosto de 2019.
- Evaluación Socioeconómica de la Primera Línea del Metro de Bogotá. Aplicación de algunas RPC específicas no contempladas por el DNP.
- Banco Mundial. RPC aplicables a costos de operación y mantenimiento.

En este caso, la conversión de los precios financieros en precios sombra se realiza usando la siguiente fórmula:

$$CE_i = CF_i \times RPC_i$$

En donde:

- CE_i es el costo económico del ítem/bien i
- CF_i es el costo financiero del ítem/bien i
- RPC_i es la razón precio-cuenta del ítem/bien i

9.2 Estimación del CAPEX y OPEX del proyecto en precios económicos

CAPEX – L2MB

De acuerdo con los estudios realizados hasta la fecha y en relación con las razones precio cuenta aplicables a cada ítem, la siguiente tabla exhibe la clasificación de los ítems de CAPEX de la L2MB.

Tabla 8. RPC aplicables a cada ítem del CAPEX – L2MB

Descripción	RPC	Fuente	Tipo
INFRAESTRUCTURA			
Túnel TBM	0,903	DNP	Carreteras, calles, caminos, puentes, vías férreas, túneles y construcción de subterráneos y pistas de aterrizaje
Excavación e inyección. Operación y mantenimiento TBM.	0,903	DNP	
Viaducto	0,903	DNP	
Viaducto - acceso a patio taller	0,903	DNP	
Pozo entrada	0,903	DNP	
Pozo salida	0,903	DNP	
Sala de ventilación interestación y salidas de emergencia	0,903	DNP	
Estaciones	0,903	DNP	
Patio taller - Adecuación del terreno	0,903	DNP	
Patio taller - Obra civil	0,903	DNP	
Obras civiles de alimentación eléctrica: AT, MT y tracción	0,903	DNP	
Espacio público y urbanismo	0,903	DNP	
Estructuras afectadas	0,903	DNP	
Desvío y Manejo de Tráfico (PMT)	0,68	PLMB	Desvío y Manejo de Trafico
OTROS			
Gestión y adquisición predial	0,892	DNP	Servicio de compra-venta de terrenos
Estudios y Diseños	0,925	DNP	Servicios jurídicos, de contabilidad, de auditoría; de asesoramiento tributario; de estudios de mercados; de consultores en administración; de arquitectura, de ingeniería y otros servicios técnicos
PMO	0,925	DNP	
Gestión social y ambiental	0,68	PLMB	Gestión social y ambiental
Interferencia con redes de servicios	0,903	DNP	Carreteras, calles, caminos, puentes, vías férreas, túneles y construcción de subterráneos y pistas de aterrizaje
Costos a cargo de EMB	0,903	DNP	
Interventoría de obra	0,68	PLMB	Interventoría de obra
MATERIAL RODANTE			
Sistema de Detección y extinción de incendio de túnel y estaciones	0,874	DNP	Transporte por tuberías
Sistema de ventilación	0,874	DNP	
Superestructura de vía	0,666	DNP	Buques y embarcaciones para deportes y recreo; locomotoras y materias rodantes de ferrocarril ;
Patio Taller	0,666	DNP	
Puesto central de control	0,666	DNP	Otro material rodante; otros equipos de transporte
Señalización y control de trenes	0,666	DNP	

Descripción	RPC	Fuente	Tipo
Sistema de puertas de andén	0,666	DNP	n.c.p., sus partes y piezas
Sistemas de comunicaciones	0,666	DNP	
Material rodante	0,666	DNP	
Vehículos ferroviarios auxiliares	0,666	DNP	
Equipos para Mantenimiento Mayor	0,666	DNP	
Equipos para Mantenimiento Menor	0,666	DNP	
Alimentación de Alta Tensión	0,901	DNP	Energía eléctrica distribuida y servicios relacionados
Eléctrico	0,991	DNP	Otros equipos eléctricos y sus partes y piezas

A partir de lo establecido en el Anexo A. Definición del esquema operacional y financiero⁴, que hace parte integral de los documentos establecidos en la resolución 20203040013685 para el cumplimiento de los requisitos del aval técnico para la cofinanciación de la Segunda Línea del Metro de Bogotá, el valor de proyecto (CAPEX) asciende a 15,3 COP Bn (en pesos constantes de diciembre del 2021).

Teniendo en cuenta la aplicación de las RPC anteriores, se obtienen los siguientes precios económicos para cada ítem del CAPEX de la L2MB (divididos principalmente en infraestructura y material rodante), así como el valor residual en el horizonte de evaluación de 30 años.

Tabla 9. CAPEX de la L2MB luego de la aplicación de precios sombra.

Descripción	Valor sin aplicación de RPC	Valor económico	Valor residual en valor económico	Vida útil (años)
COP millones constantes de diciembre de 2021				
INFRAESTRUCTURA				
Túnel TBM	298.545	269.586	168.491	80
Excavación e inyección. Operación y mantenimiento TBM.	2.204.728	1.990.869	1.244.293	80
Viaducto	271.722	245.365	153.353	80
Viaducto - acceso a patio taller	169.826	153.353	95.846	80
Pozo entrada	77.810	70.262	43.914	80
Pozo salida	57.306	51.747	32.342	80

⁴ Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte L2MB Anexo A. Informe A6. Flujo de inversión mensual para la infraestructura, flujos provenientes de créditos de apalancamiento

Descripción	Valor sin aplicación de RPC	Valor económico	Valor residual en valor económico	Vida útil (años)
COP millones constantes de diciembre de 2021				
Sala de ventilación interestación y salidas de emergencia	87.641	79.140	49.463	80
Estaciones	4.054.549	3.661.258	2.288.287	80
Patio taller - Adecuación del terreno	610.089	550.910	344.319	80
Patio taller - Obra civil	321.366	290.193	181.371	80
Obras civiles de alimentación eléctrica: AT, MT y tracción	57.218	51.668	32.293	80
Espacio público y urbanismo	249.688	225.468	140.918	80
Estructuras afectadas	111.941	101.083	63.177	80
Desvío y Manejo de Tráfico (PMT)	138.896	94.449	59.031	80
SUBTOTAL INFRAESTRUCTURA	8.711.325	7.835.351	4.897.095	
OTROS				
Gestión y adquisición predial	1.013.211	903.784	564.865	80
Estudios y Diseños	332.922	307.953	192.471	80
PMO	133.207	123.216	77.010	80
Gestión social y ambiental	112.491	76.494	47.809	80
Interferencia con redes de servicios	49.770	44.942	28.089	80
Costos a cargo de EMB	54.549	49.258	30.786	80
Interventoría de obra	333.019	226.453	141.533	80
SUBTOTAL OTROS	2.029.169	1.732.100	1.082.563	
MATERIAL RODANTE				
Sistema de Detección y extinción de incendio de túnel y estaciones	150.891	131.879	-	30
Sistema de ventilación	278.484	243.395	-	30
Superestructura de vía	292.429	194.758	-	30
Patio Taller	173.576	115.602	-	30
Puesto central de control	36.257	24.147	-	30

Descripción	Valor sin aplicación de RPC	Valor económico	Valor residual en valor económico	Vida útil (años)
COP millones constantes de diciembre de 2021				
Señalización y control de trenes	326.139	217.209	-	30
Sistema de puertas de andén	247.831	165.055	-	30
Sistemas de comunicaciones	230.835	153.736	-	30
Material rodante	2.108.136	1.404.018	-	30
Vehículos ferroviarios auxiliares	159.378	106.146	-	30
Equipos para Mantenimiento Mayor	94.002	62.606	-	30
Equipos para Mantenimiento Menor	68.650	45.721	-	30
Alimentación de Alta Tensión	121.133	109.141	-	30
Eléctrico	271.911	269.464	-	30
SUBTOTAL MATERIAL RODANTE	4.559.652	3.242.877	-	
TOTAL CAPEX L2MB	15.300.148	12.810.330	5.979.658	

OPEX – L2MB

Al igual que en el caso del CAPEX, a cada ítem desagregado del OPEX de la L2MB se le aplica la RPC correspondiente para obtener su valor económico. A continuación, se presentan los ítems y sus razones aplicables:

Tabla 10. RPC aplicables a cada ítem del OPEX – L2MB

Descripción	RPC	Fuente	Tipo
Costos de personal	0,87	DNP	Mano de obra profesional, sectores de elevadas prestaciones
Costos de operación sistemas de transporte	0,8062	Banco Mundial	Costos de operación
Costos de mantenimiento	0,8395	Banco Mundial	Costos de mantenimiento
Energía	1,00	DNP	Consumo de energía eléctrica

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Descripción	RPC	Fuente	Tipo
Agua	0,826	DNP	Agua
AIU	0,8	DNP	Excedente bruto de explotación (p.m.), sector transporte

Luego de la aplicación de las RPC presentadas anteriormente, se obtienen los valores económicos del OPEX de la L2MB, como se presenta a continuación:

Tabla 11. OPEX de la L2MB luego de la aplicación de precios sombra. COP millones constantes de diciembre de 2021

Descripción	Valor sin aplicación de RPC	Valor económico
Costos de personal	3.826.971	3.329.465
Costos de operación	484.655	390.729
Costos de mantenimiento	3.640.752	3.056.412
Energía	1.596.989	1.596.989
Agua	1.786	1.475
AIU	477.558	382.046
TOTAL OPEX – L2MB	10.028.712	8.757.116

Luego de calcular los precios económicos de los costos, estos serán utilizados en el cálculo de los flujos de caja neto para la evaluación socioeconómica del proyecto de la L2MB a partir de los indicadores de valor presente neto social, TIR social y relación beneficio - costo.

10 CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS

10.1 El modelo de demanda

Para la estimación de los beneficios de ahorros de tiempo, costos de operación, reducción en siniestralidad, emisión de contaminantes y afecciones de salud por emisiones, se ha utilizado como base la información obtenida del modelo de demanda elaborado por la UT Movius para los escenarios definidos en este análisis.

Los parámetros, metodología y resultados del modelo de demanda se presentan en mayor detalle en el capítulo A – Definición del Esquema Operacional y Financiero, en su numeral 1 – Modelo de Transporte (Demanda). Sin embargo, en este documento se presentan algunos aspectos y resultados de este modelo para efectos de exponer lo utilizado para el cálculo de beneficios.

Para el cálculo de los beneficios mencionados anteriormente se utiliza la información de tiempos de viaje y distancias recorridas para vehículos públicos y vehículos privados, datos que se obtienen del modelo de demanda. Las categorías de vehículos para los que se obtiene esta información son las siguientes:

Tabla 12. Categorías de vehículos para el modelo de demanda

Vehículos privados	Vehículos públicos
Carro particular – liviano	SITP – Troncal
Taxi	SITP – Zonal
Taxi vacío	Regiotram de Occidente
Motocicleta	Primera Línea del Metro de Bogotá
Camión pequeño	Transporte Intermunicipal

El modelo permite obtener la información de tiempos y distancias para los escenarios con proyecto y sin proyecto, en los cortes temporales de 2032, 2042 y 2052. Para el periodo comprendido entre 2053 y 2061 se mantienen los mismos valores de 2052, para todos los tipos de vehículos y escenarios. En este sentido, para efectos del análisis costo/beneficio, la base del modelo (situación actual) es el año 2021, mientras que los horizontes de referencia sobre los que se realizan asignaciones son 2032, 2042 y 2052. Los valores en los que se basan los cálculos realizados para la evaluación socioeconómica y que se exponen en este documento se ven afectados por la oferta de transporte público para la ciudad de Bogotá en los tres cortes temporales.

A partir de los insumos del modelo de demanda es importante resaltar los siguientes puntos para el cálculo de beneficios que se exponen en los siguientes numerales del documento:

- El análisis se realiza sobre un modelo de ciudad. El proyecto de la L2MB se incluye dentro de un sistema integrado/red integrada de transporte, donde se materializan los beneficios
- Los beneficios traídos por el proyecto tienen efecto sobre la red de transporte de la ciudad. En este sentido, los estimativos de inputs a nivel ciudad son los adecuados para capturar los impactos generados por el proyecto
- No se incluyen externalidades adicionales, que se capturan a través de estos beneficios

Para calcular las tasas de crecimiento anual en los escenarios con y sin proyecto para las distancias recorridas y los tiempos de viaje en transporte público y privado, se toman los resultados del modelo en los años 2032, 2042 y 2052. Con estos datos, se procede a calcular la tasa de crecimiento anual, TCA , en los periodos 2032 -2042 y 2042-2052, para cada variable utilizando la siguiente fórmula.

$$TCA_{P1} = \frac{\frac{X_{2042}}{X_{2032}} - 1}{2042 - 2032 + 1}$$

$$TCA_{P2} = \frac{\frac{X_{2052}}{X_{2042}} - 1}{2052 - 2042 + 1}$$

Donde TCA es la tasa de crecimiento anual de la variable y X es el valor de la variable obtenida del modelo de demanda en los años 2032, 2042 y 2052, la cual puede ser la distancia recorrida o el tiempo de viaje empleado en un tipo de transporte público o privado para los escenarios con y sin proyecto. P1 y P2 corresponden a los periodos 1 y 2, entendidos como 2032-2042 (P1) y 2042-2052 (P2)

Esta tasa es la que se usa para proyectar el crecimiento entre los cortes temporales, 2032-2042 y 2042-2052, con el fin de calcular el ahorro y beneficio que genera cada uno de los impactos que se explicarán a continuación.

10.2 Supuestos macroeconómicos

Los supuestos macroeconómicos utilizados para la indexación de los inputs se presentan a continuación:

Tabla 13. Supuestos macroeconómicos

Año	Inflación ⁵	TRM ⁶	Deflación PIB Mundial ⁷
2010	-	1.913,98	-
2011	3,73%	1.942,70	-
2012	2,44%	1.768,23	-
2013	1,94%	1.926,83	-
2014	3,66%	2.392,46	-
2015	6,77%	3.149,47	-
2016	5,75%	3.000,71	1,7166
2017	4,09%	2.984,00	-
2018	3,18%	3.249,75	-
2019	3,80%	3.277,14	-
2020	1,61%	3.432,50	1,7921
2021	5,62%	3.981,16	-

⁵ Obtenido de: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>

⁶ Obtenido de: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>

⁷ Obtenido de: <https://tradingeconomics.com/world/inflation-gdp-deflator-annual-percent-wb-data.html>

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

10.3 Ahorro en tiempos de viaje

El enfoque para el cálculo de este impacto se basa en los tiempos de viaje para los principales modos de transporte en el área de Bogotá D.C. En este sentido, se obtienen los tiempos de viaje estimados del modelo de demanda para los Escenarios 0 y 1, bajo el supuesto de que la implementación de los diferentes proyectos que se tienen en cuenta dentro de los escenarios generará ahorros de tiempo en los viajes de usuarios de la capital.

Con base en el escenario principal de oferta y visión de ciudad definido para el modelo de demanda, se obtienen los tiempos de viaje para la hora de máxima demanda (HMD) diaria. Luego de esto es necesario realizar una expansión de esta información, utilizando los factores de expansión de HPAM a día y de día a año, tanto para vehículos privados como para vehículos públicos. Esto permite comparar los tiempos en el escenario sin proyecto base vs los tiempos obtenidos el escenario con proyecto, y así identificar los aumentos o disminuciones por cada modo para la totalidad de la red modelada.

Vehículos privados

A partir del modelo de demanda se obtienen los siguientes datos para los tiempos de viajes para HMD de vehículos privados:

Tabla 14. Tiempos de viaje – HMD vehículos privados

Escenario	Sin Proyecto			Con Proyecto			
	Año	2032	2042	2052	2032	2042	2052
Carro		7.272.219	8.085.033	7.971.221	7.164.354	7.972.898	7.854.376
Taxi		1.564.397	1.680.242	1.593.695	1.542.284	1.657.955	1.572.906
Taxi Vacío		649.889	676.601	642.705	644.641	672.255	638.404
Moto		797.093	829.855	788.282	790.656	824.525	783.007
Camión pequeño		408.142	428.422	416.843	406.159	426.816	414.889

Con el objetivo de obtener los tiempos de viaje anualizados, se utilizan los factores de expansión HMD-día y día-año presentados a continuación, obtenidos del Capítulo A – Definición del Esquema Operacional y Financiero, en su numeral 1 – Modelo de Transporte (Demanda).

Para el cálculo del factor de expansión día y año para vehículos particulares se ha utilizado información de conteo de dos corredores: Av Ciudad de Cali con Calle 63 y Av Boyacá con Calle 13. Se han identificado los volúmenes en la Hora de Máxima Demanda, diarios y anuales para el cálculo de los factores de expansión. Los datos utilizados corresponden a datos tomados en el año 2018.

Tabla 15. Factores de expansión para tiempos de viaje – vehículos privados

Vehículo	HMD – día	Día – año
Auto	17,89	343
Moto	22,68	279
Taxi	22,7	329
Taxi vacío	22,7	329
Camión pequeño	10,95	322

Aplicando los factores de expansión a la información de HMD, se obtienen los tiempos de viaje empleados anualmente para cada tipo de vehículo, los cuales son la base para el cálculo de los beneficios del análisis.

$$Tiempo\ de\ viaje_{día\ ij} = Tiempo\ de\ viaje_{HMD\ ij} \times Factor_{HMD-día\ ij}$$

$$Tiempo\ de\ viaje_{año\ ij} = Tiempo\ de\ viaje_{día\ ij} \times Factor_{día-año\ ij}$$

Donde $Tiempo\ de\ viaje_{día\ ij}$ y $Tiempo\ de\ viaje_{año\ ij}$ son los tiempos de viaje por tipo de vehículo i para cada escenario j en km por día y año, respectivamente.

$Tiempo\ de\ viaje_{HMD\ ij}$ es el tiempo de viaje en min/HMD por tipo de vehículo i para cada escenario j .

$Factor_{HMD-día\ ij}$ y $Factor_{día-año\ ij}$ son los factores de expansión por tipo de vehículo i para cada escenario j , datos que provienen del modelo de demanda de MOVIUS.

Tabla 16. Tiempos de viaje anuales – vehículos privados

Tiempos de viaje – min/año						
Escenario	Sin Proyecto			Con Proyecto		
Año	2032	2042	2052	2032	2042	2052
Carro	44.624.297.206	49.611.945.317	48.913.566.384	43.962.411.834	48.923.851.807	48.196.572.739
Taxi	11.683.383.908	12.548.553.323	11.902.193.939	11.518.236.199	12.382.105.144	11.746.933.172
Taxi Vacío	4.853.566.019	5.053.058.501	4.799.915.992	4.814.371.633	5.020.602.017	4.767.794.087
Moto	5.043.782.335	5.251.093.137	4.988.029.708	5.003.051.881	5.217.364.648	4.954.648.912
Camión pequeño	1.439.066.467	1.510.572.425	1.469.748.144	1.432.077.076	1.504.909.124	1.462.855.715

Vehículos públicos

Para el caso de los vehículos públicos se aplica la misma metodología para el cálculo de tiempos de viaje en términos de minutos/año para cada escenario. Del modelo de demanda se obtienen los siguientes datos para HMD:

Tabla 17. Tiempos de viaje – HMD vehículos públicos

Tiempos de viaje – min/HMD						
Escenario	Sin proyecto			Con proyecto		
Año	2032	2042	2052	2032	2042	2052
SITP Troncal	24.828.282	25.021.534	21.885.970	22.994.738	22.982.662	20.157.746
SITP Zonal	19.950.843	20.053.034	18.077.143	18.713.995	18.702.810	16.791.266
Regiotram	1.585.872	1.750.065	1.848.034	1.554.042	1.711.086	1.805.163
Metro	3.153.878	5.054.745	9.891.022	5.486.107	7.770.149	12.204.093
Intermunicipal	1.460.017	1.597.228	1.731.966	1.473.676	1.605.919	1.731.838

Los factores de expansión que se utilizan para anualizar estos datos son los que se presentan a continuación:

Tabla 18. Factores de expansión para tiempos de viaje – vehículos públicos

Vehículo	HMD – día	Día – año
SITP Troncal	9,54	298
SITP Zonal	11,15	303
Regiotram	9,54	298
Metro	9,54	298
Intermunicipal	11,15	303

Aplicando los factores anteriormente presentados a los tiempos para HMD, se obtienen los siguientes valores para tiempos de viaje anuales de vehículos públicos:

$$\text{Tiempo de viaje}_{\text{día } ij} = \text{Tiempo de viaje}_{\text{HMD } ij} \times \text{Factor}_{\text{HMD-día } ij}$$

$$\text{Tiempo de viaje}_{\text{año } ij} = \text{Tiempo de viaje}_{\text{día } ij} \times \text{Factor}_{\text{día-año } ij}$$

Donde $\text{Tiempo de viaje}_{\text{día } ij}$ y $\text{Tiempo de viaje}_{\text{año } ij}$ son los tiempos de viaje por tipo de vehículo i para cada escenario j en km por día y año, respectivamente.

$\text{Tiempo de viaje}_{\text{HMD } ij}$ es el tiempo de viaje en min/HMD por tipo de vehículo i para cada escenario j .

$\text{Factor}_{\text{HMD-día } ij}$ y $\text{Factor}_{\text{día-año } ij}$ son los factores de expansión por tipo de vehículo i para cada escenario j , datos que provienen del modelo de demanda de MOVIUS.

Tabla 19. Tiempos de viaje anuales – vehículos públicos

Tiempos de viaje – min/año						
Escenario	Sin proyecto			Con proyecto		
Año	2032	2042	2052	2032	2042	2052
SITP Troncal	70.584.820.082	71.134.219.701	62.220.060.438	65.372.199.755	65.337.868.812	57.306.858.658
SITP Zonal	67.402.924.699	67.748.171.048	61.072.725.355	63.224.295.076	63.186.508.924	56.728.453.607
Regiotram	4.508.506.425	4.975.296.210	5.253.813.302	4.418.016.697	4.864.481.775	5.131.934.410
Metro	8.966.222.434	14.370.235.310	28.119.383.575	15.596.564.531	22.089.911.484	34.695.259.394
Intermunicipal	4.932.594.660	5.396.153.677	5.851.362.139	4.978.741.576	5.425.516.924	5.850.926.420

10.3.1 Valor del tiempo

De acuerdo con lo establecido en la sección 3.8.1 de la metodología de la (European Commission, 2014), para el cálculo del valor del tiempo existen dos opciones igualmente aceptables para realizar este procedimiento:

- A través de encuestas a la población ocupada y no ocupada de la región de estudio. Esto se materializa a través de encuestas donde se obtienen, a partir de las respuestas de los usuarios, las preferencias declaradas o reveladas para poder estimar el valor del tiempo.
- A través del enfoque de costos evitados (*“cost saving approach”*), donde se estiman los ingresos (salarios) por hora de la población en la región de estudio, siendo obtenida dicha información de entidades estadísticas oficiales que la publiquen.

Teniendo en cuenta el acceso a información actual aplicable al presente estudio, el valor del tiempo para este ejercicio se calcula siguiendo el segundo enfoque indicado anteriormente. De acuerdo con lo indicado en la metodología, se deben tener en cuenta dos consideraciones adicionales:

- El valor del ingreso laboral obtenido de la fuente estadística oficial debe ser ajustado para tener en cuenta costos adicionales relacionados con la remuneración de los empleados. Estos costos corresponden a costos asumidos por el empleador, como lo son (sin limitarse a) aportes de seguridad social, pensión, vacaciones, impuestos laborales, aportes parafiscales, entre otros.
- Si bien el cálculo del valor del tiempo parte del valor aplicable a personas ocupadas, se debe tener en cuenta el valor del tiempo aplicable a la población no ocupada en el área de estudio. A falta de información de la fuente estadística oficial, la literatura económica establece que el valor del tiempo para no ocupados se puede calcular como una proporción del valor del tiempo de ocupados, ubicándose en un rango entre el 25% y 40% de este valor.

En este sentido, la metodología a utilizar contempla la inclusión de los dos puntos antes mencionados.

A partir de la información publicada por el Ministerio del Trabajo de Colombia, se obtiene para el año 2019 el ingreso promedio laboral mensual de la población ocupada en Bogotá, junto con el promedio de horas trabajadas semanalmente. Dado que se espera que la dinámica económica de la ciudad para los periodos de materialización de beneficios (después de 2032) presente un comportamiento similar a la tendencia anterior a la pandemia del COVID-19, se toma en cuenta el valor del año anterior al surgimiento de esta contingencia, puesto que el 2020 es un periodo que por esta razón presenta comportamientos atípicos que podrían sesgar los análisis realizados.

El Ministerio del Trabajo publica la información de ingreso promedio laboral mensual que se estima con base en los resultados de la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) del DANE. Esta encuesta se desarrolla de manera anual, y consiste en un cuestionario detallado aplicado a familias de diferentes estratos de varias ciudades del país. Este cuestionario incluye preguntas que buscan obtener información principalmente sobre los siguientes temas (DANE, 2021):

- Fuerza de trabajo
- Calidad de vida
- Ingresos y gastos

Entre las ciudades de aplicación de la encuesta se encuentra la ciudad de Bogotá. Como se ha mencionado anteriormente, el modelo de demanda que constituye la base de la mayor parte de los cálculos de este análisis se realiza bajo un modelo de ciudad, donde se estiman los impactos que puede generar la introducción de la L2MB sobre la red de transporte de la ciudad. Teniendo esto en cuenta, los supuestos utilizados para calcular el valor del tiempo deben corresponder a datos

basados en la información para toda la ciudad, para así contemplar debidamente los impactos capturados por la red de transporte en su totalidad. Es importante aclarar que, a pesar de que el modelo de demanda de MOVIUS considera viajes desde y hacia los municipios de Chía y Cota, estos únicamente representan 1% del total de demanda. Por lo tanto, no se consideran los valores de ingreso mensual de estos municipios.

Con los valores obtenidos del Ministerio de Trabajo se calcula el valor por minuto del tiempo para monetizar los ahorros por tiempos de viaje.

Tabla 20. Contribuciones salariales

Concepto	Valor (COP 2021)	% salarial
Salario	1.848.248	-
Cesantías	154.021	8,33%
Intereses cesantías	18.482	1,00%
Prima de servicios	154.021	8,33%
Vacaciones	77.010	4,17%
Pensión	221.790	12,00%
ARL	9.648	0,52%
Caja de compensación	73.930	4,00%
Salud	157.101	8,50%
Subtotal contribuciones COP	866.003	-
TOTAL COP	2.714.250	

Fuente: elaboración propia a partir del Ministerio del Trabajo

$$\begin{aligned} \text{Ingreso promedio mensual}_{2021} &= \text{Ingreso promedio mensual}_{2019} \times \text{Índice Inflación}_{2020+2021} \\ &= 1.722.176 \times 1,0732 = \text{COP } 1.848.248 \end{aligned}$$

Como se ha mencionado anteriormente, se deben tener en cuenta para el cálculo del valor del tiempo las contribuciones adicionales que asume el empleador por ley, entre estas las cesantías, intereses de cesantías, prima de servicios, vacaciones, pensión, ARL, caja de compensación y salud. El ingreso se debe ajustar según las contribuciones porcentuales que establece el Ministerio del Trabajo⁸.

$$\begin{aligned} \text{Ingreso promedio total}_{2021} &= \text{Ingreso promedio mensual}_{2021} + \text{Contribuciones} \\ &= \text{COP } 1.848.248 + \text{COP } 866.003 = \text{COP } 2.714.250 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minutos}/\text{mes} &= \text{Promedio horas semana} \times \# \text{ semanas} \times 60 \text{ minutos} \\ &= 47 \frac{\text{hr}}{\text{sem}} \times 4,285 \frac{\text{sem}}{\text{mes}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} = 12.084 \text{ Minutos}/\text{mes} \end{aligned}$$

⁸ Porcentajes obtenidos de: <https://www.mintrabajo.gov.co/atencion-al-ciudadano/tramites-y-servicios/mi-calculadora>. Ver también Anexo 2 - Mi Calculadora – Ministerio del trabajo- Contribuciones.pdf

$$\begin{aligned} \text{Valor tiempo } x \min_{base} (2021) &= \frac{\text{Ingreso promedio mensual (2021)}}{\text{Minutos/mes}} = \frac{COP 2.714.250}{12.084} \\ &= 224,62 \text{ COP}/\text{min} \end{aligned}$$

Sin embargo, este valor está sesgado, teniendo en cuenta que la tasa de ocupación de Bogotá es del 61,5%⁹ según el Ministerio del Trabajo. La relación entre el ingreso de los no ocupados frente al ingreso de los ocupados es del 40% según (European Commission, 2014). Dado lo anterior, se calcula el valor del tiempo de los ocupados y los no ocupados de la siguiente manera:

$$\text{Valor tiempo } x \min_{ocupados} (2021) = \text{Valor tiempo } x \min_{base} (2021) \times 61,5\% = 138,14 \text{ COP}/\text{min}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor tiempo } x \min_{no \text{ ocupados}} (2021) &= \text{Valor tiempo } x \min_{base} (2021) \times (1 - 61,5\%) \times 40\% \\ &= 34,59 \text{ COP}/\text{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor tiempo } x \min (2021) &= \text{Valor tiempo } x \min_{ocupados} (2021) + \text{Valor tiempo } x \min_{no \text{ ocupados}} (2021) \\ &= 138,14 \text{ COP}/\text{min} + 34,59 \text{ COP}/\text{min} = 172,73 \text{ COP}/\text{min} \end{aligned}$$

Tabla 21. Valor del tiempo

Valor del tiempo 2021 (COP/min)
172,73

Fuente: Ministerio del Trabajo (2020)

Este valor objetivo del tiempo para las personas ocupadas y no ocupadas es el que permite capturar el costo de oportunidad con efectos de productividad en las personas.

Aumento del valor del tiempo a lo largo del periodo de vida del proyecto

De acuerdo con algunos autores en esta materia, como Ginés de Rus, el valor del tiempo debería apreciarse en términos constantes a lo largo del período de vida del proyecto. De Rus establece 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 [...] 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.”¹⁰

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvo la información más reciente disponible para el valor promedio de los ingresos laborales en Bogotá en los últimos 10 años, del Ministerio de Trabajo. Estos se definen como el ingreso monetario por las actividades económicas y el ingreso en especie, incluyendo: salario, subsidios, horas extra, bonificaciones y viáticos. Dado que los valores publicados por el Ministerio de Trabajo corresponden a pesos corrientes, se realiza un ejercicio donde

⁹ Obtenido de: <http://filco.mintrabajo.gov.co/FILCO/faces/indicadores.jsf?nombre=Tasa+de+ocupacion&ind=96>. Ver también Anexo 1 - FILCO – Ministerio de Trabajo – tasa ocupación.pdf

¹⁰ Ver página 184 del Anexo 3 - Economía_del_transporte_Gines_de_Rus

todos ellos se expresan en una misma fecha de referencia, para así poder calcular el crecimiento promedio en términos reales.

$$ILP_{2021} = ILP_i \times \prod_{i=1}^n (1 + \text{inflación}_i)$$

Donde ILP es el valor del ingreso laboral promedio para cada año, i es el año de aplicación de la inflación.

Tabla 22. Ingresos laborales per cápita para Bogotá D.C. (2011-2020)

Periodo	Valor promedio ingreso laborales per cápita en pesos corrientes (COP) ¹¹	Valor promedio ingreso laborales per cápita (COP diciembre 2021)	Porcentaje crecimiento vs año anterior en términos reales
2009	1.081.543	1.692.548	-
2010	1.171.871	1.767.961	4,5%
2011	1.205.020	1.762.113	-0,3%
2012	1.193.662	1.703.928	-3,3%
2013	1.314.263	1.840.380	8,0%
2014	1.363.562	1.841.997	0,1%
2015	1.366.504	1.728.924	-6,1%
2016	1.451.808	1.736.975	0,5%
2017	1.512.436	1.738.411	0,1%
2018	1.627.421	1.812.925	4,3%
2019	1.722.176	1.848.248	1,9%
Crecimiento promedio			1,0%

Fuente: Ministerio del Trabajo (2020)

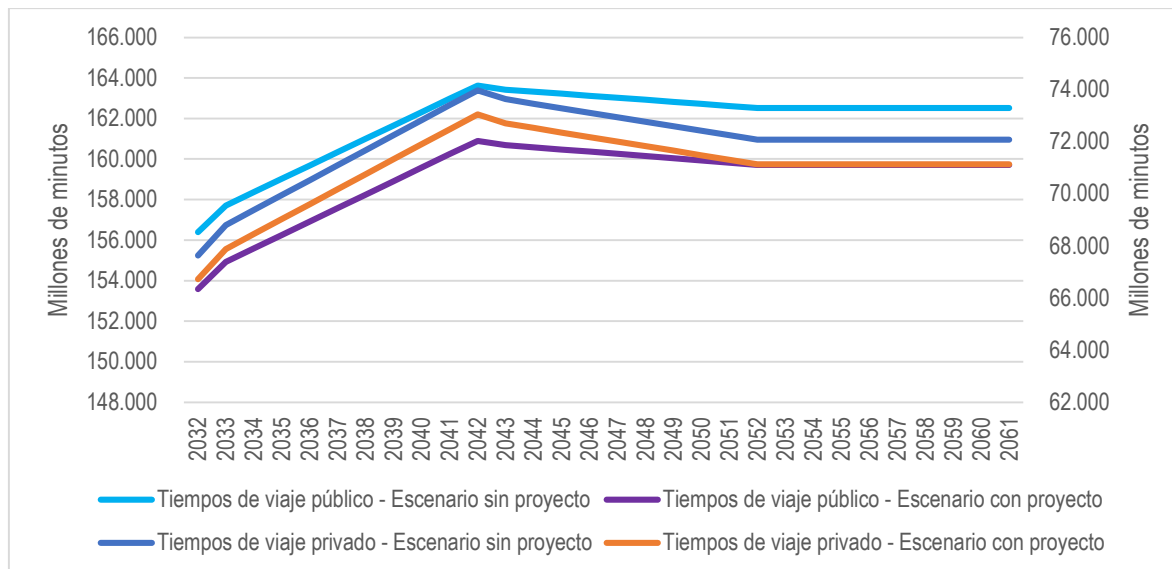
Teniendo en cuenta lo anterior, se observa un crecimiento promedio del 1,0% en los ingresos laborales promedio para Bogotá en los últimos 10 años, valor que se toma como supuesto para el crecimiento anual del valor del tiempo aplicado en el análisis.

10.3.2 Ahorros en tiempo

A partir del modelo de demanda se obtienen los tiempos de viaje anuales para cada modo de transporte, para los escenarios sin proyecto y con proyecto. La gráfica a continuación muestra los tiempos de viaje para los diferentes tipos de modos (privado y público) para ambos escenarios.

¹¹ Obtenido de: <http://filco.mintrabajo.gov.co/FILCO/faces/indicadores.jsf?nombre=Promedio+de+los+ingresos+laborales&ind=303>

Gráfica 1. Tiempos de viaje por escenario



Se observa que los tiempos de viaje presentan una tendencia creciente durante el inicio del periodo de evaluación, la cual se mantiene constante desde el 2052 en adelante, y que su diferencia proporcional entre escenarios se mantiene para ambos tipos de vehículos.

Posteriormente, para el cálculo de los beneficios por ahorro de tiempo, se presentan a continuación las variables y las fórmulas de cálculo:

Tabla 23 Variables de cálculo beneficio ahorro en tiempo

Input	Unidad	Valor
Factor de expansión para vehículos privados	HPAM a día por vehículo	<ul style="list-style-type: none"> Auto: 17,89 Moto, taxi: 22,7 Camión pequeño: 10,95
	Día-año por vehículo	<ul style="list-style-type: none"> Auto: 343 Moto: 279 Taxi: 329 Camión pequeño: 322
Factor de expansión para vehículos públicos	HPAM a día por vehículo	<ul style="list-style-type: none"> TM, Regiotram, Metro: 9,54 Zonal, Intermunicipal: 11,15
	Día-año por vehículo	<ul style="list-style-type: none"> TM, Regiotram, Metro: 298 Zonal, Intermunicipal: 303
Tiempo de viaje por modo	Min/vehículo/hora pico	N/A
Valor del tiempo (personas)	COP/min	172,73

Input	Unidad	Valor
Aumento anual valor del tiempo	%/año	1%

Fuente: Modelo demanda MOVIUS, cálculos propios

Tabla 24. Promedios anuales de ahorro de tiempo EcP - EsP

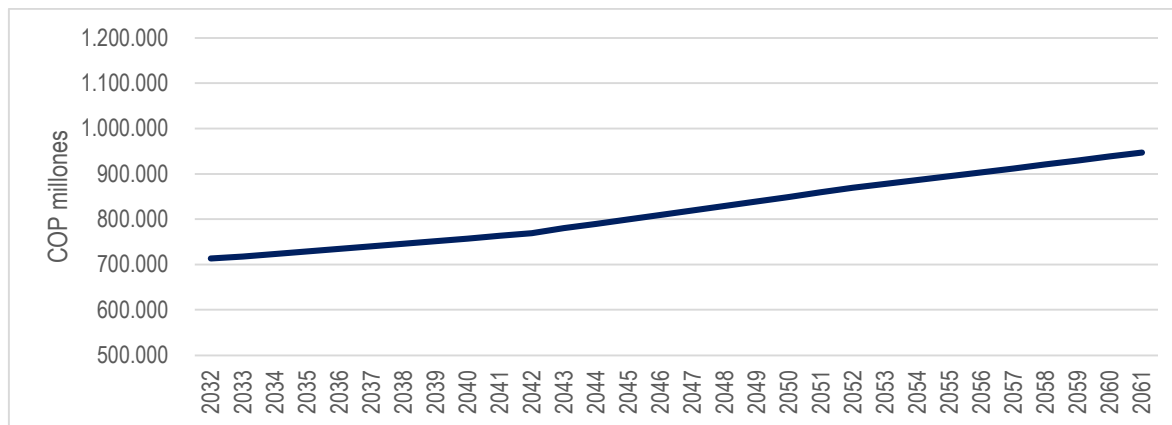
	EcP - EsP
Ahorro promedio anual – vehículos privados (millones de minutos)	933
Ahorro promedio anual – vehículos públicos (millones de minutos)	2.776

Con estas variables definidas se realiza el cálculo del beneficio de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Beneficio}_{\text{ahorro tiempos}} = \text{Ahorro Tiempo Total} \times \text{valor del tiempo}_{\text{personas}}$$

Luego de monetizar los ahorros obtenidos entre la diferencia entre el Escenario con Proyecto – Escenario sin Proyecto, se obtienen los resultados que se muestran a continuación.

Gráfica 2. Beneficio por ahorro en tiempos de viaje EcP - EsP



La gráfica muestra una tendencia creciente en el beneficio monetario anual obtenido por tiempos de viaje, en línea con la tendencia creciente de la diferencia en tiempos entre escenarios sin proyecto y con proyecto. Se obtiene un promedio de COP 820.000 millones anuales de beneficio económico.

Tabla 25. Total beneficio tiempos de viaje EcP – EsP

	EcP - EsP
Total beneficio tiempos de viaje (millones COP valor presente)	3.349.617

10.4 Costos de operación vehicular

10.4.1 Ahorros en distancia recorrida

Vehículos privados

El modelo de demanda permite obtener las distancias recorridas para los diferentes tipos de vehículos de transporte privado que se consideran para el análisis. Al igual que en el caso de tiempos de viaje, se obtienen los datos de km recorridos para la hora de máxima demanda (HMD), y estos deben ser expandidos a km/día y finalmente a km/año a través de los factores de expansión pertinentes. A continuación, se presentan los datos para HMD obtenidos del modelo de demanda.

Tabla 26. Distancias recorridas – HMD vehículos privados

Distancias recorridas – km/HMD						
Escenario	Sin Proyecto			Con Proyecto		
Año	2032	2042	2052	2032	2042	2052
Carro	1.401.947	1.494.007	1.552.312	1.391.671	1.483.923	1.541.137
Taxi	236.983	244.401	243.316	235.308	242.609	241.799
Taxi Vacío	180.174	179.887	179.320	180.221	180.014	179.484
Moto	497.019	513.296	515.816	492.298	509.754	511.983
Camión pequeño	143.547	145.373	146.677	143.508	145.262	146.647

Teniendo en cuenta los factores de expansión de la Tabla 23, se procede a calcular la distancia recorrida día y día-año para cada año de evaluación y para cada tipo de vehículo privado, según las siguientes fórmulas.

$$Distancia\ Recorrida_{día\ ij} = Distancia\ Recorrida_{HMD\ ij} \times Factor_{HMD-día\ ij}$$

$$Distancia\ Recorrida_{año\ ij} = Distancia\ Recorrida_{día\ ij} \times Factor_{día-año\ ij}$$

Donde $Distancia\ Recorrida_{día\ ij}$ y $Distancia\ Recorrida_{año\ ij}$ son la distancia recorrida por tipo de vehículo i para cada escenario j en km por día y año, respectivamente.

$Distancia\ Recorrida_{HMD\ ij}$ es la distancia recorrida en HMD por tipo de vehículo i para cada escenario j .

$Factor_{HMD-día_{ij}}$ y $Factor_{día-año_{ij}}$ son los factores de expansión por tipo de vehículo i para cada escenario j , datos que provienen del modelo de demanda de MOVIUS.

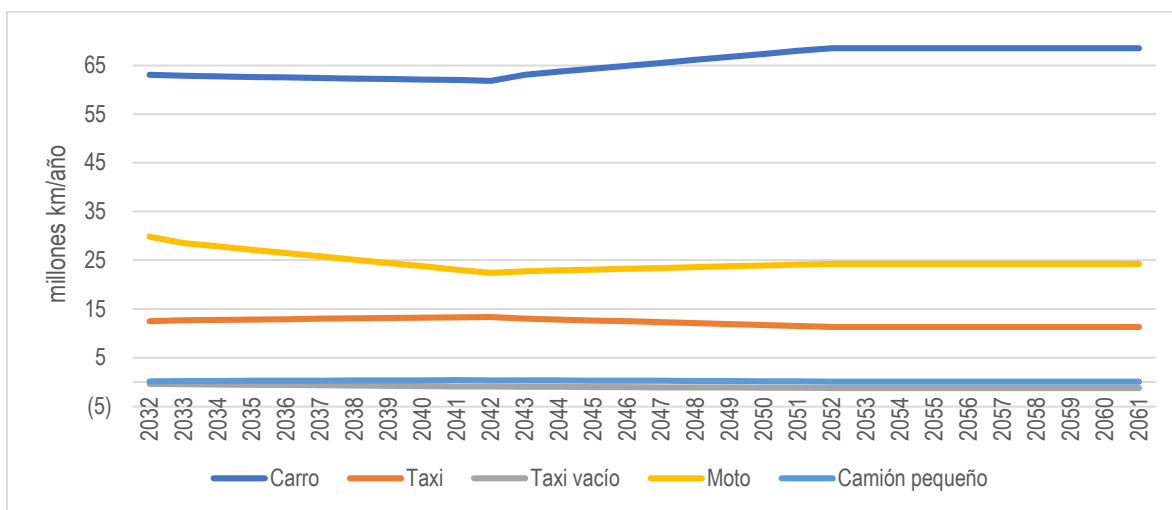
Para realizar la expansión de distancia recorrida de vehículos privados a km/año se utilizan los mismos factores de expansión aplicados a los tiempos de viaje, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 27. Distancias recorridas anuales – vehículos privados (km)

Distancias recorridas – km/año						
Escenario	Sin Proyecto			Con Proyecto		
Año	2032	2042	2052	2032	2042	2052
Carro	8.602.722.863	9.167.628.493	9.525.402.488	8.539.671.462	9.105.749.733	9.456.830.898
Taxi	1.769.859.467	1.825.257.449	1.817.158.825	1.757.348.122	1.811.877.691	1.805.826.351
Taxi Vacío	1.345.595.725	1.343.453.069	1.339.215.556	1.345.943.001	1.344.395.569	1.340.438.117
Moto	3.144.998.712	3.247.991.973	3.263.940.232	3.115.125.040	3.225.580.454	3.239.684.246
Camión pequeño	506.133.778	512.569.956	517.167.377	505.994.152	512.179.638	517.061.952

A partir de las diferencias entre las distancias recorridas para el escenario con proyecto vs el escenario sin proyecto, es posible estimar los beneficios por costos evitados en operación vehicular, siniestralidad y en temas ambientales. A continuación, se presentan los ahorros/aumentos en distancias recorridas para cada modo de transporte entre EcP – EsP.

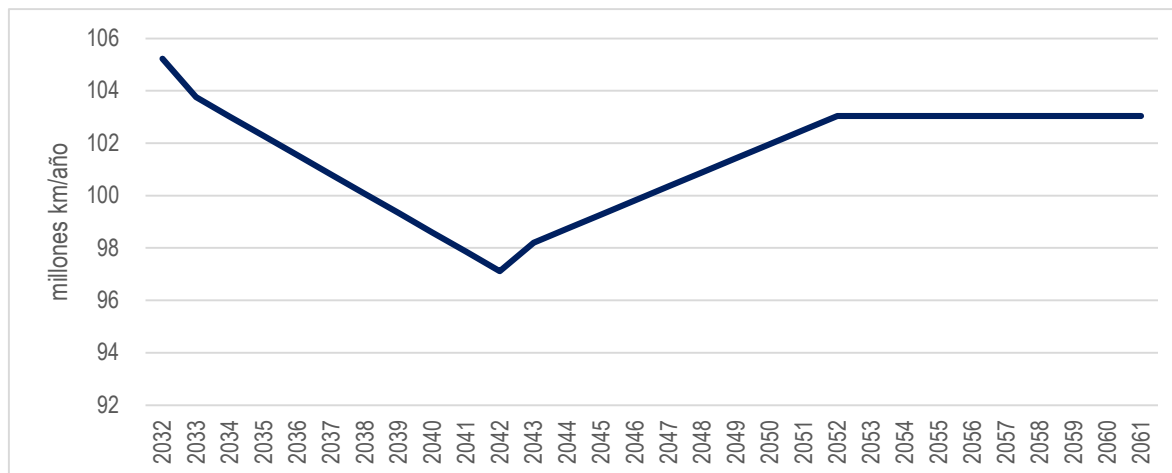
Gráfica 3. Ahorros en distancia recorrida vehículos privados EcP – EsP



Comparando ambos escenarios, se observa que la implementación del proyecto de la L2MB genera eficiencias en las distancias recorridas para casi todos los tipos de vehículos privados, a excepción de camión pequeño y taxi vacío, que presentan distancias superiores a aquellas del escenario base. Se observa también una tendencia creciente en los ahorros de carro particular y decreciente para taxi y moto.

Teniendo esto en cuenta, se obtienen los ahorros de distancia totales para vehículos privados entre los dos escenarios.

Gráfica 4. Ahorro en distancia recorrida vehículos privados EcP – EsP



Se presenta una tendencia decreciente de ahorros en distancia en los primeros años de la proyección, seguida por una tendencia creciente a partir del año 2042. En línea con los supuestos asumidos, a partir del año 2052 la tendencia es constante, pues se mantienen las mismas diferencias en tiempos de viaje para los años siguientes. Esto genera un promedio de distancia ahorrada de 101 millones de km por año.

Vehículos públicos

Para obtener las distancias recorridas por vehículos públicos para los diferentes escenarios modelados se debe aplicar una metodología diferente a aquella aplicada para los tiempos de viaje. El cálculo de estos kilómetros parte de los pasajeros transportados por cada modo de transporte y el índice IPK (índice de pasajeros por km) para cada uno de ellos. En este orden de ideas, el cálculo para cada modo consiste en la siguiente fórmula:

Ecuación 1. calculo distancia recorrida publico

$$KmHMD_{ij} = \frac{Pasajeros_{ij}}{IPK_{ik}}$$

Donde:

$KmHMD_{ij}$ corresponde a los km recorridos en HMD por el vehículo i para cada escenario j .

$Pasajeros_{ij}$ corresponde a los pasajeros transportados en HMD por el vehículo i para cada escenario j . El número de pasajeros transportados varía con cada escenario.

IPK_{ik} corresponde al índice IPK para el vehículo i para cada escenario k . En este caso los escenarios son únicamente con L2MB y sin L2MB.

Se utilizan los siguientes IPK para efectos del cálculo de los km:

Tabla 28. IPKs para cálculo de km – vehículos públicos

Modo	IPK sin metro	IPK con Metro
SITP Implementado (Zonal)	2,36	2,36
TransMilenio (Troncal)	10,03	10,03
Intermunicipal	0,44	0,44
Regiotram	2,20	2,40

Fuente: Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá a partir del capítulo A – Definición del Esquema Operacional y Financiero, en su numeral 1 – Modelo de Transporte (Demanda) de la UT MOVIUS

Por otra parte, se obtienen del modelo de demanda los pasajeros transportados en hora pico para los escenarios con y sin proyecto, y para los años 2032, 2042 y 2052:

Tabla 29. Pasajeros transportados en HMD por vehículos de transporte público (2032)

Modo	Sin Metro	Con Metro
SITP Implementado (Zonal)	417.272	394.690
TransMilenio (Troncal)	600.226	569.759
Regiotram	44.026	43.307

Fuente: Modelo de demanda MOVIUS

Tabla 30. Pasajeros transportados en HMD por vehículos de transporte público (2042)

Modo	Sin Metro	Con Metro
SITP Implementado (Zonal)	422.368	398.150
TransMilenio (Troncal)	618.141	583.414
Regiotram	47.898	46.967

Fuente: Modelo de demanda MOVIUS

Tabla 31. Pasajeros transportados en HMD por vehículos de transporte público (2052)

Modo	Sin Metro	Con Metro
SITP Implementado (Zonal)	390.173	367.385
TransMilenio (Troncal)	574.640	545.218
Regiotram	48.958	47.996

Fuente: Modelo de demanda MOVIUS

En este punto, se hace necesario expandir los pasajeros obtenidos para cada escenario utilizando los factores de expansión HMD – día y día – año para cada modo. Se utilizan los siguientes factores de expansión de oferta para cada modo:

Tabla 32. Factores de expansión para distancia recorrida – vehículos públicos

Modo de transporte	Factor HMD – día	Factor día – año
SITP Implementado (Zonal)	11,15	303
TransMilenio (Troncal)	9,54	298
Intermunicipal	11,15	303
Regiotram	9,54	298

Fuente: Modelo de demanda MOVIUS

Aplicando la misma metodología para los vehículos privados, en este caso se procede a calcular la distancia recorrida día y día-año para cada año de evaluación y para cada tipo de vehículo público, según las siguientes fórmulas.

$$Distancia\ Recorrida_{día\ ij} = Distancia\ Recorrida_{HMD\ ij} \times Factor_{HMD-día\ ij}$$

$$Distancia\ Recorrida_{año\ ij} = Distancia\ Recorrida_{día\ ij} \times Factor_{día-año\ ij}$$

Donde $Distancia\ Recorrida_{día\ ij}$ y $Distancia\ Recorrida_{año\ ij}$ son la distancia recorrida por tipo de vehículo i para cada escenario j en km por día y año, respectivamente.

$Distancia\ Recorrida_{HMD\ ij}$ es la distancia recorrida en HMD por tipo de vehículo i para cada escenario j .

$Factor_{HMD-día\ ij}$ y $Factor_{día-año\ ij}$ son los factores de expansión por tipo de vehículo i para cada escenario j , datos que provienen de Transmilenio S.A.

Finalmente, al aplicar la expansión a los km obtenidos, se obtiene el resultado anualizado para los diferentes tipos de vehículos.

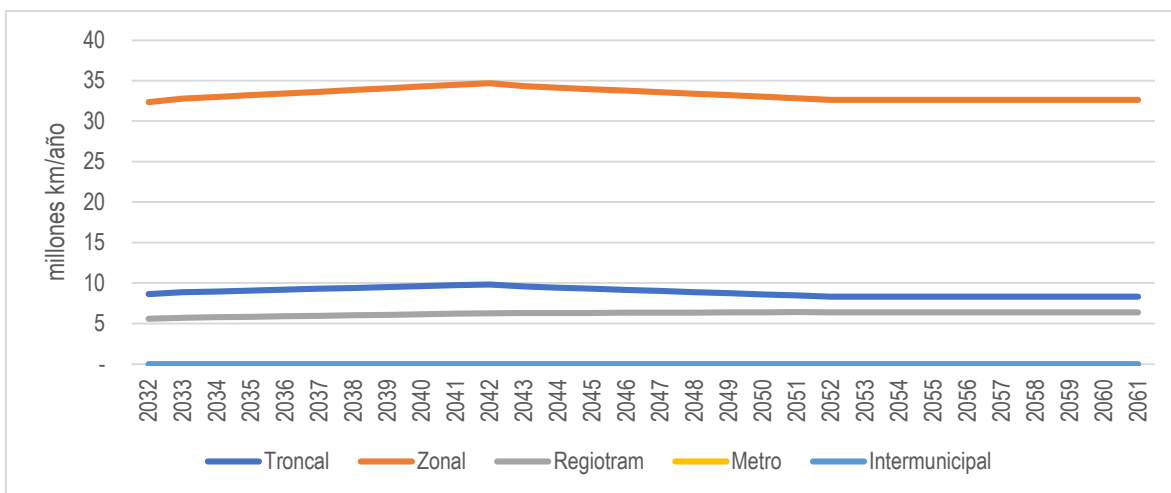
Tabla 33. Distancias recorridas anuales – vehículos públicos (km)

Escenario	Sin Proyecto			Con Proyecto			
	Año	2032	2042	2052	2032	2042	2052
Troncal		170.060.346	175.136.153	162.811.137	161.428.217	165.297.050	154.475.084
Zonal		597.629.662	604.928.192	558.817.743	565.287.274	570.242.793	526.180.205
Regiotram		56.891.999	61.895.539	63.265.309	51.299.307	55.634.760	56.853.662
PLMB		3.485.596	4.955.183	4.955.183	3.485.596	4.955.183	4.955.183
L2MB		-	-	-	2.820.904	2.820.904	2.820.904
L3MB		-	-	3.564.683	-	-	3.564.683
L4MB		-	-	5.654.027	-	-	5.654.027
Intermunicipal		204.177.867	204.177.867	204.177.867	204.177.867	204.177.867	204.177.867

Fuente: Modelo de demanda MOVIUS

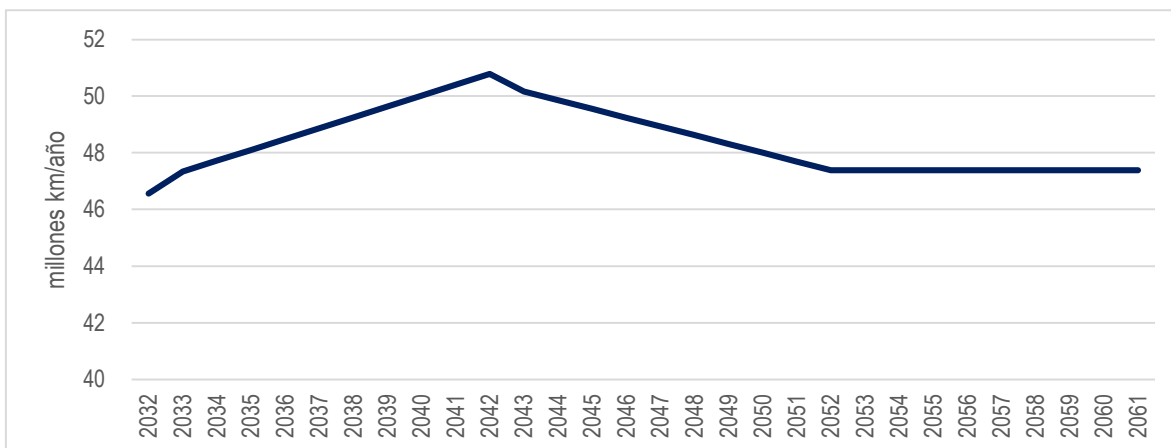
A partir de las distancias anualizadas es posible obtener los ahorros/aumentos del escenario con proyecto con respecto al escenario sin proyecto.

Gráfica 5. Ahorros en distancia recorrida vehículos públicos EcP – EsP



Gráficamente se observa una tendencia similar para la distancia recorrida de vehículos públicos entre ambos escenarios. Se observa una tendencia levemente creciente para SITP zonal y para troncal hasta 2042 y estable para intermunicipal, Regiotram y para Metro. A continuación, se presenta el comportamiento del ahorro de distancia total para vehículos públicos entre ambos escenarios.

Gráfica 6. Ahorro en distancia vehículos públicos EcP – EsP



Se observa una tendencia creciente para los ahorros en distancia recorrida consolidados de transporte público hasta 2042, una tendencia decreciente hasta 2052 y constante hasta el horizonte de evaluación, a pesar de las diferencias en las

tendencias de los diferentes modos que lo componen. Se obtiene un promedio anual de ahorro en distancia recorrida de 48 millones de km.

10.4.2 Costos de operación vehicular

La metodología para el cálculo del beneficio por costos de operación vehicular, al igual que en la mayoría de los beneficios calculados en este ejercicio, se basa en la estimación de los costos evitados por operación de los diferentes modos de transporte contemplados en el análisis. A partir de los ahorros en distancia recorrida y los costos de operación por km para cada tipo de vehículo se obtiene el valor económico del beneficio, calculado de la siguiente manera:

$$BOV_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m COkm_j \times Akm_{ijk}$$

Donde:

BOV_i corresponde a el beneficio total por costos evitados de operación vehicular, para cada escenario i

$COkm_j$ corresponde al costo por km de operación vehicular de cada vehículo j , expresado en pesos constantes de diciembre de 2021

Akm_{ijk} corresponde al ahorro en distancia recorrida en km para cada vehículo j en cada año k , calculado para el escenario i

Esta fórmula de cálculo es aplicable tanto para vehículos privados como para vehículos públicos. Únicamente varían las fuentes de información para la obtención de los costos de operación por km y la metodología para el cálculo de las distancias recorridas para ambos tipos de vehículos.

Vehículos privados

Los costos de operación para los vehículos privados se obtienen del estudio realizado bajo el contrato IDU-BM-112 de 2009¹². En este estudio se realiza una parametrización de los costos para la ciudad de Bogotá con el uso del software HDM 4. Para obtener el costo económico de operación para los vehículos privados se toman únicamente los costos variables, excluyendo costos fijos como seguros o impuestos.

Los costos variables por vehículo se toman del estudio (IDU y Banco Mundial, 2009), los cuales se encuentran expresados en precios de 2010. Para este ejercicio se indexan hasta el 2021 con la inflación de cada año, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$COV_{2021} = COV_{2010} \times \prod_{i=1}^n (1 + \text{inflación}_i)$$

¹² Obtenido de la página 41 del Anexo 6 - Estimación costos usuarios - Contrato IDU-BM-112.pdf.

Donde COV_{2010} es el valor del costo de operación vehicular por tipo de vehículo privado, i es el año de aplicación de la inflación.

Aplicando esta fórmula para cada uno de los costos variables para todos los tipos de vehículos privados analizados se llegan a los siguientes COV de 2021.

Tabla 34. Costos variables por km para vehículos privados

Costos variables (COP/km, dic-2021)	Carro particular – liviano	Motocicleta	Taxi	Camión pequeño
Combustible	278,70	58,39	208,76	265,66
Lubricantes	15,72	5,08	14,18	40,38
Neumáticos	6,48	2,25	6,17	16,53
Piezas de mantenimiento	103,14	8,36	116,73	241,36
Trabajo de mantenimiento	43,22	12,25	55,41	201,85
Tiempo operador	-	-	387,15	791,87
Depreciación	190,23	51,26	31,15	91,04
Interés	50,75	9,46	9,29	45,16
Total costo variable	688,24	147,05	828,84	1.693,86

Fuente: IDU (2009)

Para este ejercicio también se aplican las razones precio cuenta a cada uno de los costos variables a partir del documento del DNP de la siguiente manera:

Tabla 35. RPC aplicables a cada ítem de los COV – vehículos privados

Costo variable	RPC
Combustible	0,822
Lubricantes	0,900
Neumáticos	0,821
Piezas de mantenimiento	0,981
Trabajo de mantenimiento	0,884
Tiempo operador	1,000
Depreciación	1,000
Interés	1,000

Luego de la aplicación de las RPC a los valores de mercado expresados en pesos de 2021, se obtienen siguientes valores:

Tabla 36. COV vehículos privados luego de la aplicación de precios sombra

Costos variables (COP/km, dic-2021)	Carro particular – liviano	Motocicleta	Taxi	Camión pequeño
Combustible	227,858	47,735	170,676	217,196
Lubricantes	14,070	4,551	12,695	36,149
Neumáticos	5,289	1,838	5,036	13,498
Piezas de mantenimiento	100,631	8,153	113,898	235,495
Trabajo de mantenimiento	38,001	10,771	48,716	177,476
Tiempo operador	-	-	385,058	787,593

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Costos variables (COP/km, dic-2021)	Carro particular – liviano	Motocicleta	Taxi	Camión pequeño
Depreciación	189,200	50,984	30,985	90,553
Interés	50,480	9,408	9,239	44,914
Total costo variable	625,53	133,44	776,30	1.602,87

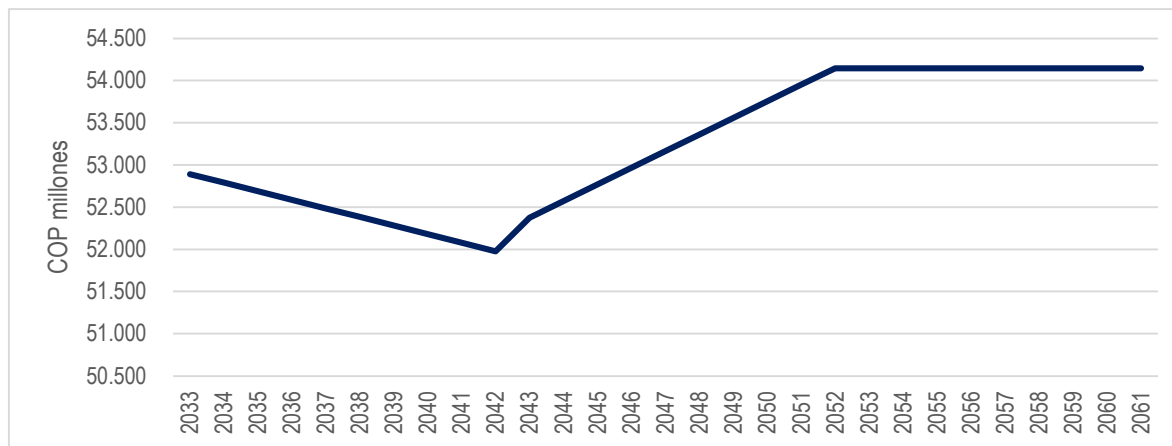
Con base en estos insumos, se obtienen las variables necesarias para realizar las estimaciones:

Tabla 37. inputs calculo COV Privado

Input	Unidad	Valor
Kilómetros recorridos por modo	Km/vehículo/hora pico	N/A
Factores de expansión privados	HPAM a día y día a año, por vehículo	<ul style="list-style-type: none"> • Auto: 17,89 • Moto, taxi: 22,7 • Camión pequeño: 10,95
Ahorro en distancia	km x Vehículo	N/A
Costo de operación – precio económico	COP (2021) x Vehículo/km	<ul style="list-style-type: none"> • Auto: 626 • Moto: 133 • Taxi: 776 • Camión pequeño: 1.603

Con estos valores económicos para costo operacional por km y los ahorros/aumentos en distancia recorrida de los diferentes escenarios se obtiene el valor monetario del beneficio anual. La gráfica a continuación muestra los resultados del beneficio comparando ambos escenarios.

Gráfica 7. Total beneficio costo operacional para vehículos privados EcP – EsP



En línea con la tendencia observada para los ahorros en distancia recorrida, se observa un crecimiento periódico del beneficio monetizado. Lo anterior resulta en una estimación de beneficio promedio anual de COP 53.246 millones entre ambos escenarios.

Vehículos públicos

Para realizar el cálculo de los costos operacionales evitados para vehículos públicos, se tiene en cuenta la información disponible con la que se cuenta para el análisis, lo cual permite realizar los cálculos para los medios de transporte SITP Troncal y SITP Zonal.

Para el cálculo de la tarifa promedio por kilómetro del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá se usa el costo total pagado en 2021 a todos los actores del Sistema y se divide entre el total de kilómetros remunerados, discriminando por componente troncal y zonal¹³. De esta manera, esta tarifa promedio por kilómetro recoge para cada componente los costos de inversión en vehículos e infraestructura cuando aplique, los costos de operación y mantenimiento, así como los costos asociados a los sistemas complementarios a la operación de los buses (sistema de recaudo, control de flota, comunicaciones e información, ente gestor y fiducia). Se toman los valores de 2021 pues es el año más parecido al futuro en términos de composición de flota y de tarifas aplicadas en el Sistema. Asimismo, es importante resaltar que todos los costos para la prestación del servicio de transporte público en buses en Bogotá se consideran operacionales y se pagan con la misma fuente de pago de ingresos corrientes (las tarifas al usuario y el fondo de estabilización tarifaria principalmente). Dentro de estos están los relacionados con los costos de capital (vehículos e infraestructura de patios) y los costos operacionales (combustible, conductores, mantenimiento, administrativos, seguros, entre otros). Teniendo en cuenta este enfoque se obtienen los siguientes costos por km para cada tipo de transporte que se calculan utilizando la siguiente fórmula:

¹³ Ver Anexo 4 - Respuesta TMSA km por componente 2022-EE-03232.pdf y Anexo 5 - 03232.xlsx.

$$COV \text{ público (2021)}/_{km} = \frac{\text{Costo anual de operación (2021)}}{\text{Kms totales recorridos (2021)}}$$

Tabla 38. Costos operacionales por km para componentes troncal y zonal del SITP

	Componente troncal	Componente zonal	Regiotram
Costo operación/km (COP constantes, 2021)	10.895	5.683	21.208
RPC – Costo de operación sistemas de transporte	0,8062	0,8062	0,8062
Costo operación/km - precio económico (COP constantes, 2021)	8.327	4.163	17.098

Fuente: Transmilenio S.A., Oferta económica proyecto Regiotram

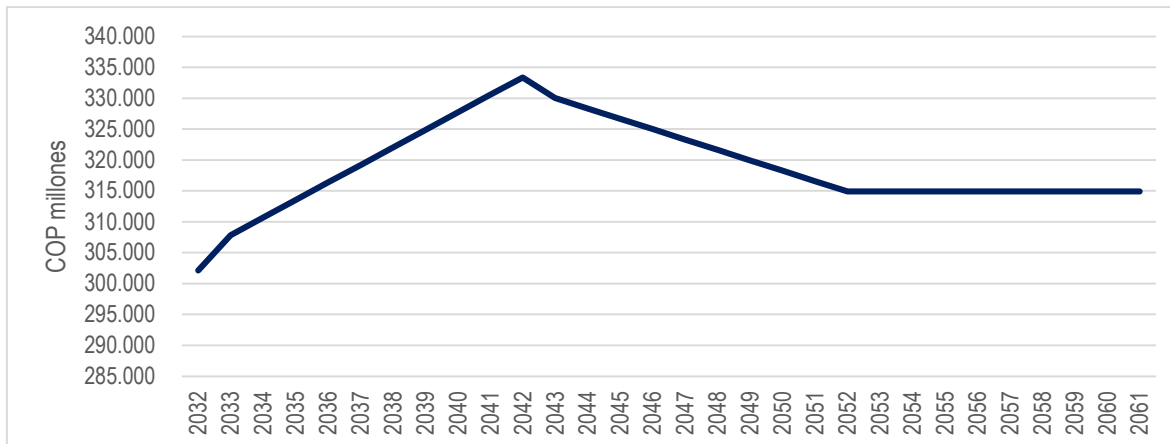
Con base en estos insumos, se obtienen las variables necesarias para realizar las estimaciones:

Tabla 39. Inputs Calculo COV Público

Input	Unidad	Valor
Costo de operación	COP (2021) x Vehículo/km	<ul style="list-style-type: none"> SITP Troncal: 8.327 SITP Zonal: 4.163
IPK para cálculo distancias	Índice pasajeros por km	<ul style="list-style-type: none"> SITP Troncal: 10,03 SITP Zonal: 2,36
Factores de expansión públicos	HPAM a día y día a año, por vehículo	<ul style="list-style-type: none"> SITP Troncal: 9,54 SITP Zonal: 11,15
Ahorro en distancia	km x Vehículo	N/A

A partir de los ahorros en distancia calculados para vehículos públicos, el beneficio obtenido se comporta de la siguiente forma entre ambos escenarios:

Gráfica 8. Total beneficio costo operacional para vehículos públicos EcP – EsP



La gráfica anterior refleja la tendencia de los ahorros en distancia que se ha presentado anteriormente. Con estos cálculos se obtiene un beneficio promedio anual de COP 318.901 millones entre ambos escenarios.

Finalmente, los beneficios obtenidos en total para vehículos privados y públicos se presentan a continuación:

Tabla 40. Total beneficio costos de operación vehicular EcP – EsP

	EcP – EsP
Total beneficio costos de operación vehicular (COP millones, valor presente)	1.609.455

10.5 Accidentalidad

10.5.1 Ahorros por disminución de accidentes

Al igual que el beneficio por costos de operación vehicular, el beneficio por ahorros en accidentalidad se basa en la metodología de cálculo de costos evitados entre ambos escenarios. Su base parte de los ahorros en kilómetros recorridos para los diferentes tipos de vehículos, junto con tasas de accidentalidad calculadas para cada uno de ellos. Este cálculo se realiza con base en la siguiente fórmula:

$$BAcc_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^o \%Acc_{jl} \times CAcc_l \times Akm_{ijk}$$

Donde:

$BAcc_i$ corresponde a el beneficio total por costos evitados de accidentalidad, para cada escenario i

$\%Acc_{jl}$ corresponde al índice de accidentalidad por km para cada vehículo j para cada tipo de accidente l

$C_{Acc_{jl}}$ corresponde al costo estimado de un accidente para cada tipo de accidente l , expresado en pesos constantes de diciembre de 2021

$A_{km_{ijk}}$ corresponde al ahorro en distancia recorrida en km para cada vehículo j cada año k , para el escenario i

Los tipos de accidentes que se consideran para el cálculo de este beneficio son tres:

1. Accidentes con muertos
2. Accidentes con heridos
3. Accidentes con solo daños

Para obtener los ratios de accidentalidad para cada tipo de vehículo, se parte del histórico de accidentes publicado por la Secretaría de Movilidad de Bogotá para los años 2015 a 2020. Sin embargo, dado que el año 2020 presenta un comportamiento atípico por ser un periodo afectado por la pandemia del COVID-19, se toman los datos de los años 2015 a 2019. Estas estadísticas permiten obtener el número de accidentes por tipo (muertos, heridos y accidentes), para cada tipo de vehículo privado y para el componente zonal del SITP.

Para cada tipo de vehículo y accidente se toma el promedio anual de accidentes entre 2015 y 2019. Posteriormente, a partir de los datos del modelo de demanda se calculan los km recorridos para 2019 para cada tipo de vehículo. Con estos dos inputs se procede a calcular el ratio de accidentalidad por km. A partir de este cálculo se obtienen los siguientes ratios:

Tabla 41. Índices de accidentalidad

Tipo accidente	Tipo de vehículo	Número ¹⁴	km/año 2019 EsP ¹⁵	Tasa Acc/km
Muertos	Carro	162	8.036.816.283	2,02,E-08
	Moto	290	3.053.472.788	9,50,E-08
	Taxi	63	1.724.256.160	3,64,E-08
	Camión pequeño	129	497.598.787	2,58,E-07
	Zonal	131	778.213.217	1,69,E-07
Heridos	Carro	6.124	8.036.816.283	7,62,E-07
	Moto	5.698	3.053.472.788	1,87,E-06
	Taxi	2.281	1.724.256.160	1,32,E-06
	Camión pequeño	1.314	497.598.787	2,64,E-06
	Zonal	2.760	778.213.217	3,55,E-06
Daños	Carro	20.817	8.036.816.283	2,59,E-06
	Moto	1.889	3.053.472.788	6,19,E-07
	Taxi	11.650	1.724.256.160	6,76,E-06
	Camión pequeño	6.218	497.598.787	1,25,E-05
	Zonal	5.963	778.213.217	7,66,E-06

Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad (2020)

¹⁴ Obtenido de: <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/siniestros-viales-consolidados-bogota-d-c>

¹⁵ Obtenido del modelo de demanda de MOVIUS

Por otra parte, la Corporación Fondo de Prevención Vial publicó los costos estimados para cada tipo de accidente, los cuales se actualizan a valores constantes de diciembre de 2021 indexando con base en las series históricas del Índice de Precios al Consumidor (IPC).

Estos costos incluyen los siguientes conceptos:

1. Daños a la propiedad: corresponde a los costos de los daños ocasionados a los vehículos involucrados y los bienes públicos y privados que resultaron dañados por el accidente.
2. Costos médicos: costos que se asumen de forma inmediata cuando sucede el accidente e incluye medicamentos, transporte al sitio de revisión, número de afectados por accidente y el costo de oportunidad de dejar de trabajar.
3. Costos administrativos: Costos que incurren las compañías de seguros para gestionar reclamaciones relacionadas, así como los costos de servicios de emergencia por parte de las autoridades que atienden los accidentes.
4. Costo por la pérdida de productividad¹⁶: corresponde al valor de las indemnizaciones por incapacidades permanentes parciales, invalidez o fallecimiento.

Tabla 42. Costos económicos por tipo de accidente

	Muertos	Heridos	Daños
Costo accidente ¹⁷ (COP millones, constantes 2016)	792,1	25,7	8,9
Costo accidente (COP millones, constantes 2021)	947,7	30,8	10,6

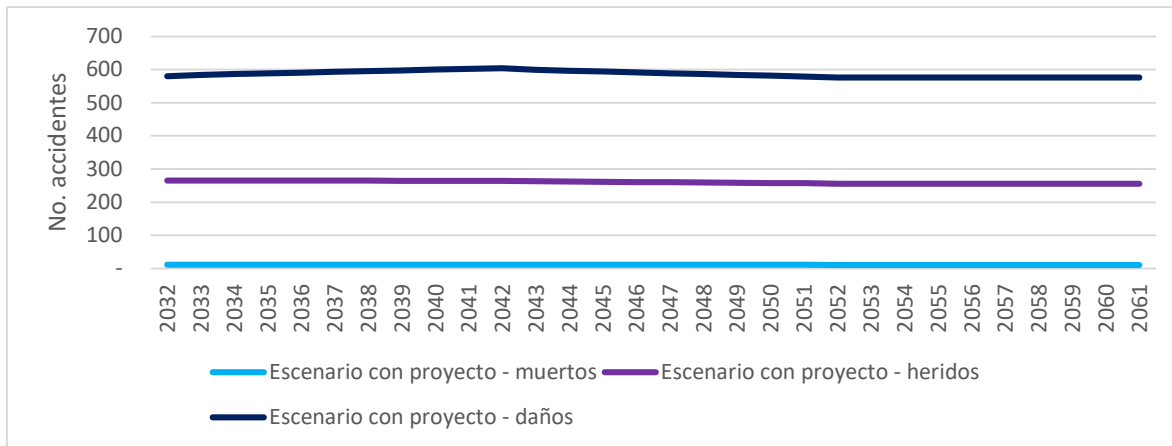
Fuente: Referenciado de la Evaluación Socioeconómica PLMB a partir del estudio del Fondo de Prevención Vial. Desarrollo de Metodología de Valoración del Costo Económico de la Accidentalidad Vial en Colombia y su cálculo para el periodo 2008-2010.

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtienen los siguientes ahorros en número de accidentes para los diferentes tipos:

¹⁶ Obtenido de Pagina 22 de Anexo 7 - Fasecolda - costos-de-la-accidentalidad-vial-en-colombia-2018.pdf

¹⁷ Obtenido de Evaluación socioeconómica PLMB, Deloitte (2017)

Gráfica 9. Ahorros en número de accidentes (todos los tipos) EcP – EsP



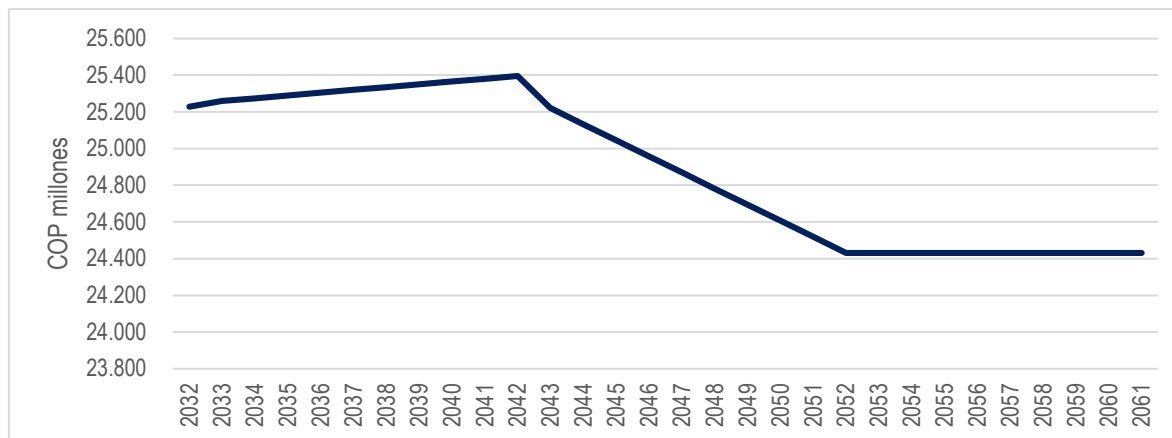
A nivel general, se presenta una tendencia constante en el ahorro en número de casos por año, en línea con la tendencia de ahorros en distancia recorrida de los diferentes vehículos entre ambos escenarios. A nivel de cada tipo de accidente, se obtiene el siguiente promedio de ahorro en casos anuales:

Tabla 43. Promedio anual de accidentes ahorrados EcP – EsP

	Muertos	Heridos	Daños
Promedio anual de accidentes ahorrados	11	261	586

Finalmente, luego de obtener los ahorros en número de casos para cada tipo de vehículo y accidente, se procede a monetizar este impacto a través de los costos por accidente expuestos anteriormente. Con este cálculo se obtiene el siguiente resultado:

Gráfica 10. Beneficio por reducción accidentalidad EcP – EsP



En línea con los comportamientos de distancia recorrida, se refleja la tendencia creciente en los años iniciales de la proyección, seguida de una tendencia decreciente entre los años 2042 y 2052. Posteriormente se obtiene una tendencia constante para el restante del periodo de proyección. Con estos resultados se obtiene un ahorro económico promedio de COP 24.888 millones anuales. A continuación, se presenta el beneficio total obtenido para el periodo de evaluación:

Tabla 44. Total beneficio reducción accidentalidad EcP – EsP

	EcP – EsP
Total beneficio reducción en accidentalidad (COP millones, valor presente)	109.013

10.5.2 Mortalidad en la accidentalidad

Con base en lo establecido en el subcapítulo anterior sobre el cálculo del beneficio por ahorros en accidentalidad, y partiendo de la base de los ahorros en kilómetros recorridos para los diferentes tipos de vehículos, junto con tasas de accidentalidad calculadas para cada uno de ellos, se deriva un beneficio adicional que tiene en cuenta los accidentes con víctimas mortales y el impacto en la economía del costo estadístico de las vidas perdidas en estos accidentes. Para realizar el cálculo se parte de la siguiente fórmula:

Ecuación 2. costo social de una vida en accidentes

$$Beneficio_{mortalidad} = \sum_{i=1}^n \text{Índice mortalidad}_i \times VSL_i$$

Donde:

$Beneficio_{mortalidad}$ corresponde a el beneficio total por el costo social de una vida evitado en la disminución de accidentes con víctimas fatales, para cada escenario i

$Índice mortalidad_i$ corresponde al índice de accidentalidad con víctimas fatales por km para cada vehículo j

VSL_i corresponde al valor estadístico de una vida, para el escenario i

Para la estimación del índice de mortalidad por km, se utiliza el histórico de accidentes publicado por la Secretaría de Movilidad de Bogotá para los años 2015 a 2020, como se explicó anteriormente. Se excluye el año 2020 para corregir por los impactos de la pandemia en la movilidad de la ciudad y obtener datos estadísticamente significativos y un cálculo confiable.

Seguidamente, la estimación del valor estadístico de una vida se puede realizar desde 4 enfoques: capital humano, salarios hedónicos, valoración contingente y transferencia de valores. Sin embargo, para los países en vías de desarrollo se dificulta poder realizar los estudios necesarios para estimar estos valores debido a la falta de la información que se requiere para poder aplicar los cálculos.

Con el fin de resolver el problema para los países en desarrollo o aquellos que no cuentan con la información necesaria para las estimaciones, Viscusi y Masterman (2017) desarrollaron una metodología comparativa a partir del cálculo estadístico del valor de una vida para los Estados Unidos.

En este estudio, los autores plantean la hipótesis de que a partir del VSL de Estados Unidos, que es obtenido de los datos del Censo de Accidentes Laborales Mortales del Departamento de Trabajo Americano, junto con ajustes para las diferencias de ingresos entre Estados Unidos y el país sobre el cual se requiere realizar el cálculo, es posible obtener una estimación confiable para el valor estadístico de una vida del país comparado.

El Valor estadístico de una vida es definido como el valor que incorpora los beneficios obtenidos por la disminución del riesgo de muerte o del costo que genera la pérdida de una vida humana, calculado a partir de la cantidad de dinero máxima que la gente está dispuesta a pagar para disminuir el riesgo¹⁸.

En resumen, esta metodología permite obtener el Valor estadístico de una vida (VSL) para más de 200 países con un VSL base de Estados Unidos de USD 9,6 millones, un ingreso per cápita de Estados Unidos de USD 55.980 y una elasticidad del VSL de 1,0¹⁹ para calcular un VSL para cada país que hace parte del estudio.

Tabla 45. Cálculo VSL Colombia

País	Ingreso per cápita (USD 2015)	VSL País (USD 2015)
Colombia ²⁰	7.140	1.228.000

Fuente: Viscusi y Masterman, 2017

Con base en lo explicado anteriormente, los inputs requeridos para realizar las estimaciones se presentan a continuación.

A partir de los datos de mortalidad de la SDM entre 2015 y 2019 para Peatones, Ciclistas, Motociclistas, Acompañantes moto, Pasajeros TP, Conductores taxi, Pasajeros taxi, Ocupantes livianos y Ocupantes, causados por cada tipo de

¹⁸ Obtenido de la página 03 de: Anexo 8 - The Value of a Statistical Life -2019

¹⁹ Obtenido de la página 236 de: Anexo 9 - Income-elasticities-and-global-values-of-a-statistical-life, 2017

²⁰ Obtenido de la Tabla 7 de: Anexo 9 - Income-elasticities-and-global-values-of-a-statistical-life, 2017

transporte (carro, moto, taxi y troncal-zonal) se procede a calcular la tasa de mortalidad para cada vehículo. Primero se calcula el promedio de mortalidad por tipo de accidentado y por tipo de vehículo, para luego sumar cada uno y obtener un total de mortalidad por tipo de vehículo como se explica a continuación y en la memoria de cálculo del modelo.

$$Total\ mortalidad_i = \sum_{j=1}^n \frac{\sum_{t=1}^u x_t}{n}$$

$$Tasa\ mortalidad = \frac{Total\ mortalidad_i}{km\ 2019_i}$$

Donde i es el tipo de vehículo privado, j es el tipo de accidentado, t es el año inicial, u es el año final, n es el número de datos y x es la cantidad de accidentalidad.

Tabla 46. Inputs calculo beneficio VSL accidentes

Input	Unidad	Valor
Índice de mortalidad por vehículo/km – Número de casos en Bogotá	No. muertos/vehículo-km	<ul style="list-style-type: none"> • Auto: 0,0000016633% • Moto: 0,0000032756% • Taxi: 0,0000011400% • SITP: 0,0000147518%
Valor estadístico de una vida (VSL) para Colombia indexados a precios constantes de 2021	USD 2015 según (Viscusi & Masterman, 2017)	1.228.000
	COP 2015 (COP/USD = 3.149,47)	3.867.549.160
	COP 2021 (IPC acumulado de 1,2649 desde 2015 a 2021)	4.892.342.518

A partir de estos insumos es posible estimar el beneficio económico de las muertes evitadas por accidentes viales entre ambos escenarios.

Tabla 47. Total beneficio por muertes evitadas EcP – EsP

	EcP – EsP
Total beneficio por muertes evitadas por accidentes (COP millones, valor presente)	173.978

10.6 Ahorros en las emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero

Para este ejercicio, se calculan dos tipos diferentes de beneficios ambientales:

- Beneficio por reducción en emisiones de gases contaminantes Efecto Invernadero (GEI)
- Beneficio por reducción en afecciones a la salud por gases contaminantes (mortalidad y morbilidad)

No obstante, al igual que en el caso de costos de operación vehicular y accidentalidad, ambos beneficios se calculan bajo el supuesto de costos evitados, con las distancias recorridas por los diferentes tipos de vehículos como principal insumo.

10.6.1 Beneficio por emisión de gases contaminantes

El beneficio está basado en los efectos de cambio climático causado por emisiones adicionales (principalmente CO₂) que impactan las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI). La monetización del impacto está establecida como el costo social de gases contaminantes y se compone de los siguientes aspectos:

- Aumento en temperatura
- Impactos en agricultura
- Costos por protección costera debido al incremento en niveles de agua
- Impactos en la salud por cambios climáticos y posibilidad de mayor propagación de enfermedades contagiosas

El CO₂ es el gas contaminante para el cual se hace el ejercicio por su impacto en el cambio climático por efecto invernadero.

La fórmula de cálculo para este beneficio es la siguiente:

$$BEm_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^o FE_{jl} \times CE_l \times Akm_{ijk}$$

Donde:

BEm_i corresponde a el beneficio total por emisiones evitadas, para cada escenario i

FE_{jl} corresponde al factor de emisión de CO₂ l , expresado en g/km para cada vehículo j

CE_l corresponde al costo estimado por gramo emitido de CO₂ l , expresado en pesos constantes de diciembre de 2021

Akm_{ijk} corresponde al ahorro en distancia recorrida en km para cada vehículo j en cada año k , calculado para el escenario i

A partir del último inventario de emisiones de gases contaminantes para Bogotá, publicado por la Secretaría de Ambiente en diciembre de 2020, se obtiene el factor de emisión de CO₂ para cada tipo de vehículo.

Tabla 48. Factor de emisión de CO₂ por tipo de vehículo

Emisiones (g/km)	CO ₂	Combustible
Carro (promedio categorías 1 a 4)	344,68	Gasolina
Moto (promedio todas las categorías)	157,00	Gasolina
Taxi	344,94	Gasolina
Camión pequeño (promedio vehículos <6.000 C.C.)	1.088,47	Diésel, Gasolina
Troncal (promedio articulados y biarticulados)	1.440,00	Diésel
Zonal (promedio microbús, buseta, busetón y padrón)	1.357,13	Diésel
Intermunicipal (promedio microbús, buseta)	1.413,29	Diésel

Fuente: Secretaría de Ambiente (2018)²¹

Por otra parte, a partir de información del (Asian Development Bank, 2017), se obtienen los costos sociales de emisión para cada gramo de contaminante de CO₂ de la siguiente manera:

$$COP/g (2021) = USD/ton_{2016} \times \frac{Deflactor PIB Mundial_{2020}}{Deflactor PIB Mundial_{2016}} \times tasa de cambio COP/USD_{2020} \\ \times \text{Índice inflación } COP_{2020-2021} \times ton/1.000.000g$$

Tabla 49. Costo social de emisión para cada tipo de contaminante

	CO ₂
Costo social (COP/g, constantes 2021)	0,14

Fuente: (Asian Development Bank, 2017)²²

Ahora bien, para el caso del CO₂ como principal gas contaminante de efecto invernadero y, de acuerdo con el Banco de Desarrollo de Asia²³, al valorar las emisiones de GEI es importante aplicar al costo social global del carbono un incremento de un 2% anual en términos reales. Lo anterior, permite valorar el potencial de aumento del daño marginal del calentamiento global con el tiempo.

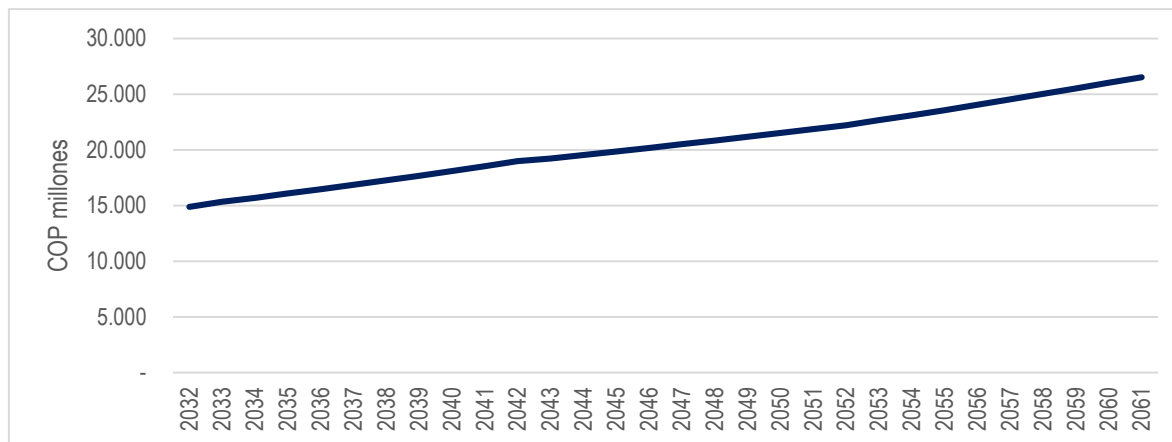
A partir de estos insumos es posible estimar el beneficio económico de las emisiones de gases contaminantes evitadas entre ambos escenarios.

²¹ Obtenido de la Tabla 3 de: https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Noticias/10-03-2020/inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf (Anexo 10)

²² Obtenido de la página 58: adb.org/sites/default/files/institutional-document/32256/economic-analysis-projects.pdf

²³ Obtenido de la página 58: adb.org/sites/default/files/institutional-document/32256/economic-analysis-projects.pdf

Gráfica 11. Beneficio por emisiones evitadas EcP – EsP



Al igual que en beneficios anteriores, se observa una tendencia creciente en el beneficio obtenido, ajustada a la tendencia que presenta el input base de ahorros en distancia recorrida. Se obtiene un beneficio económico promedio anual de COP 20.407 millones. A continuación, se presenta la suma total del beneficio para el periodo de evaluación.

Tabla 50. Total beneficio por emisiones evitadas EcP – EsP

	EcP – EsP
Total beneficio por emisiones evitadas (COP millones, valor presente)	78.930

10.6.2 Beneficio por reducción en afecciones a la salud

La contaminación del aire local genera efectos perjudiciales en la salud, específicamente el material particulado con un diámetro menor a 2,5 micrómetros (PM 2,5), que son partículas lo suficientemente pequeñas para entrar en el torrente sanguíneo y son generadas principalmente por combustión de combustibles fósiles.

A partir del inventario de emisiones de fuentes móviles y fuentes fijas industriales para Bogotá, publicado por la Secretaría de Ambiente en diciembre de 2019, se obtiene el factor de emisión de PM2,5 para cada tipo de vehículo.

Tabla 51. Factor de emisión de PM2,5 por tipo de vehículo

Emisiones (g/km)	PM2.5	Combustible
Carro (promedio categorías 1 a 4)	0,02	Gasolina
Moto (promedio todas las categorías)	0,07	Gasolina
Taxi	0,02	Gasolina
Camión pequeño (promedio vehículos <6.000 C.C.)	0,54	Diésel, Gasolina

Emisiones (g/km)	PM2.5	Combustible
Troncal (promedio articulados y biarticulados)	0,08	Diésel
Zonal (promedio microbús, buseta, busetón y padrón)	0,16	Diésel
Intermunicipal (promedio microbús, buseta)	0,20	Diésel

Fuente: Secretaría de Ambiente (2018)²⁴

En este sentido, a partir de la información con la que se cuenta de ahorros en distancias recorridas es posible calcular los efectos de estas emisiones en casos mortales o de enfermedades respiratorias.

Mortalidad

Para poder calcular el beneficio que se genera por reducción en la mortalidad al introducir un nuevo proyecto, se deben obtener en primer lugar los casos de muerte evitados debido a la reducción de emisiones que se da por la implementación del proyecto o proyectos. Para efectos de lo anterior, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$Tasa\ mortalidad\ emisiones = \frac{Número\ de\ casos\ atribuibles\ a\ emisiones\ (2019)}{Toneladas\ emitidas\ PM2.5\ (2019)}$$

$$Cevitados_i = Tasa\ mortalidad\ emisiones \times PMahorro$$

Donde:

$Cevitados_i$ corresponde al número de casos de muerte por emisiones evitados para el escenario

$PMahorro$ corresponde a la cantidad de emisiones de PM2.5 evitadas debido a la introducción de nuevos proyectos entre ambos escenarios, expresado en toneladas

Las emisiones de PM2.5 para las situaciones con y sin proyecto se obtienen a través de las distancias recorridas y factores de emisión para los diferentes vehículos. Para obtener los valores correspondientes a 2019, se realiza una extrapolación de los valores obtenidos para 2032, con base en las tasas de crecimiento de las distancias recorridas. Por otra parte, de acuerdo con el Observatorio de Salud Pública y Epidemiología José Félix Patiño, Universidad de los Andes, la mortalidad atribuible por emisiones en Bogotá para 2019 fue de 2.403 casos²⁵.

Luego de aplicar la fórmula de manera anual para obtener los casos para cada periodo, se debe estimar el valor estadístico de las vidas que corresponden a estos casos, de acuerdo con lo expuesto anteriormente en el cálculo del beneficio por reducción en la accidentalidad. Para este caso también se aplica la metodología establecida en el estudio realizado por (Viscusi & Masterman, 2017). A partir del estudio, el Valor estadístico de una vida (VSL) aplicable a Colombia es de USD 1,2 millones. Este valor ajustado a pesos constantes de 2021 corresponde a COP 4.893 millones.

²⁴ Obtenido de la Tabla 3 de: ambientebogota.gov.co/documents/10184/397082/Inventario+de+Emisiones+de+Bogota+portal+nuevo.pdf/972994eb-7f58-42c2-a801-0f8579937919

²⁵ Obtenido de <https://uniandes.edu.co/es/noticias/salud-y-medicina/como-enfrentar-la-alerta-por-calidad-del-aire>

Con estos inputs es posible cuantificar el beneficio obtenido por reducción en mortalidad para cada escenario.

Tabla 52. Resultados beneficio reducción mortalidad por emisiones EcP – EsP

	EcP – EsP
Muertes totales evitadas en el horizonte de evaluación	717
Valor total del beneficio (COP Millones, valor presente)	512.696

Morbilidad

Con respecto a los impactos en salud causados por emisiones de gases contaminantes, se conocen principalmente dos efectos: mortalidad y morbilidad. Se estima que los costos asociados a mortalidad representan aproximadamente el 79% de los costos asociados a impactos en la salud, mientras que los costos asociados a morbilidad representan el 21% restante²⁶. Con base en esta relación, es posible estimar los costos evitados por efectos en morbilidad, a partir del valor obtenido para mortalidad.

Tabla 53. Resultados beneficio reducción morbilidad por emisiones EcP – EsP

	EcP – EsP
Valor total del beneficio (COP millones, valor presente)	136.286

10.7 Costo por emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero

Con el objetivo de determinar el costo por emisiones generadas por la operación de la segunda Línea del Metro de Bogotá debido a la tracción eléctrica, es necesario tomar como base la cuantificación de las reducciones de gases efecto invernadero por medio de la metodología de factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Este factor de emisión del SIN es necesario para cuantificar las reducciones de gases de efecto invernadero para la determinación del potencial de mitigación de un proyecto de energías renovables, sustitución de combustibles, eficiencia energética, entre otros. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) estableció las metodologías, reglas y referencia para la estimación del cálculo del factor de emisión de la red.

Como resultado del trabajo conjunto entre el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y XM, el país cuenta con un valor unificado del factor de emisión de energía para inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Para el 2020 el factor de emisión de CO₂ por generación eléctrica del Sistema Interconectado de Colombia es de 203 gramos de CO₂ por kilovatio hora (KWh)²⁷.

²⁶ Según (World Bank Group, 2014). Ver tabla 9, página 17. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21096>

²⁷ Obtenido de la resolución 382 de 2021 de la UPME: https://www1.upme.gov.co/Normatividad/382_2021.pdf

Este costo consiste en la monetización de las emisiones de CO₂ producidas por el consumo de energía del sistema de tracción eléctrica de la L2MB. Para este caso se toma como valor base el consumo energético unitario de 19,60 kWh / tren*km que fue utilizado en los estudios del cálculo de OPEX por MOVIUS.

La fórmula de cálculo para este costo es la siguiente:

$$CEm_i = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^o FE_{ik} \times CE_i \times Km_{ik}$$

Donde:

CEm_i corresponde al costo total por emisiones emitidas producidas, para cada escenario i

FE_{ik} corresponde al factor de emisión de CO₂, en cada año k expresado en gramos de CO₂ por kilómetro recorrido

CE_i corresponde al costo estimado por gramo emitido de CO₂, expresado en pesos constantes de diciembre de 2021

Km_{ik} corresponde a la distancia recorrida expresada en kilómetros en cada año k , calculado para el escenario i

Para este caso de cálculo de generación de CO₂ se tiene en cuenta una media de kilómetros año de 2.887.110²⁸ y se considera el aumento del 2% anual del incremento del costo social del carbono según lo establece (Asian Development Bank, 2017) en la página 58.

A partir de estos insumos es posible estimar el costo económico de las emisiones de gases contaminantes producidas.

Tabla 54. Total costo por emisiones producidas por tracción L2MB EcP – EsP

	EcP – EsP
Total costo por emisiones producidas (COP millones, valor presente)	10.224

10.8 Beneficios por edificabilidad adicional por nuevos desarrollos bajo la modalidad de renovación urbana

La implementación, desarrollo y adopción de diversos proyectos urbanos y en particular proyectos de transporte, como lo es una línea de metro pesado, generan una variedad de beneficios o impactos en su área de influencia. Estos pueden observarse desde la perspectiva de grandes proyectos urbanos (GPU) bajo modelos de reurbanización (Smolka & Mullahy, 2010)²⁹, donde en el marco de una operación urbana entendida como un instrumento del orden legal (actuaciones

²⁸ Obtenido de estudios técnicos de MOVIUS

²⁹ Ver Anexo 20 - Perspectivas-urbanas Smolka, Mullahy.pdf

urbanísticas³⁰), se determinan una serie de intervenciones relacionadas con mejoras urbanísticas y de planificación municipal, que pueden articularse con el sector privado (Smolka & Mullahy, 2010). Lo anterior, donde se identifiquen sectores con potencial de atracción de inversión privada que redundan en un beneficio para la ciudad.

Bajo esta perspectiva, se identifican áreas particulares dentro de la ciudad donde, a partir de la aplicación de índices de ocupación, y/o construcción bajo las reglas de ordenamiento territorial contenidas en el Plan de Ordenamiento Territorial POT³¹ y en los instrumentos como fichas normativas que lo desarrollan, se permite o se promueve la generación de nuevos desarrollos que se ajustan a los modelos de planificación territorial.

Es pertinente señalar que en el marco de las competencias de la Secretaría Distrital de Planeación contenidas en el Decreto 16 de 2013 y bajo las acciones legales emprendidas contra el Decreto 555 de 2021³², se hizo un pronunciamiento tendiente a dar claridad a diversos operadores jurídicos de los impactos en torno a la suspensión provisional del citado decreto, en los siguientes términos³³:

El presente análisis inicia con lo dispuesto en el numeral 1 del artículo 91 de la Ley 1437 de 2011, el cual prevé:

³⁰ La Ley 388 de 1997 define las actuaciones urbanísticas en el siguiente sentido: *ARTÍCULO 36º.- Actuación urbanística. Son actuaciones urbanísticas la parcelación, urbanización y construcción de inmuebles. Cada una de estas actuaciones comprenden procedimientos de gestión y formas de ejecución con base en las decisiones administrativas contenidas en la acción urbanística, de acuerdo con los contenidos y criterios de prevalencia establecidos en los artículos 13, 15, 16 y 17 y demás disposiciones de la presente ley. Los actos administrativos de contenido particular y concreto en firme que autorizan las actuaciones urbanísticas consolidan situaciones jurídicas en cabeza de sus titulares y, los derechos y las obligaciones contenidos en ellas. La autoridad municipal o distrital competente deberá respetar los derechos y obligaciones que se derivan de tales actos. Son actos administrativos de contenido particular y concreto las licencias de parcelación, urbanización, construcción y demás establecidas por la normatividad nacional. Cuando por efectos de la regulación de las diferentes actuaciones urbanísticas los municipios, distritos y las áreas metropolitanas deban realizar acciones urbanísticas que generen mayor valor para los inmuebles, quedan autorizados a establecer la participación en plusvalía en los términos que se establecen en la presente ley. Igualmente, las normas urbanísticas establecerán específicamente los casos en que las actuaciones urbanísticas deberán ejecutarse mediante la utilización del reparto de cargas y beneficios tal como se determina en el artículo 38 de esta ley. En los programas, proyectos y obras que deban ejecutar las entidades públicas, como consecuencia de las actuaciones urbanísticas previstas en los planes de ordenamiento o en los instrumentos que los desarrollen, las entidades municipales y distritales competentes, sin perjuicio de su realización material por particulares, podrán crear entidades especiales de carácter público o mixto para la ejecución de tales actuaciones, de conformidad con las normas legales generales y con las especiales contenidas en la presente Ley y en la Ley 142 de 1994. Igualmente, las entidades municipales, distritales y las áreas metropolitanas podrán participar en la ejecución de proyectos de urbanización y programas de vivienda de interés social, mediante la celebración, entre otros, de contratos de fiducia con sujeción a las reglas generales y del derecho comercial.*

³¹ Para el caso particular de la ciudad de Bogotá Mediante el Decreto Distrital 555 de 2021, la Alcaldesa Mayor de Bogotá haciendo Gobierno con la Secretaría de Planeación Distrital, expidió la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., como mecanismo para actualizar y adecuar el modelo de ordenamiento del Distrito Capital a las necesidades actuales de la ciudad, considerando sus condiciones poblacionales, ambientales, económicas y jurídicas. Posteriormente, el Juzgado Quinto Administrativo Oral del Circuito Judicial de Bogotá, D.C. Sección Primera, decretó la suspensión provisional del Decreto Distrital 555 de 2021, mediante decisión proferida el 14 de junio de 2022 y notificada por estado el día siguiente El Auto que resolvió la medida cautelar dispuso lo siguiente: "(...) DECRETAR LA SUSPENSIÓN PROVISIONAL de los efectos del Decreto Distrital 555 de 2021 "por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.", proferido por la señora Alcaldesa Mayor de Bogotá D.C., con fundamento en las consideraciones expuestas en esta providencia, decisión que no implica prejuzgamiento". En aplicación del numeral 1 del artículo 91 de la Ley 1437 de 2011, de conformidad con nuestro ordenamiento jurídico, la suspensión provisional del acto administrativo afecta su eficacia, situación que conlleva la pérdida de su ejecutoriedad en tanto subsista dicha medida provisional. Lo anterior, significa que la suspensión impide la ejecución del acto administrativo, pero bajo la institución en comento no se desvirtúa su existencia. la suspensión provisional genera efectos hacia el futuro, no afecta la vigencia del acto, por lo cual este se mantiene en el ordenamiento jurídico, pero si afecta su eficacia, siendo imposible para la administración ejecutarlo o exigir su cumplimiento, hasta tanto se mantenga la suspensión. Así las cosas, es dable concluir que los efectos del Decreto Distrital 555 de 2021 se encuentran transitoriamente suspendidos por causa de la medida cautelar decretada. En cuanto al Decreto Distrital 190 de 2004, es preciso indicar que recobró su aplicabilidad, en virtud de la expedición de la medida cautelar de suspensión provisional del Decreto Distrital 555 de 2021, con ocasión de la figura jurídica de la reviviscencia de la norma derogada.

³² "Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C."

³³ Circular 0016 de 2022.

"ARTÍCULO 91. Pérdida de ejecutoriedad del acto administrativo. Salvo norma expresa en contrario, los actos administrativos en firme serán obligatorios mientras no hayan sido anulados por la Jurisdicción de lo Contencioso Administrativo. Perderán obligatoriedad y, por lo tanto, no podrán ser ejecutados en los siguientes casos:

1. Cuando sean suspendidos provisionalmente sus efectos por la Jurisdicción de lo Contencioso Administrativo". (Énfasis fuera de texto).

En este sentido, de conformidad con nuestro ordenamiento jurídico, la suspensión provisional del acto administrativo afecta su eficacia, situación que conlleva la pérdida de su ejecutoriedad en tanto subsista dicha medida provisional. Lo anterior, significa que la suspensión impide la ejecución del acto administrativo, pero bajo la institución en comento no se desvirtúa su existencia.

Como se puede observar, el acto administrativo existe en el ordenamiento jurídico, pero la administración pierde toda competencia para hacer exigible su cumplimiento, ya que la suspensión provisional, como lo ha reconocido el Consejo de Estado³⁴, busca la cesación de los efectos que pueden llegar a producirse.

En este orden, los efectos de la suspensión son hacia el futuro (ex nunc), mientras que los relacionados con la nulidad del acto administrativo son hacia el pasado, es decir desde la expedición del acto anulado (ex tunc). Esta posición ha sido reiterada por las diferentes secciones del Consejo de Estado³⁵ destacándose, entre otros, los siguientes pronunciamientos:

"Sección Primera. Expediente 306. Auto 8 de mayo de 1992. "(...) la Sala estima conducente una vez más hacer hincapié en que decretada la suspensión provisional la actora recobró su derecho al pago de los subsidios; y, es lógico que el no pago de los subsiguientes, no es una consecuencia de los actos acusados, ya que estos, al ser suspendidos, dejaron de producir hacia el futuro efectos nocivos".

Sección Primera Expediente 3566. Auto 19 de diciembre de 1995 "No es posible decretar la suspensión provisional de los efectos de un acto ya consumados (...), la figura excepcional de la suspensión provisional existe para evitar que los efectos de un acto ilegal se produzcan o se continúen produciendo, sin perjuicio de que los ya producidos desaparezcan jurídica y retroactivamente si en virtud de los efectos propios de la sentencia de nulidad, ésta es favorable a las pretensiones de la demanda".

Sección Segunda. Expediente 7894 del 20 de abril de 1993 "La figura de la suspensión provisional como su nombre lo indica, tiene por finalidad dejar sin efectos un acto administrativo, temporalmente, mientras, se decide en definitiva sobre su legalidad." Por tanto, cuando el acto ha cumplido todos sus efectos no es posible suspenderlo puesto que con la suspensión no se retrotrae la actuación cumplida, al momento de la expedición del acto; la suspensión opera hacia el futuro.

"Del texto mismo de la resolución acusada se desprende que la fecha de iniciación del concurso era el 21 de octubre de 1992 y la lista de elegibles, resultado de la correspondiente evaluación, debería publicarse el 10 de noviembre de 1992. "No pudiéndose suspender los efectos ya producidos por el acto acusado, es decir la realización del concurso en el que participaron quienes reunían los requisitos señalados en la convocatoria, carece totalmente de eficacia la suspensión provisional y no cumple en este caso la finalidad inherente a esta figura. Por esa razón no es posible acceder a esta petición".

Sección Quinta. Expediente 2605. Auto del 13 de agosto de 2001: "Suspendida una norma por decisión judicial en lo contencioso administrativo, no puede ser aplicada por la administración, ni exigir su cumplimiento. Desde el momento en

³⁴ Sala de Consulta y Servicio Civil afirmó lo contrario (rad. 11001-03-06-000-2006-00098-00)

³⁵ Ibidem

que queda en firme el auto que la decretó”.

Sección Tercera. Expediente 27997 Auto del 27 de enero de 2005: *“...la decisión de suspensión provisional no permite retrotraer situaciones al estado inicial, efectos que solo son propios de la sentencia anulatoria, de tal manera que si el acto en relación con el cual se pretende la suspensión de sus efectos, ya los produjo, la figura resulta improcedente, a menos que se trate de efectos prolongados en el tiempo, esto es, que se van dando de manera sucesiva. “El efecto del acto de adjudicación de un contrato, es uno solo: la suscripción del contrato. Después de celebrado el contrato, los efectos del acto de adjudicación se habrán agotado, y entonces mal puede decretarse la suspensión provisional, dado que esta figura solo permite atajar los efectos que no se han producido, para suspenderlos.”* (Subrayado fuera del texto original)

De acuerdo con lo explicado, puede concluirse que la suspensión provisional genera efectos hacia el futuro, no afecta la vigencia del acto, por lo cual este se mantiene en el ordenamiento jurídico, pero sí afecta su eficacia, siendo imposible para la administración ejecutarlo o exigir su cumplimiento, hasta tanto se mantenga la suspensión. Así las cosas, es dable concluir que los efectos del Decreto Distrital 555 de 2021 se encuentran transitoriamente suspendidos por causa de la medida cautelar decretada.

En cuanto al Decreto Distrital 190 de 2004, es preciso indicar que recobró su aplicabilidad, en virtud de la expedición de la medida cautelar de suspensión provisional del Decreto Distrital 555 de 2021, con ocasión de la figura jurídica de la reviviscencia de la norma derogada, que expone el Consejo de Estado en el siguiente sentido:

“Tales presupuestos tienen que ver con (i) la necesidad de establecer el peso específico que les asiste a los principios de justicia y seguridad jurídica en el caso concreto, esto es, las consecuencias que se derivarían de la reincorporación frente a los principios y valores constitucionales; y (ii) la garantía de la supremacía constitucional y los derechos fundamentales, lo que remite a la obligatoriedad de la reincorporación cuando el vacío normativo que se generaría sin ella involucraría la afectación o puesta en riesgo de los mismos. (...) Por lo tanto, en relación con esta exigencia, la reviviscencia de las normas derogadas sería procedente siempre que: (a) Las disposiciones derogadas que se restablecen no sean, a primera vista y en forma ostensible, contrarias a la Constitución; (b) la reincorporación de tales preceptos al ordenamiento jurídico se requiera para mantener la integridad y la armonía del sistema jurídico, especialmente en cuanto al efectivo desarrollo y aplicación de los principios y las normas constitucionales, y (c) la reviviscencia de esas normas no genere mayor inseguridad jurídica, sino que, por el contrario, permita suplir el vacío y, por lo tanto, la incertidumbre generada (...)” Negrilla y subraya fuera del texto original

Como conclusiones tras la suspensión del Decreto Distrital 555 de 2021 emitida por el Juzgado Quinto Administrativo Oral del Circuito Judicial de Bogotá, D.C. la Secretaría señala las siguientes:

- 1 *“La normativa urbanística aplicable en el Distrito Capital después de la suspensión provisional del Decreto Distrital 555 de 2021, esto es el 16 de junio de 2022, es el Decreto Distrital 190 de 2004 con sus respectivas reglamentaciones e instrumentos.*
- 2 *Respecto de los actos administrativos que fueron expedidos con fundamento en el Decreto Distrital 555 de 2021, corresponde distinguir dos tipos de actos que pueden generarse, así: (i) actos generales y (ii) actos particulares. Con relación a los primeros, esto es los actos administrativos de carácter general expedidos con fundamento en el Decreto Distrital 555 de 2021, se entienden igualmente suspendidos provisionalmente.*
 - *Respecto de los actos de carácter particular, que se encontraran en firme a la fecha de entrada en vigencia de la medida cautelar, se mantienen sus efectos y son ejecutables, cuyas situaciones particulares y concretas no se afectan por la suspensión provisional decretada sobre Decreto Distrital 555 de 2021.*
- 3 *A partir de la suspensión provisional de los efectos del Decreto Distrital 555 de 2021, las autorizaciones, solicitudes, trámites, permisos, derechos de petición, procedimientos policivos y en general los pronunciamientos a cargo de la Secretaría Distrital de Planeación, radicados antes del 16 de junio de 2022, deberán resolverse*

considerando los supuestos a los que se hace mención en los numerales anteriores y atendiendo la aplicación del Decreto Distrital 190 de 2004 y demás disposiciones que lo reglamentan.”

Adicionalmente, el Distrito mediante comunicación No.20222100688681 del 17 de junio de 2022 estableció, dentro de la justificación del proyecto de la L2MB lo siguiente: *“De acuerdo con los estudios por medio de los cuales se consolida la expansión del Metro, como un componente del Sistema de Transporte Público Integrado, se hace preciso como parte del desarrollo e implementación del mismo, tomar las acciones jurídicas necesarias para su consolidación haciendo uso de las herramientas del POT para establecer afectaciones en los términos del artículo 445 del POT 190, observando las directrices del Acuerdo Distrital 164 de 2005”*.³⁶

En este sentido, a partir de la mención a la situación jurídica de la suspensión del acto administrativo y la comunicación por parte del Distrito referente al compromiso de realizar las acciones jurídicas necesarias dentro plan de ordenamiento territorial de Bogotá, nos permite dar continuidad a los modelos de evaluación de costo beneficio en los términos que a continuación se plasman en el presente documento.

Por otra parte, se utiliza el modelo de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), teniendo en cuenta que en los últimos 20 años se ha venido desarrollando e implementando el modelo DOT en diferentes ciudades del mundo como una solución tanto urbana como de transporte. Este modelo ha sido implementado de forma exitosa, demostrando que *“las ciudades que son compactas y tienen una rica combinación de usos del suelo, como resultado del desarrollo orientado al transporte son altamente habitables.”* (Suzuki, Cervero, & Iuchi, 2013)³⁷. Por esta razón, se utiliza como criterio para la definición de áreas de influencia el modelo DOT que está basado en ocho principios que buscan tener una ciudad con mejor calidad de vida. Estos principios, que serán el eje conductor de la operación de renovación urbana, son: mezclar, compactar, cambiar, densificar, conectar, transporte público, caminar, pedalear.

Por lo anterior, según (Global Designing Cities Initiative, 2016), la definición del área de influencia urbana está basada en la proximidad y accesibilidad al sistema, entendido esto como el radio de acción que corresponde al área máxima que los usuarios están dispuestos a caminar para acceder al sistema, y que se debe cruzar con la isócrona de 10 minutos. (Isócrona es la distancia igual al tiempo recorrido.)

En el caso de Bogotá, las condiciones climáticas que presentan una temperatura promedio de 12 grados centígrados y sin altos picos térmicos, favorecen para que las distancias caminables sean mayores que en otras ciudades. Actualmente, un usuario promedio del transporte público en la ciudad camina en promedio 10 cuadras para acceder a la red de transporte público existente³⁸ y el sistema de transporte Transmilenio contempla un área de Influencia de 500mts en sus análisis de ejecución (Alcaldía Mayor de Bogotá, Subgerencia Técnica y de Servicios, 2016)³⁹. Teniendo en cuenta que la L2MB considera capacidades y velocidades superiores con elementos que promueven la intermodalidad como lo son los ciclo parqueaderos por estación, se considera un radio de 800 metros alrededor de cada una de las estaciones del proyecto siguiendo los lineamientos DOT y recomendaciones del *Global Street Design Guide*⁴⁰ - (Global Designing Cities Initiative, 2016) respecto a las áreas de influencia urbana según el medio de transporte.

³⁶ Atención comunicación No.20222100688681 del 17 de junio de 2022 del Ministerio de Transporte - Remisión documentación estudios de Factibilidad del Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá para el cumplimiento de los requisitos establecidos en el artículo 100 de la Ley 1955 de 2019 y la Resolución No. 20203040013685 de 2020 del Ministerio de Transporte (Anexo A). Corresponde al Anexo 24 - 20220621 Alcance 2 Carta remisoría productos Alcaldía a MT AT

³⁷ Ver Anexo 22 - Transformando Ciudades.pdf

³⁸ Según EMB: metrodebogota.gov.co/sites/default/files/El-metro-de-Bogota-y-el-espacio-publico.pdf.

³⁹ Ver Anexo 18 - Parámetros Operacionales TM.pdf

⁴⁰ Anexo 23 - global-street.design-guide.pdf

Otras de las aproximaciones que se puede tener es la del impacto generado por proyectos de transporte en los valores o precios del suelo. En este sentido, gran parte de los estudios indican que la introducción de servicios de tránsito conduce a un aumento del valor del suelo, (Debrezion, Pels, & Rietveld, 2007)⁴¹; (Higgins & Kanaroglou, 2016)⁴² y en el presente documento se analizará esa condición bajo variables de edificabilidad y no sobre el establecimiento de los precios hedónicos del suelo - (Lancaster, 1966)⁴³, (Rosen, 1974)⁴⁴.

En variedad de documentación se incluyen los beneficios capturados por el valor del suelo como algunos de los que deben ser tenidos en cuenta en este tipo de análisis. En algunos ejercicios, como lo es el caso del estudio de prefactibilidad realizado para la L2MB, se propone cuantificar el incremento de precios de valor del suelo en la zona de influencia alrededor del proyecto para capturar este beneficio.

A pesar de que existe bibliografía que soporta los incrementos de valor del suelo como consecuencia de la implementación de proyectos similares, también existe bibliografía que alerta sobre el peligro de cuantificar este beneficio junto con otros, ya que se incurre en la posibilidad de un doble conteo de beneficios.

Lo anterior se debe principalmente a que los incrementos de valor del suelo por si solos son una capitalización de beneficios como ahorros en tiempos de viaje y otros. Por otra parte, si un proyecto permite una densificación adicional en nuevos desarrollos sobre la tierra, este es un beneficio que se puede cuantificar sin entrar en el riesgo de doble conteo. Es importante cuantificar únicamente el beneficio traído por desarrollos adicionales impulsados por el proyecto, como el valor generado por el nuevo uso adicional de la tierra, menos costos de implementación (Government of New Zealand, 2019).

Para la cuantificación de este beneficio por desarrollos adicionales (índices de ocupación (IO) índices de construcción (IC)) se deben entonces identificar aquellas áreas que son sujetas de densificaciones adicionales, por influencia directa de la implementación del proyecto. Esto teniendo en cuenta lo indicado bajo las condiciones de GPU, que se concretan en la aplicación de tratamientos como el de renovación urbana como evidencia de la potestad reglamentaria en cabeza de la Alcaldía, y que se explicará bajo la modalidad de reactivación.

En el sentido indicado, para efectos de las reglamentaciones urbanísticas, es preciso señalar que *“de conformidad con los artículos 5 y 6 de la Ley 388 de 1997, el ordenamiento del territorio municipal o distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planeación física concertadas y coherentes, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas para disponer de instrumentos eficaces de orientación del desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y de regulación de la utilización, ocupación y transformación de su espacio físico. El ordenamiento territorial debe ser acorde con las estrategias de desarrollo económico del municipio y distrito y armónico con el mismo ambiente y sus tradiciones históricas y culturales. El ordenamiento del territorio tiene por objeto dar a la planeación económica y social su dimensión territorial, racionalizar la intervención sobre el territorio y propiciar su desarrollo y aprovechamiento sostenible. El ordenamiento del territorio tendrá en consideración las relaciones intermunicipales, Metropolitanas y regionales; las condiciones de diversidad étnica y cultural; así como la utilización óptima de los recursos naturales, económicos y humanos para el logro de una mejor calidad de vida.”*⁴⁵

Esta reglamentación de parte del ejecutivo, que para el caso concreto se consolida con la potestad de definir el ordenamiento del territorio en cabeza de la Alcaldía, incorpora una decisión específica en torno a la obligatoriedad de

⁴¹ Ver Anexo 21 - The Impact of Railway Stations On residential and commercial property value.pdf

⁴² Ver Anexo 17 - A latent class method for Classifying and Evaluating the Performance of Station Area.pdf

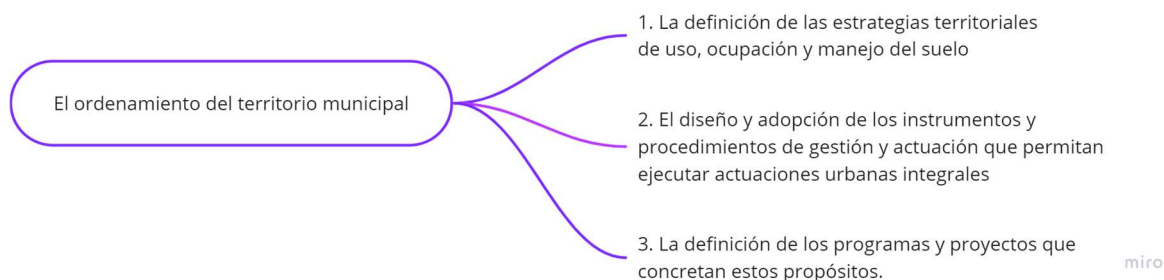
⁴³ Ver Anexo 15 - A new approach to consumer theory.pdf

⁴⁴ Ver Anexo 16 - Hedonic prices and implicit markets.pdf

⁴⁵ Decreto 879 de 1998 artículo 2. Norma compilada en el Decreto Único del Sector Vivienda Decreto 1077 de 2015.

desarrollar cualquier tipo de actuación urbanística en la ciudad exclusivamente bajo el amparo del Plan de Ordenamiento⁴⁶. Esta normativa indefectiblemente nos conduce al ámbito de las actuaciones urbanísticas en el desarrollo de los planes de ordenamiento territorial o en las herramientas que le desarrollan, como los planes parciales o fichas normativas. Es pertinente señalar que el contenido de las normas que regulen los procesos de renovación urbana está supeditado a las directrices propias del Plan de Ordenamiento Territorial⁴⁷, cuyo contenido básico como instrumento de planificación se indica a continuación:

Figura 2. Contenido básico planes de ordenamiento

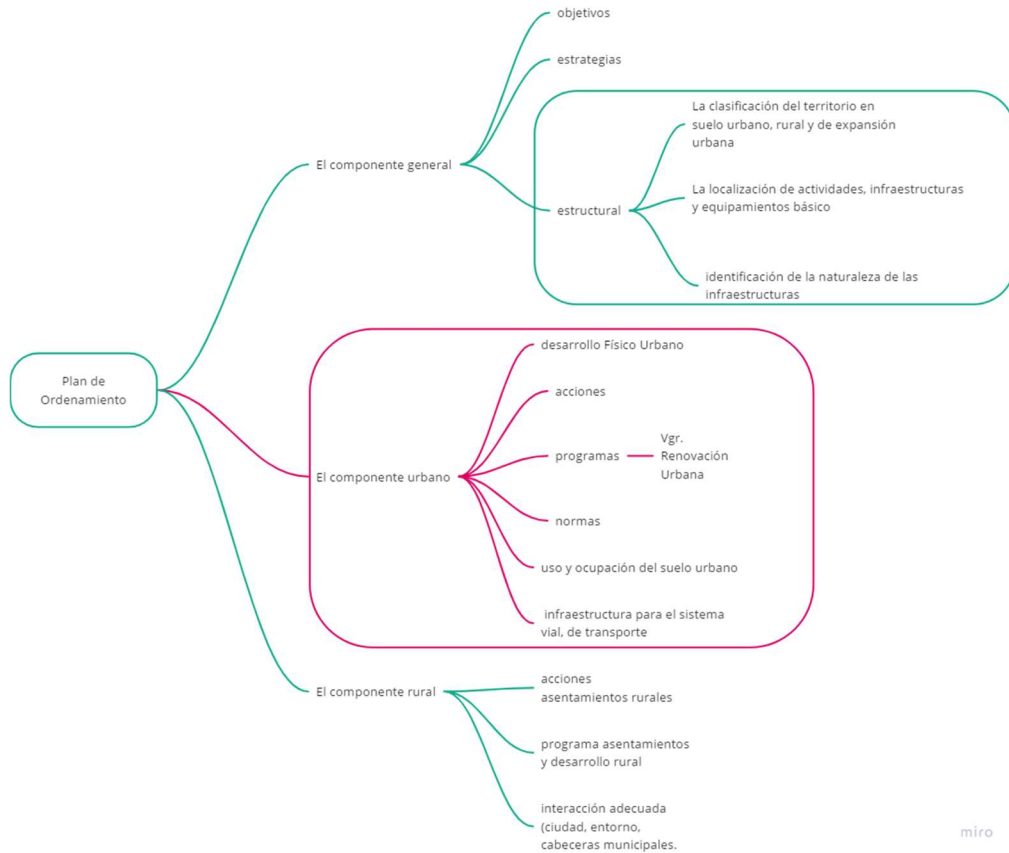


Fuente: Elaboración propia en razón de la Ley 388 de 1997 (artículos 2, 3, 5)

⁴⁶ Ibidem artículo 1º Ver compilación POT de Bogotá Decreto 190 de 2004 que opera en razón a la decisión de suspensión del Decreto Distrital 555 de 2021.

⁴⁷ Se debe aclarar que de acuerdo con las poblaciones y los municipios se han establecido escalas como lo son los Esquemas de Ordenamiento Territorial –EOT- Planes de Ordenamiento Territorial –POT- y Planes Básicos de Ordenamiento Territorial – PBOT-. De acuerdo con el Ministerio de Vivienda: "Uno de los condicionantes de la planeación en materia de planes, o esquemas es la población, en razón a que se debe garantizar la concordancia entre las propuestas del plan y la talla poblacional del municipio. Por ejemplo, se debe conocer cómo crece la población municipal (lenta, rápida o estable) a fin de definir zonas de expansión tanto para vivienda como para procesos industriales y de servicios y planificar la oferta de servicios ambientales, en especial de agua, para garantizar la vida de la población. Así mismo, es necesario conocer la distribución espacial de la población para determinar los usos del suelo y la localización adecuada de servicios e infraestructuras." Ley 388 de 1997 Artículo 9. Ver http://portalterritorial.gov.co/apc-aa-files/7515a587f637c2c66d45f01f9c4f315c/POB2_E_1.PDF.

Figura 3. Contenido básico planes de ordenamiento - componentes

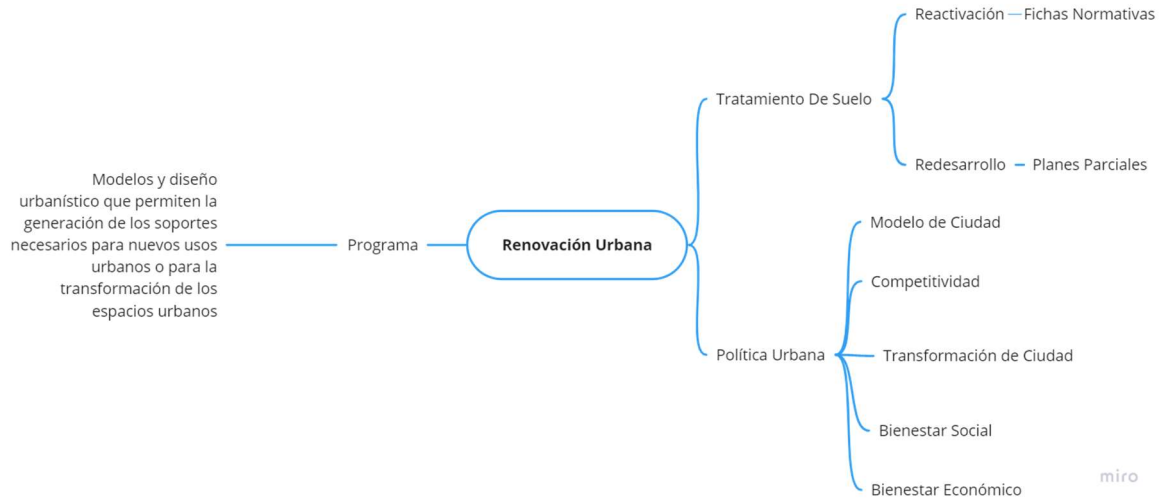


Fuente: Elaboración propia en razón de la Ley 388 de 1997 (artículos 9, 10, 11, 12, 13,14, 15)

Renovación Urbana en el marco del proyecto

La Renovación Urbana en Bogotá según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT, Decreto 190 de 2004) vigente tiene varias dimensiones que se pueden resumir de la siguiente manera:

Figura 4. Resumen dimensiones Renovación Urbana



Fuente: Elaboración propia en razón del Decreto Distrital 190 de 2004 (artículos 159,334, 360, 373, 374, 376, 426)

Como política pública, se entiende por planes de renovación urbana aquellos dirigidos a introducir modificaciones sustanciales al uso de la tierra y de las construcciones para detener los procesos de deterioro físico ambiental de los centros urbanos a fin de lograr, entre otros, el mejoramiento del nivel de vida de los moradores de las áreas de renovación, el aprovechamiento intensivo de la infraestructura establecida de servicios, la densificación racional de áreas para vivienda y servicios, la descongestión del tráfico urbano o la conveniente rehabilitación de los bienes históricos y culturales, todo con miras a una utilización más eficiente de los inmuebles urbanos y con mayor beneficio para la comunidad⁴⁸.

Si bien puede pensarse que el concepto de renovación urbana solo encuentra referencia en disposiciones actuales, es importante advertir que hay nociones y antecedentes históricos⁴⁹ en las que se hace mención y aplicación del concepto, el cual se viene utilizando en distintos instrumentos de ordenamiento territorial aplicables a Bogotá. (Acuerdo municipal 85 de 1959).

Es importante complementar lo anterior, en el sentido de referir otros desarrollos normativos que hacen referencia a la renovación urbana como aquellos contenidos en el artículo 2.2.1.1 del Decreto 1077 de 2015.

“Tratamiento de Renovación Urbana. Son las determinaciones del componente urbano del Plan de Ordenamiento Territorial, que están encaminadas a recuperar y/o transformar las áreas ya desarrolladas de las ciudades, entre otros

⁴⁸ Inciso 1º. Art. 39 de la Ley 9 de 1989

⁴⁹ Acuerdo Municipal 85 de 1959 que se refirió a los procesos de Renovación Urbana en los siguientes términos: *Los objetivos básicos de la Renovación Urbana es dar nueva vida al área central de la ciudad, estimulando actividades que permitan utilizarla más eficientemente a medida que ella crece. El Redesarrollo es un proceso de Renovación Urbana, aplicable en aquellas áreas cuyos edificios se encuentran en condiciones de deterioro; que este proceso debe operar en áreas de la ciudad específicamente determinadas. Comprende la adquisición y demolición de los edificios deteriorados; la utilización de los terrenos recuperados y de las áreas de uso público comprendidas, para el ensanche o apertura de vías, áreas verdes o estacionamientos para vehículos; el loteo de los terrenos restantes y su venta en pública subasta, y la construcción de nuevos edificios que sirvan propósitos que concuerden con los objetivos del Plan General de la Ciudad; que la reconstrucción es una empresa conjunta de interés público y privado, para la cual es necesario establecer los medios que promuevan y aseguren la mutua colaboración en los programas de planeamiento, financiación y construcción.*

finas, para, detener los procesos de deterioro físico y ambiental de los centros urbanos; promover el aprovechamiento intensivo de la infraestructura pública existente; impulsar la densificación racional de áreas para vivienda y otros usos, o garantizar la conveniente rehabilitación de los bienes históricos y culturales, todo con miras a una utilización más eficiente de los inmuebles urbanos y con mayor beneficio para la comunidad. Este tratamiento podrá desarrollarse mediante las modalidades de reactivación y redesarrollo.

Tratamiento de Renovación Urbana Modalidad de Reactivación. Corresponde a las zonas en las cuáles se promueve el cambio de las estructuras construidas al interior de los predios con el fin de promover la redensificación de los sectores en que se ubican conservando la estructura o trazado de los bienes de uso público y estimulando la generación de nuevos elementos arquitectónicos y naturales de los bienes de propiedad privada tales como antejardines, fachadas, aislamientos, retrocesos y demás. Bajo esta modalidad se pueden cambiar, mantener, complementar y/o modificar los usos existentes con el fin de apoyar la redefinición del carácter del sector. Para esta modalidad, el Plan de Ordenamiento Territorial debe contener normas urbanísticas que permitan el desarrollo individual de los predios mediante licencias de construcción sin que se requiera adelantar el trámite de plan parcial.

Tratamiento de Renovación Urbana Modalidad de Redesarrollo. Corresponde a las zonas en las que se requiere efectuar la sustitución de las estructuras urbanas y arquitectónicas mediante procesos de reurbanización que permitan generar nuevos espacios públicos y/o privados así como una nueva definición de la normatividad urbanística de usos y aprovechamientos. En esta modalidad, el Plan de Ordenamiento Territorial define las directrices generales y mediante los Planes Parciales se desarrollan y complementan las determinantes previstas en el Plan de Ordenamiento Territorial. En este tratamiento se permite adelantar las actuaciones de urbanización con el fin de urbanizar nuevamente los predios. El tratamiento urbanístico de renovación urbana en la modalidad de redesarrollo está dirigido a promover la transformación de zonas desarrolladas de la ciudad que se encuentran en deterioro físico y social y que por ello presentan condiciones de subutilización de la infraestructura existente.

La aplicación de este tratamiento implica la sustitución y/o reconstrucción total o parcial de las edificaciones existentes, recuperación y el manejo ambiental sostenible del sistema de espacio público, redes de infraestructura y manejo ambiental, en consonancia con las necesidades derivadas de las nuevas condiciones de densidad habitacional y usos del suelo y las características ambientales de la zona. Implica además la formulación de estrategias sociales que permitan atender a las demandas de los grupos sociales actualmente localizados en el área.”

Atendiendo la necesidad de articular las diversas condiciones normativas, con ocasión de la suspensión provisional del Decreto 555 de 2021, se incluye la definición normativa del artículo 304.

“Tratamiento de renovación urbana. Orienta y regula la transformación o recuperación de sectores de ciudad, con el fin de potenciar su ocupación, o detener y revertir los procesos de deterioro físico y ambiental, promover el aprovechamiento intensivo de la infraestructura pública existente, e impulsar la densificación racional de áreas para vivienda y otras actividades, promoviendo su uso eficiente y sostenible.

Este tratamiento se concreta en el presente Plan mediante la modalidad de revitalización, la cual promueve una mayor edificabilidad y la generación de nuevos elementos arquitectónicos y naturales de los bienes de propiedad privada, en sectores de ciudad en consideración a las condiciones de soporte urbanístico en términos de vías, servicios públicos y espacio público y a las condiciones de estrategias de localización respecto del modelo de ocupación del territorio. La modalidad de revitalización busca promover la permanencia de los moradores y unidades productivas en los sectores objeto de renovación urbana, previendo mecanismos e incentivos para integrarlos a los proyectos y que mantengan o mejoren sus condiciones originales de vivienda o espacios productivos en el nuevo proyecto. En esta modalidad se permite el desarrollo de uno o varios predios mediante la obtención de las respectivas licencias urbanísticas o través de Plan Parcial.”

En el mismo sentido, como lo precisa el Decreto 1077 de 2015, la renovación urbana se encuentra contenida en el componente urbano del plan de ordenamiento territorial, que comprende los siguientes contenidos generales:

- General Largo Plazo
 - Áreas de preservación y conservación ambiental, amenazas y riesgos, patrimonio urbanístico, arquitectónico y arqueológico, clasificación del suelo urbano, rural, entre otros.
- Urbano Mediano y corto plazo
 - Normas urbanísticas, tratamientos y actuaciones urbanísticas, ocupación, y usos del suelo, infraestructura vial y de servicios públicos, equipamientos, vivienda, instrumentos de gestión y financiación, entre otros.
- Rural Mediano y corto plazo
 - Áreas de preservación y conservación ambiental, amenazas y riesgo, ocupación y usos del suelo, infraestructura vial y de servicios públicos, equipamientos, vivienda entre otros.

Las clasificaciones indicadas respecto de la categoría de renovación urbana necesariamente implican el uso de un determinado modelo de gestión territorial. Modelo que pretende, transformar un determinado sector del territorio, haciendo uso de actuaciones urbanísticas, lo que se busca de acuerdo con (Escartín Escudé, 2009)⁵⁰ es la *“plasmación de un modelo territorial como idea estructurante del ámbito físico que se va a desarrollar a través de la planificación y este modelo territorial encontrara acomodo en distintos ámbitos.”*

Guardando concordancia con lo anterior, la Ley 9 de 1989 en su artículo 77º indica que los municipios, el Distrito Especial de Bogotá y la Intendencia de San Andrés y Providencia o sus entidades descentralizadas podrán asociarse con otras entidades públicas y con los particulares, por iniciativa de cualesquiera de éstos, para desarrollar áreas no desarrolladas previstas en el plan de desarrollo, mediante el sistema de reajuste de tierras, que consiste en englobar diversos lotes de terreno para luego subdividirlos en forma más adecuada y dotarlos de obras de infraestructura urbana básica, tales como vías, parques, redes de acueducto, energía eléctrica y teléfonos. También podrán adelantar proyectos de integración inmobiliaria en zonas, áreas e inmuebles clasificadas como de desarrollo, redesarrollo y renovación urbana, con el objeto de reunir o englobar distintos inmuebles para subdividirlos y desarrollarlos, construirlos, o renovarlos y enajenarlos. Es claro que el establecer una norma jurídica o un acto administrativo que ordene una transformación urbana, no deriva en cambio alguno en la estructura física de la ciudad, sin que medie un acto de intervención física en el territorio.

Para el caso particular el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá⁵¹ contempló una clasificación inicial del territorio que definía suelos con vocación de tratamiento de renovación urbana; no obstante, en términos normativos del Decreto 190 de 2004 existe la posibilidad incorporar nuevo suelo al tratamiento señalado, mediante la adopción de un decreto por parte de la Alcaldía según lo dispone el artículo 375 del POT en comento.

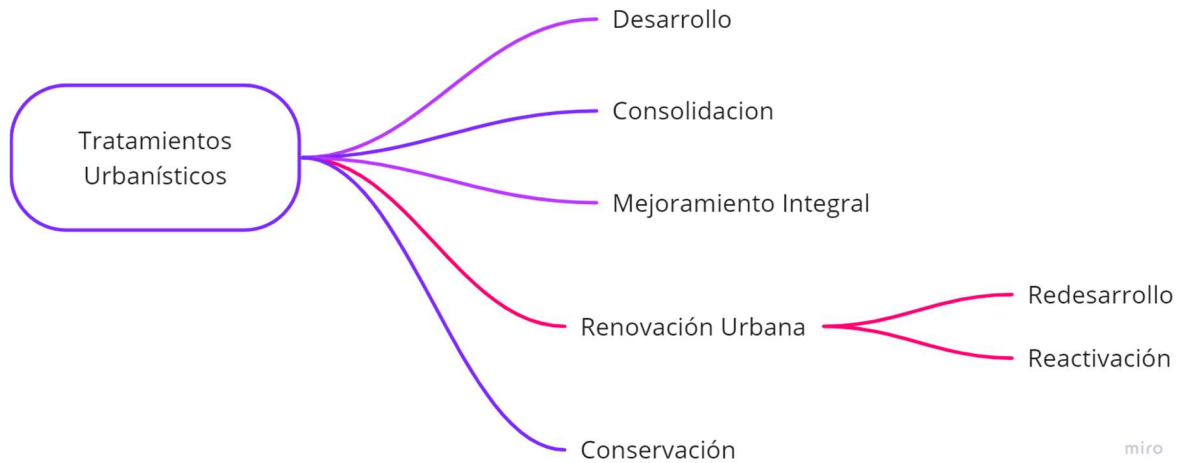
Es de anotar que la clasificación en diversos tratamientos del suelo encuentra su fundamento en las normas particulares de ordenamiento y en la reglamentación nacional como el Decreto 1077 de 2015 que al referirse en su artículo 2.2.1.1. a las definiciones, establece que los tratamientos urbanísticos son las determinaciones del plan de ordenamiento territorial,

⁵⁰ Anexo 19 - Periurbanismo estatal

⁵¹ El Decreto Distrital 190 de 2004, recobró su aplicabilidad, en virtud de la expedición de la medida cautelar de suspensión provisional del Decreto Distrital 555 de 2021, con ocasión de la figura jurídica de la reviviscencia de la norma derogada.

que, atendiendo las características físicas de cada zona considerada, establecen en función de las mismas las normas urbanísticas que definen un manejo diferenciado del territorio para los distintos sectores del suelo urbano y de expansión urbana. Son tratamientos urbanísticos el de desarrollo, renovación urbana, consolidación, conservación y mejoramiento integral.

Figura 5. Tratamientos urbanísticos según el POT

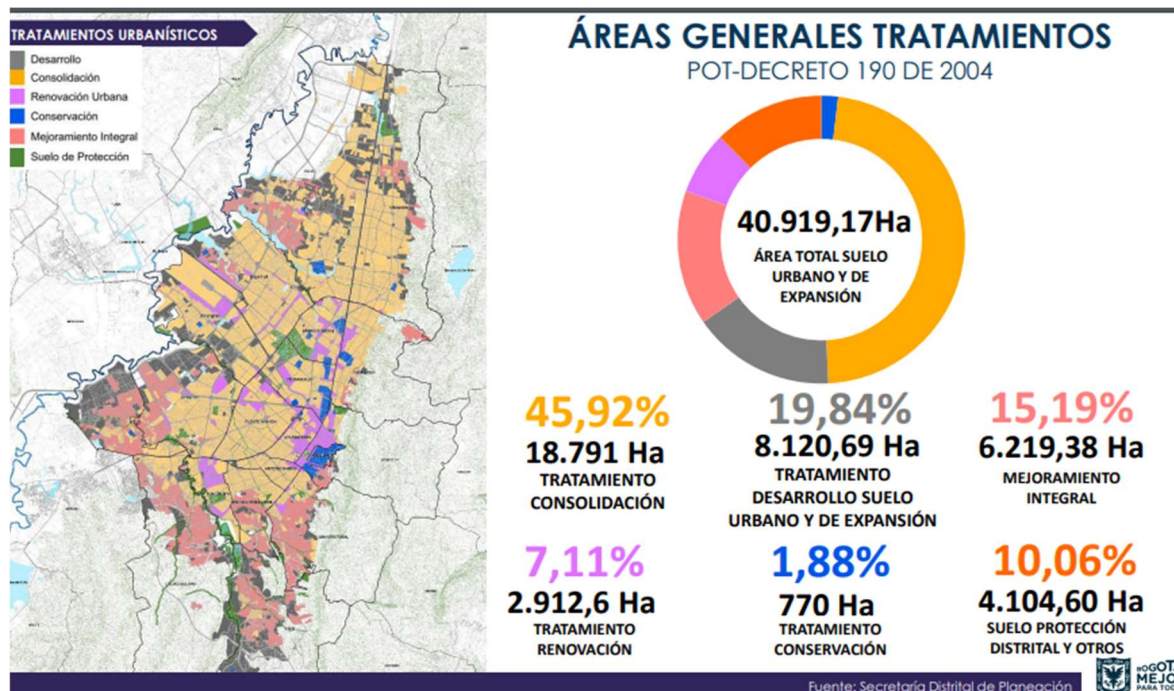


Fuente: Elaboración propia en razón del Decreto 1077 de 2015 artículo 2.2.1.1. Decreto Distrital 190 de 2004 (artículos 334, 374, 426)

Es el manejo diferenciado del territorio bajo el tratamiento urbanístico de renovación urbana, el que permite el planteamiento de diferentes transformaciones urbanas asociadas al desarrollo de la L2MB.

Clasificación del suelo por Tratamientos POT

Figura 6. Clasificación del suelo por tratamientos urbanísticos – Bogotá (a corte 2017)



Fuente: Secretaría Distrital de Planeación https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/presentacion-diagnostico_pot_2017.pdf

En la figura anterior, de acuerdo con datos de la Secretaría Distrital de Planeación⁵² (2017) se observa la configuración de las diferentes áreas para Bogotá.

En el sentido expuesto y de acuerdo con la clasificación del suelo se observa que un porcentaje del siete punto once 7,11% corresponde a suelos con tratamiento de renovación urbana⁵³. Este porcentaje se compone con suelos en modalidad de reactivación y redesarrollo.

Siendo varios de estos suelos desarrollados en los términos de los artículos 375 y 376 del Decreto 190 de 2004 que implicaron procesos de incorporación posterior al tratamiento mediante decisiones posteriores. Como ejemplos de procesos de incorporación encontramos el Decreto 621 de 2016⁵⁴, el Decreto 823 de 2019⁵⁵ entre otros.

Artículo 375. Zonas objeto de inclusión posterior en el Tratamiento de Renovación Urbana (artículo 364 del Decreto 619 de 2000, modificado por el artículo 244 del Decreto 469 de 2003). De conformidad con lo señalado en el numeral 2.7 del artículo 15 de la Ley 388 de 1997, se permitirá la incorporación posterior al tratamiento de renovación urbana de los sectores en los que se genere un impacto propicio, por efecto de las decisiones de

⁵² Ver Anexo 25 - Mapa Tratamientos Urbanísticos.pdf, Anexo 26 - Portafolio de mapas.pdf y Anexo 27 - Presentación diagnóstico_pot_2017.pdf

⁵³ Fuente https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/presentacion-diagnostico_pot_2017.pdf

⁵⁴ Por el cual se incorporan áreas al Tratamiento Urbanístico de Renovación Urbana sobre ejes de la Malla Vial Arterial con Sistema de Transporte Público Masivo Transmilenio, se adoptan las fichas normativas de los sectores incorporados y se dictan otras disposiciones

⁵⁵ Incorpora áreas al Tratamiento Urbanístico de Renovación Urbana sobre el corredor de la PLMB y adopta las fichas normativas para su desarrollo.

planeamiento, la construcción, transformación, eliminación o supresión de un elemento de los sistemas generales de la ciudad definidos por este Plan (malla vial arterial o infraestructura de los sistemas de transporte masivo, equipamientos, espacio público y otros), o en las zonas industriales con tendencia al cambio de uso. La inclusión de las zonas en el tratamiento de renovación urbana se hará mediante Decreto del Alcalde Mayor. Parágrafo. Las zonas industriales que se incluyan en el tratamiento de renovación urbana lo harán siempre en la modalidad de Redesarrollo.

Artículo 376. *Normas generales para el Tratamiento de Renovación Urbana (artículo 365 del Decreto 619 de 2000). El tratamiento de Renovación Urbana se tiene las siguientes normas generales: 1. (Modificado por el artículo 245 del Decreto 469 de 2003). Los usos a implantar en las zonas de renovación se definirán en los planes parciales o en las fichas normativas, de conformidad con las nuevas condiciones y con el potencial de desarrollo que permitan el reordenamiento de dichas zonas, debidamente sustentadas en los estudios específicos que soporten tal decisión. 2. Las normas urbanísticas generales serán desarrolladas a través de las fichas de lineamientos urbanísticos para Planes Parciales de Renovación. 3. Para la modalidad de Reactivación se elaborarán fichas normativas, las cuales definirán las condiciones en las cuales pueden desarrollarse los proyectos individuales. Estas fichas establecerán el tamaño mínimo de los predios, los índices máximos de construcción y ocupación y demás normas volumétricas. 4. Para la modalidad de Redesarrollo se debe elaborar un Plan Parcial, el cual reglamentará los sectores comprendidos por ella, mediante una norma específica. 5. (Modificado por el artículo 245 del Decreto 469 de 2003). La exigencia de estacionamientos en los proyectos de renovación urbana formará parte de la reglamentación urbanística del plan parcial o ficha normativa. Se permitirá en ambos casos, el pago compensatorio de estacionamientos a los fondos creados para tal fin y, previo estudio de cada caso, se podrá plantear la localización de estacionamientos en el área de influencia que defina las fichas normativas o los planes parciales. Parágrafo: Los sectores con tratamiento de renovación urbana se encuentran señalados en el plano denominado “Programa de Renovación Urbana”.*

Como ya se ha indicado, según la normatividad de ordenamiento territorial de la ciudad, la renovación urbana busca la transformación de zonas desarrolladas de la ciudad que tienen condiciones de subutilización de las estructuras físicas existentes, para aprovechar al máximo su potencial de desarrollo. Estas zonas se encuentran en una de las siguientes situaciones:

1. Deterioro ambiental, físico, o social; conflicto funcional interno o con el sector inmediato;
2. Potencial estratégico de desarrollo de conformidad con el modelo de ordenamiento territorial.

Para el desarrollo de los procesos de incorporación al tratamiento de renovación urbana, se precisa, como se ha señalado, de la modificación normativa de algunos instrumentos de planeamiento y la adopción de uno o varios decretos de incorporación.

En línea con lo expuesto, en el marco del decreto 190 de 2004 se determinan una serie de instrumentos de planeamiento urbanístico⁵⁷ como lo son las unidades de planeamiento zonal – UPZ- que como instrumentos de segundo nivel tienen alcances territoriales específicos, que ajustan de manera particular las condiciones de ordenamiento de los sectores que regulan.

En el caso particular del trazado de la segunda línea del metro de Bogotá se articula con once (11) unidades de planeamiento zonal UPZ, en concreto, estas son: Boyacá Real No. 30⁵⁸, Chico Lago No. 97⁵⁹, Doce de Octubre No. 22⁶⁰,

⁵⁷ Cf. Artículos 43, 44, 49, decreto 190 de 2004.

⁵⁸ Decreto 070 de 2012 por medio del cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 30, BOYACA REAL, ubicada en la localidad de Engativá, y se expiden las fichas de los sectores delimitados en el presente decreto.

⁵⁹ Decreto 059 de 2007 por el cual se actualiza a la normatividad vigente la reglamentación de las Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ) No.88 y 97, El Refugio y Chicó Lago, ubicadas en la Localidad de Chapinero, adoptadas mediante el Decreto 075 del 20 de marzo de 2003.

⁶⁰ Decreto 287 de 2005 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 22, DOCE DE OCTUBRE, ubicada en la localidad de Barrios Unidos.

El Rincon No. 28⁶¹, La Floresta No. 25⁶², Las Ferias No. 26⁶³, Los Alcázares No. 98⁶⁴, Minuto de Dios No.29⁶⁵, Niza No. 24⁶⁶, Suba No. 27⁶⁷, Tibabuyes No. 71⁶⁸.

Estas unidades de análisis, planeamiento y gestión buscan plantear la estructura urbana, orientar las dinámicas zonales y las relaciones económicas sectoriales. Tienen entre otros fines mejorar las condiciones de vida de la población y definen en particular los siguientes aspectos: “1. *Los lineamientos de estructura urbana básica de cada unidad, que permitan articular la norma urbanística con el planeamiento zonal*, 2. *La regulación de la intensidad y mezcla de usos*, 3. *Las condiciones de edificabilidad*, 4. *Lineamientos sobre el manejo de ruido acorde con la política ambiental (...)*”⁶⁹.

La construcción de la propuesta de áreas de oportunidad para edificabilidad adicional busca consolidar mayores y mejores aprovechamientos en términos de índices de construcción, ocupación, usos y reparto equitativo de cargas y beneficios, que se concreta en los siguientes territorios como se muestra en el siguiente plano.

Figura 8. Unidades de Planeamiento Zonal – UPZ - y trazado del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá SLMB

⁶¹ Decreto 399 de 2004 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 28, EL RINCÓN, ubicada en la Localidad de SUBA.

⁶² Decretos 125 y 198 de 2002 por los cuales se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 25, LA FLORESTA, ubicada en la localidad de SUBA, y se expiden las fichas reglamentarias de los sectores delimitados en este decreto.

⁶³ Decreto Distrital 438 de 2005 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 26, LAS FERIAS, ubicada en la localidad de Engativá.

⁶⁴ Decreto Distrital 262 de 2010 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 98, LOS ALCÁZARES, ubicada en la Localidad de Barrios Unidos

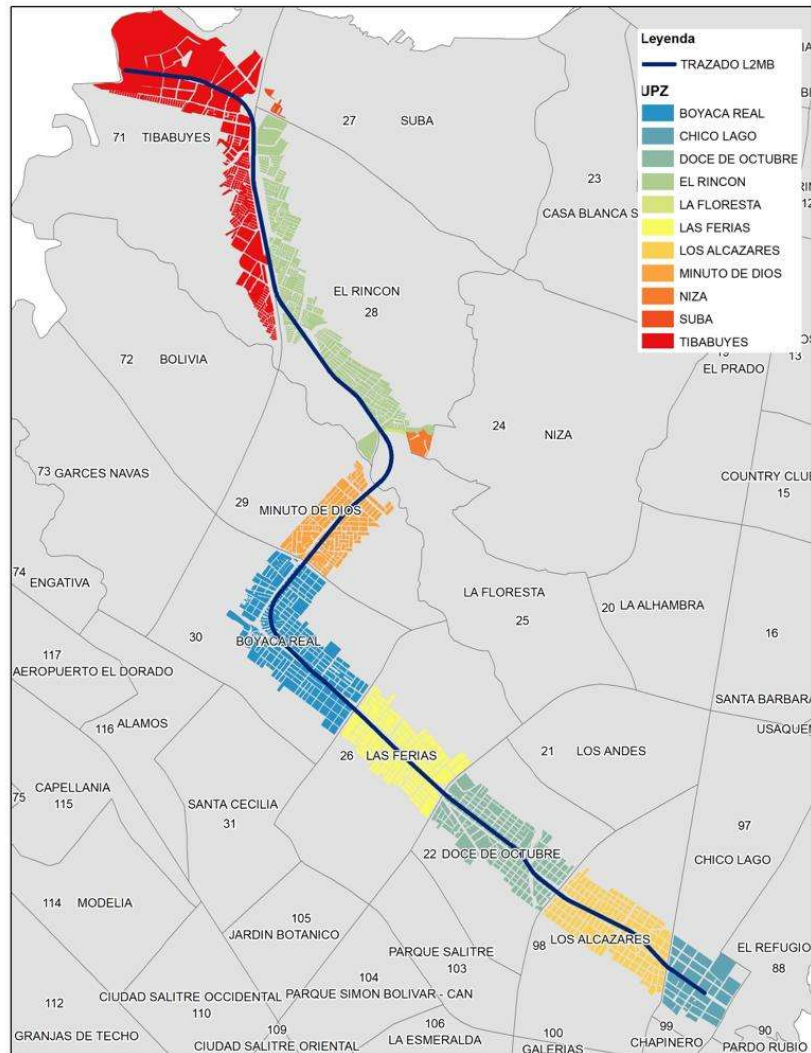
⁶⁵ Decreto Distrital 348 de 2002 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 29, EL MINUTO DE DIOS, ubicada en la localidad de Engativá, y se expiden las fichas reglamentarias de los sectores delimitados en el presente decreto.

⁶⁶ Decreto Distrital 175 de 2006 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 24, NIZA, ubicada en la localidad de Suba.

⁶⁷ Decreto Distrital 615 de 2006 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 27, SUBA, ubicada en la localidad de Suba.

⁶⁸ Decreto 430 de 2004 por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 71, TIBABUYES, ubicada en la Localidad de Suba.

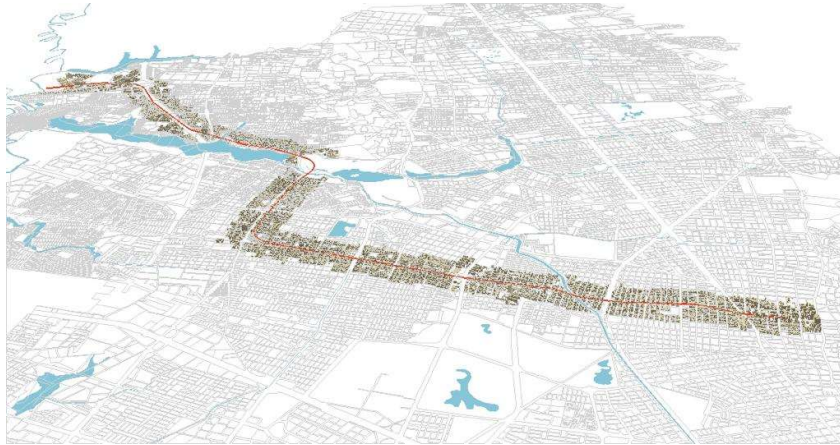
⁶⁹ Artículo 49 Decreto 190 de 2004.



Fuente: elaboración propia: Cobertura del trazado del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá y delimitación de UPZ Decreto 190 de 2004 y Decretos de adopción de UPZ.

El impacto territorial y la generación de condiciones de transformación urbana en función de edificabilidad, usos y reparto de cargas y beneficios parte de un análisis de la estructura urbana, tal y como se ha señalado en lo precedente y como se ilustra a continuación:

Figura 9. Unidades de Planeamiento Zonal – UPZ - trazado proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá y alturas en el corredor.



Fuente: elaboración propia: Cobertura del trazado del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá, delimitación de UPZ Decreto 190 de 2004 y Decretos de adopción de UPZ y cobertura de construcciones.

Figura 10. Unidades de Planeamiento Zonal – UPZ - trazado del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá y alturas en el corredor sección.

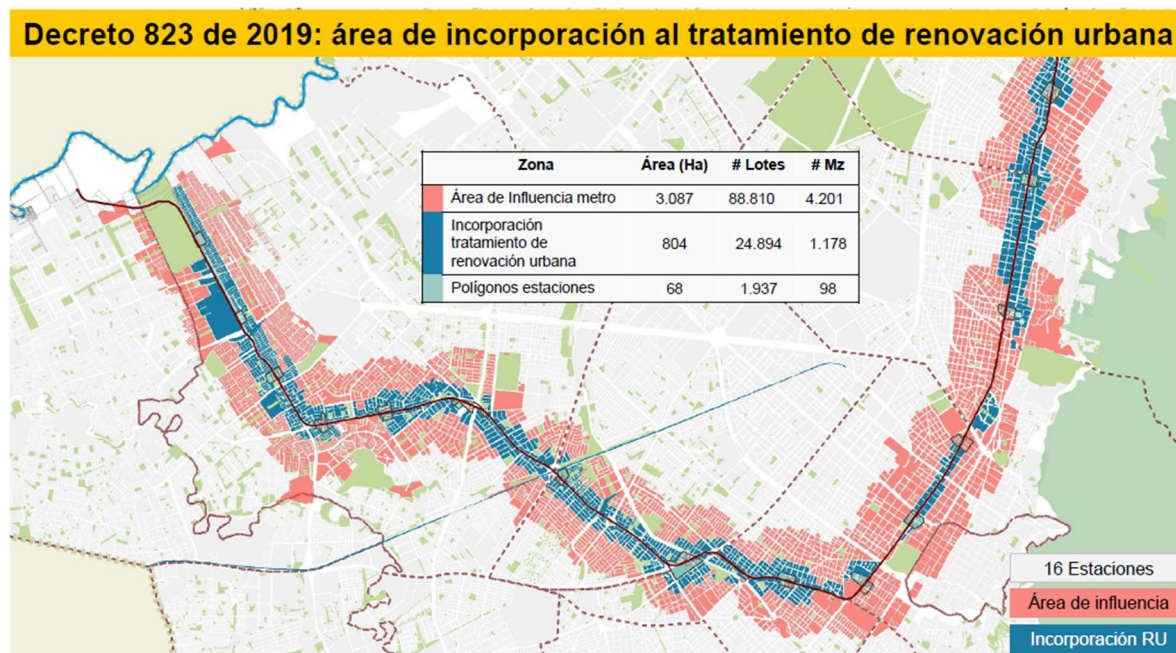


Fuente: elaboración propia: Cobertura del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá, delimitación de UPZ Decreto 190 de 2004 y Decretos de adopción de UPZ y cobertura de construcciones.

Este punto inicial, permite consolidar un modelo con condiciones de índices de edificabilidad base, tal y como se ha indicado.

Como ejemplo de la aplicación de estas posibilidades normativas y las modificaciones que se dan para las unidades de planeamiento zonal, se puede citar el Decreto 823 de 2019, que incorpora al tratamiento de renovación urbana varios polígonos en el ámbito de influencia del trazado de la PLMB, dada su importancia estratégica para el desarrollo.

Figura 11. Áreas de incorporación al tratamiento de renovación urbana.



Fuente: Empresa Metro de Bogotá a partir de planos decreto 823 de 2019.

Desarrollos adicionales en zona de influencia del proyecto

Los desarrollos adicionales en la zona de influencia son evaluados en el marco del tratamiento de renovación urbana que define el Decreto 190 de 2004, en sus artículos 159, 334, 360, 373, 374, 376, 426.

Índice de construcción máximo

Es el número máximo de veces que la superficie de un lote puede convertirse por definición normativa en área construida, y se expresa por el cociente que resulta de dividir el área permitida de construcción por el área del lote. Se calcula sobre área bruta. A partir de este índice se define el total de área desarrollable sobre cada lote.

Según las diferentes normatividades de ordenamiento territorial de la ciudad⁷⁰, los I.C. pueden variar entre 3.0 y 5.0 y para el presente ejercicio se asume un Índice de Construcción igual a 4,0. Lo anterior, teniendo en cuenta que es posible que el efecto del proyecto se materialice en desarrollos constructivos por parte de empresas privadas principalmente y por el hecho que también son decisiones de movilidad. Estos índices se pueden definir bajo condiciones de reactivación.

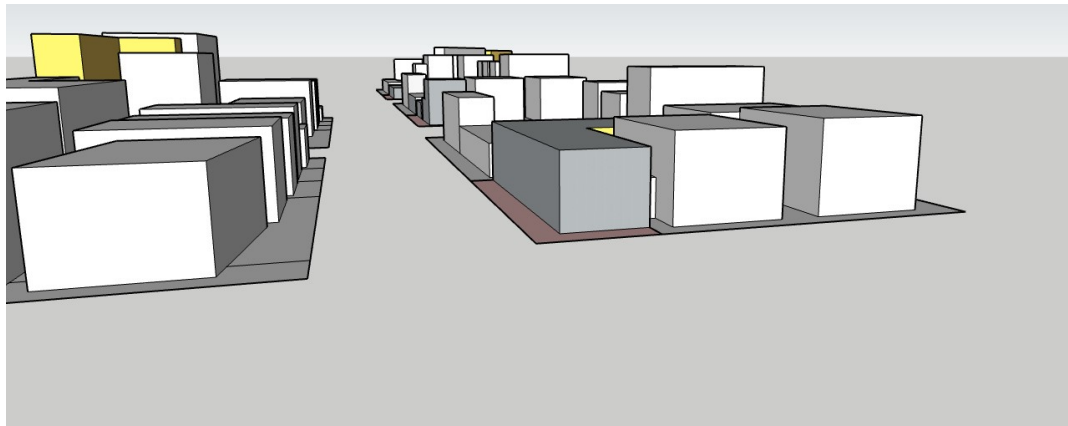
También es importante aclarar que el IC de 4,0 propuesto para este desarrollo, con base en el periodo de evaluación del ejercicio que se expondrá a continuación, se encuentra alineado con las tendencias de metros nuevos que se aportan en la ciudad según el estudio de la Universidad de los Andes, en el que se concluye que en promedio se podrían llegar ase

⁷⁰ Artículo 371 decreto 190 de 2004. Artículo 304 decreto 555 de 2021

construir 600m²/ha cada año en las área de influencia de las estaciones de metro, basado en los crecimiento anteriores de la edificabilidad de esas zonas y en un aumento de este debido a la incidencia de un proyecto de transporte masivo de alto impacto como la L2MB.

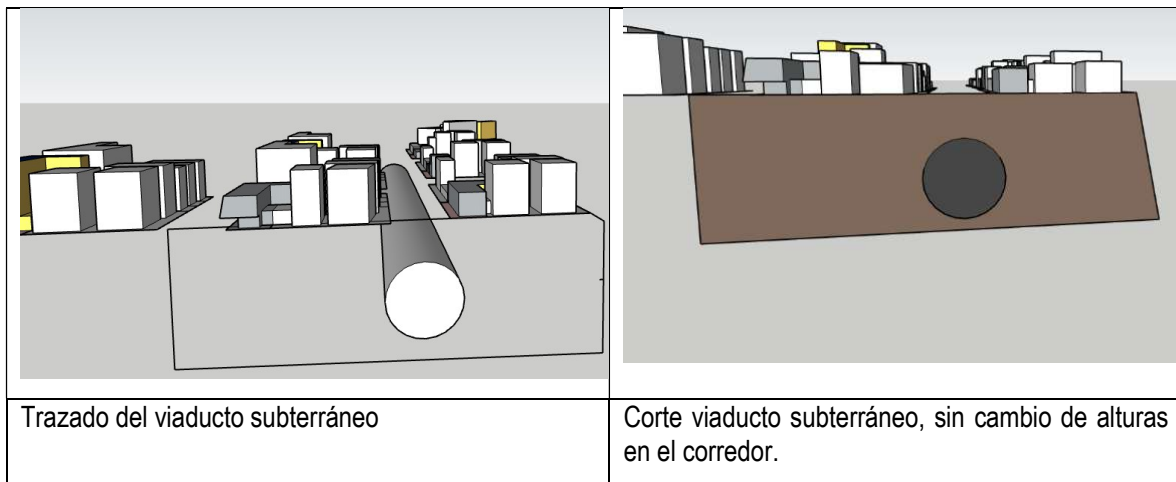
Tomando como punto de partida la edificabilidad base, se pueden establecer condiciones de edificabilidad adicional, fundadas en el marco del reparto equitativo de cargas y beneficios accediendo a edificabilidad adicional bajo la asignación de cargas. En este sentido, podemos ilustrar los cambios normativos propuestos de la siguiente manera:

Figura 12. Modelo ciudad actual alturas, trazado.



Fuente: elaboración propia: modelo de ciudad actual alturas.

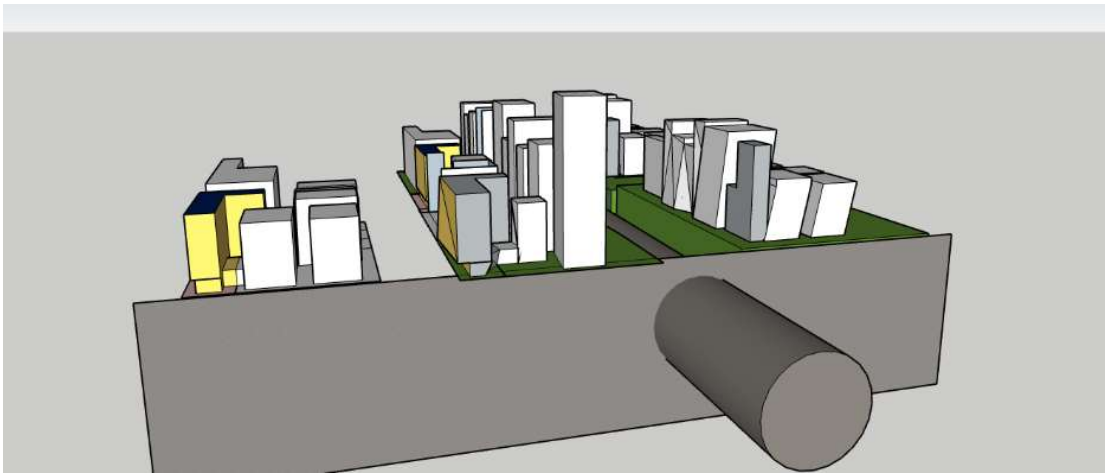
Figura 13. Modelo ciudad actual alturas, con el viaducto del proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá



Fuente: elaboración propia: modelo de ciudad actual alturas.

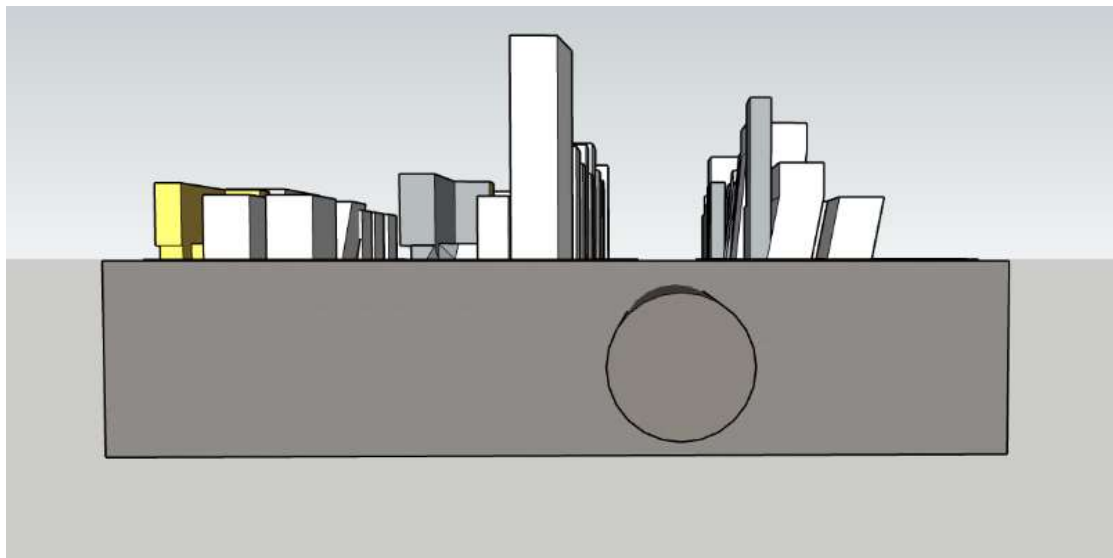
El trazado subterráneo sin cambio de patrón de altura mantendría el perfil actual de la ciudad, sin aumentos significativos en las condiciones de crecimiento de metros cuadrados construidos.

Figura 14. Modelo de ciudad con aumento de edificabilidad en el corredor. Generación de espacio público.



Fuente: elaboración propia: modelo de ciudad con alturas asociadas al corredor.

Figura 15. Modelo de ciudad con aumento de edificabilidad en el corredor.

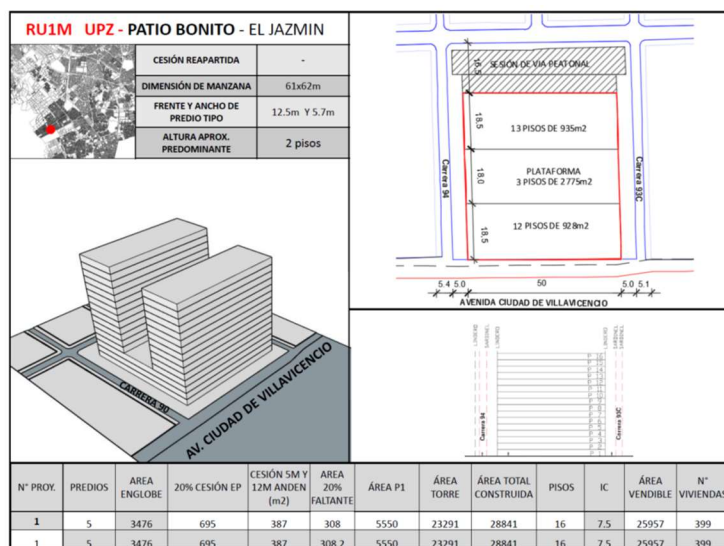


Fuente: elaboración propia: modelo de ciudad con alturas asociadas al corredor.

El cambio de patrón en la ciudad en las Unidades de Planeamiento Zonal incorporadas al tratamiento de renovación bajo la modalidad de reactivación generaría un aumento significativo y paulatino de los metros cuadrados construidos en los periodos estimados previamente.

Como ejemplo adicional de los posibles desarrollos de los índices propuestos se puede incluir la siguiente modelación que hace parte del documento técnico de soporte del Decreto 823 de 2019.

Figura 16. Ejemplo modelación índices de construcción



Fuente: Tramo 1 – Modelación 2 del Documento técnico de soporte Decreto 823 de 2019 Secretaría Distrital de Planeación SDP

Índice de construcción base

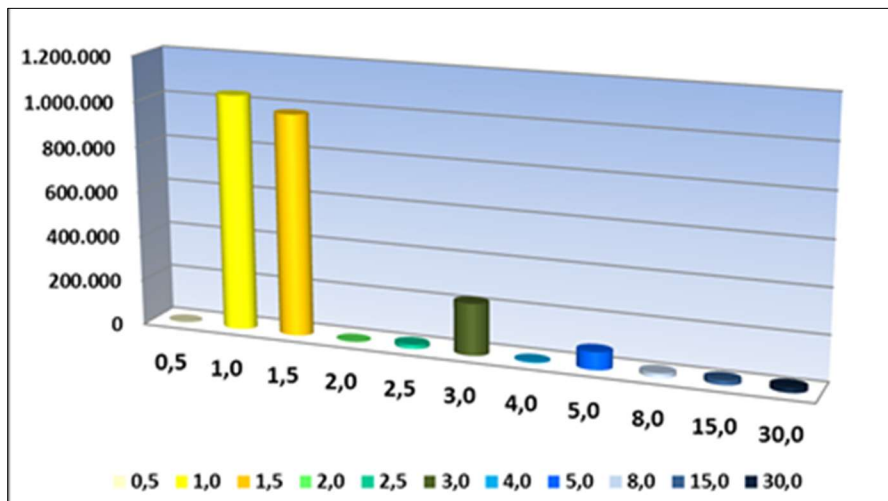
Es el número máximo de veces que la superficie de un terreno puede convertirse por definición normativa en área construida, y se expresa por el cociente que resulta de dividir el área permitida de construcción por el área total de un predio. Se define en condiciones que faciliten y motiven el desarrollo de edificabilidades adicionales para índices, considerando el indicador base, y sin motivar el desarrollo predio a predio.

Con el objetivo de definir el índice de construcción base, se parte de la tendencia observada a nivel ciudad para Bogotá. Se toma como referencia el estudio elaborado por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital *Identificar Áreas de Influencia y Potencial de Edificabilidad para las Zonas Aledañas a las Futuras Estaciones Metro que se encuentran dentro del Tratamiento de Renovación Urbana, establecido en el Decreto 562 de 2014*⁷¹, en el cual se establece que más del 90% del área de lotes en Bogotá presentaba, a corte de la fecha del estudio, índices de construcción entre 1,0 y 1,5, como se muestra en la figura siguiente. En este sentido, un índice promedio dentro de este rango, de 1,3, es el índice que se toma en cuenta como la base o situación sin proyecto para el presente ejercicio, dado que este se encuentra en el

⁷¹ Ver Anexo 14, página 46

rango observado de este estudio que cubría varias zonas con potencial de renovación en la ciudad, y a qué estos índices agregados no presentan cambios significativos en periodos cortos de tiempo.

Figura 17. Índice de construcción promedio a nivel Bogotá



Fuente: *Identificar Áreas de Influencia y Potencial de Edificabilidad para las Zonas Aledañas a las Futuras Estaciones Metro que se encuentran dentro del Tratamiento de Renovación Urbana, establecido en el Decreto 562 de 2014. Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, 2015*⁷².

Periodo de evaluación

Así mismo, se asume el supuesto de que el beneficio que se obtendría por estos desarrollos adicionales, bajo las modalidades anotadas, no se materializaría de manera inmediata luego de la introducción del proyecto, por la dinámica natural de este tipo de desarrollos constructivos y la influencia no inmediata del proyecto. Dicho esto, se asume que el beneficio se materializa en un periodo de veinticinco (25) años.

Este periodo de evaluación se basa en la tendencia de la ciudad de Bogotá en desarrollo metros cuadrados nuevos de construcción por año. De acuerdo con los cálculos de la Universidad de los Andes⁷³, la ciudad podría desarrollar unos índices de crecimiento anual de en promedio 587m²/ha. Las áreas de oportunidad para el proyecto son 14.623.355 m² (área de oportunidad x I.C = 2,7) para desarrollar en 1.140 hectáreas. Esto significa que el proyecto requiere del plazo establecido para no sobrepasar los índices de crecimiento anual que tiene la ciudad, que para este caso son 585 m²/ha cada año.

Definición de áreas de oportunidad para el desarrollo de densificación adicional

Con base en las áreas delimitadas por EMB para potenciales desarrollos de renovación urbana, se identifican las manzanas alrededor de las estaciones de la L2MB sujetas a construcción adicional. Posteriormente, sobre cada manzana se identifican las áreas de oportunidad para desarrollo efectivo, con base en lo efectivamente aprovechable. Tal y como

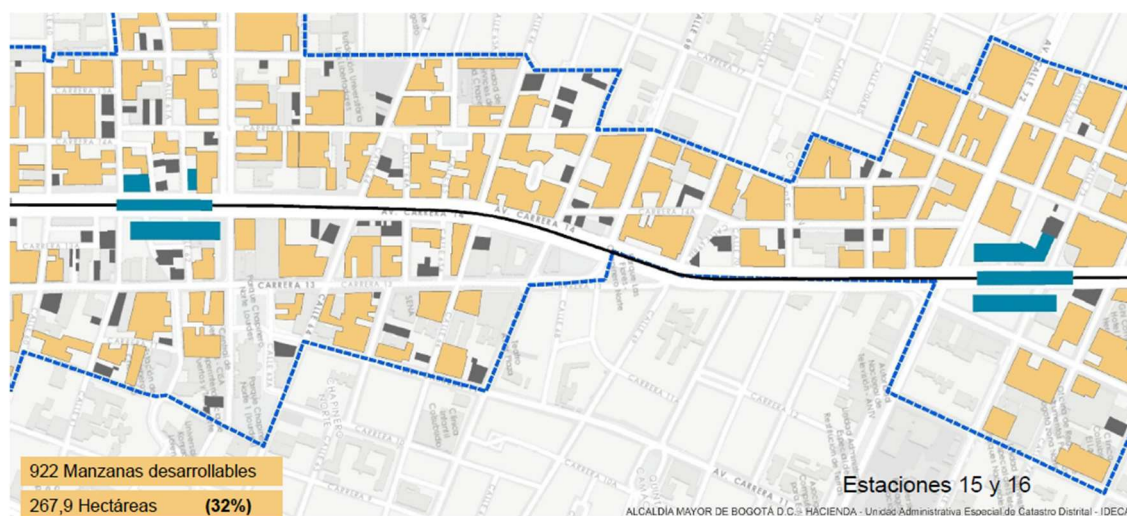
⁷² Ver Anexo 14, página 46

⁷³ Obtenido de la página 78 de Anexo 12 - Diagnóstico y propuesta estaciones tramo sur. Uniandes 2015

se encuentra reseñado en el documento técnico de soporte del Decreto 823 de 2019, “la incorporación de nuevas áreas de renovación urbana en la ciudad se plantea como una de las herramientas que otorga la ley para generar nuevos escenarios para el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida en diversas áreas de la ciudad ya construida. Y este concepto de renovación no obedece solamente a la atención de zonas urbanas existentes con deterioro urbanístico y/o social visible, sino también a aquellas que poseen un especial potencial urbano, o que lo adquieren en virtud de los desarrollos de proyectos de infraestructura, derivados de la misma estrategia de ordenamiento”.

Este proceso encuentra un comparativo en los desarrollos plasmados en el marco del Decreto 823 de 2019, tal y como se muestra a continuación:

Figura 18. Ejemplo desarrollos Decreto 823 de 2019



Fuente: Documento técnico de soporte Decreto 823 de 2019 Secretaría Distrital de Planeación SDP

Ahora bien, el análisis se realiza tomando como base la edificabilidad existente, la presencia de parques, localización de elementos de la estructura ecológica principal, elementos de carácter patrimonial y equipamientos urbanos presentes en cada una de las manzanas del Área de Influencia Urbana del proyecto, para así identificar las potenciales áreas de oportunidad para procesos de renovación y reactivación urbana. En este sentido, las consideraciones aplicadas para la definición de las áreas se encuentran enmarcada dentro de los tratamientos urbanísticos como consolidación y renovación urbana establecidos en la cartografía de la ciudad. El ejercicio para identificar posibles áreas de oportunidad se abordará a nivel de identificación de manzanas mas no de identificación predial específico.

Adicionalmente, es importante mencionar que se localizan los bienes patrimoniales en el análisis del proyecto y como criterio se sustraen las áreas con predios de interés cultural. Lo que limita cualquier desarrollo que a futuro se puede realizar en:

- Áreas de influencia de BICs
- Sectores de interés cultural,
- Planes Especiales de Manejo y Protección (PEMP) que puedan generarse
- Áreas de influencia de BIC's. estas áreas deberán contar con aprobación de IDPC por lo que eventualmente pueden ser sujetas de desarrollo inmobiliario. Sin embargo, no se tienen en cuenta para este análisis.

Con respecto al tramo subterráneo del proyecto, se establece un área de seguridad de 15 m a cada lado del trazado del proyecto en este tramo que se excluye como área aprovechable con el fin evitar desarrollos inmobiliarios adicionales que puedan implicar cimentaciones profundas en el área de influencia del túnel proyectado. Adicionalmente, de acuerdo con la reglamentación asociada al decreto del anuncio del proyecto, se establecerán las condiciones de restricción en superficie sobre el trazado de la obra subterránea.

una vez tenidas estas variables definidas, el proceso para definir las áreas de oportunidad de este beneficio se realiza a partir de los geoprocementos sobre los sistemas de información geográfica (SIG), en los cuales se localizan los elementos que deberán ser de carácter permanente para la ciudad con base en los siguientes criterios:

- I) Importancia histórica de los elementos como monumentos, predios con declaratoria de interés cultural y PEMP.
- II) Costo de las obras existentes por la edificabilidad actual, a partir de 4 pisos no se proyectan predios como áreas de oportunidad para la renovación urbana teniendo en cuenta que por temas técnicos las edificaciones con este número de pisos y superiores a los indicados tienen mayores exigencias a nivel de cimentación y elementos estructurales, así como mayor presencia de unidades prediales y por tanto dificultad en el proceso de negociación e impacto social.
- III) Impacto social en áreas de propiedad horizontal que dificultan procesos de negociación para llevar a cabo proyectos.
- IV) Presencia de equipamientos urbanos que deberán ser conservados, sin importar escala y estado teniendo en cuenta el impacto social y cultural que genera sobre las comunidades y la propensión por la conservación de elementos de carácter público como eje identitario del territorio sin necesidad de afectar el uso directo o indirecto del equipamiento.
- V) Presencia de espacio público de interés general se deberá conservar, los bienes de uso público son inalienables, imprescriptibles e inembargables el cual no puede ser desplazado por derechos particulares.
- VI) Estructura ecológica principal.
- VII) Malla vial.

Una vez identificados los elementos en Área de Influencia Urbana de cada estación que deberán ser de carácter permanente, se genera la sustracción de estos elementos del área total de la manzana y da como resultado el área útil restante por cada una de las manzanas. Luego se clasifican las manzanas con área útil neta de 100% y manzanas con un área mayor al 50% de área útil. Se considera que esta clasificación sirve para identificar las manzanas con mayor potencial y atractivo desarrollable.

Con base en estos criterios, se identifican las áreas de oportunidad sobre el rango de influencia de la L2MB, como se muestra en el siguiente cuadro con las áreas de oportunidad por estación junto con una visualización grafica con mapas a escala del proyecto y fichas de análisis explicativo por estación (anexo al documento)⁷⁴.

Tabla 55. Áreas de oportunidad L2MB

Estación No.	Área (m ²)
1	512.221
2	631.391
3	555.213

⁷⁴ Ver Anexo 11 - Desarrollo adicional edificabilidad (carpeta)

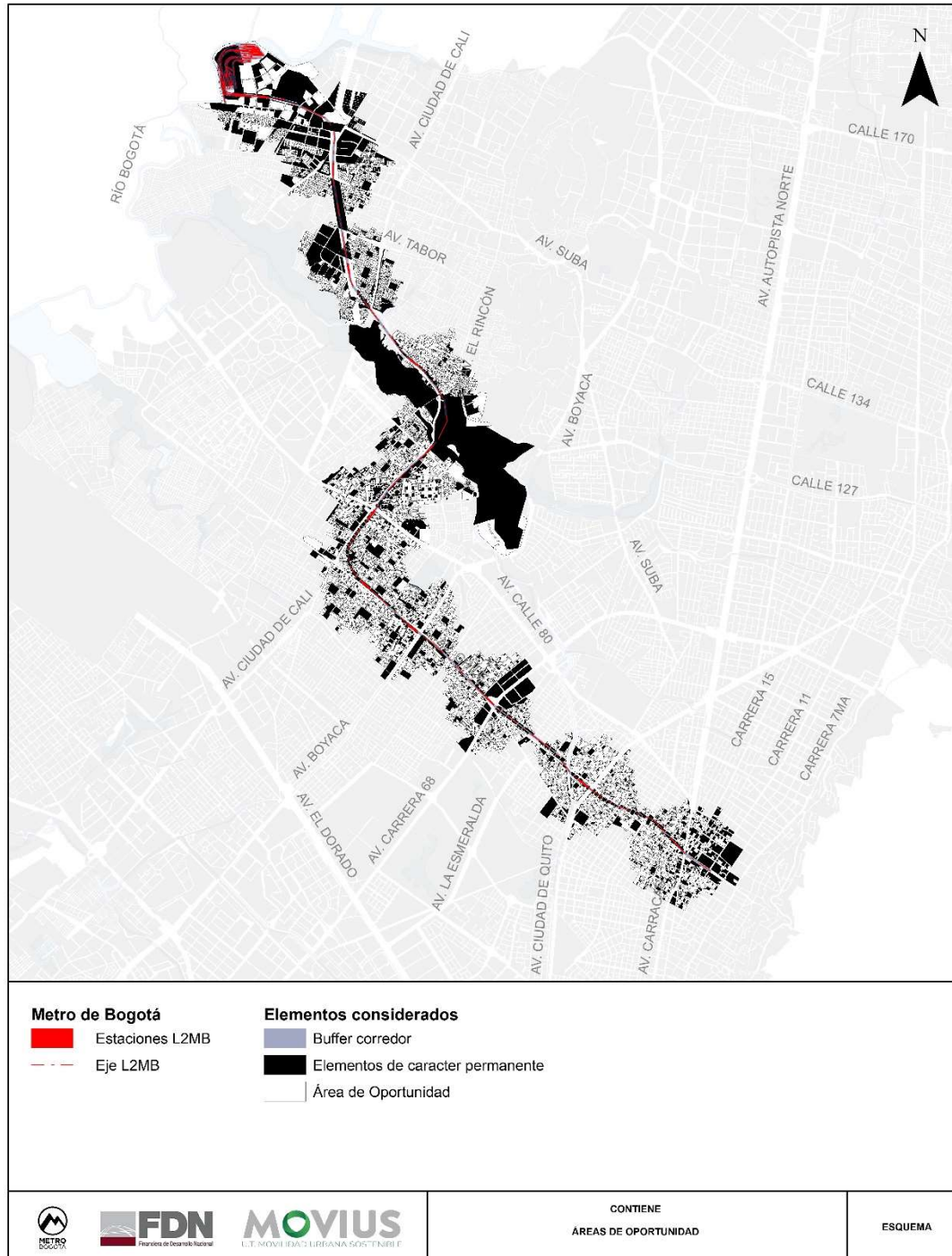
REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Estación No.	Área (m²)
4	528.312
5	626.605
6	516.341
7	685.075
8	411.022
9	430.784
10	442.294
11	76.799
TOTAL	5.416.057

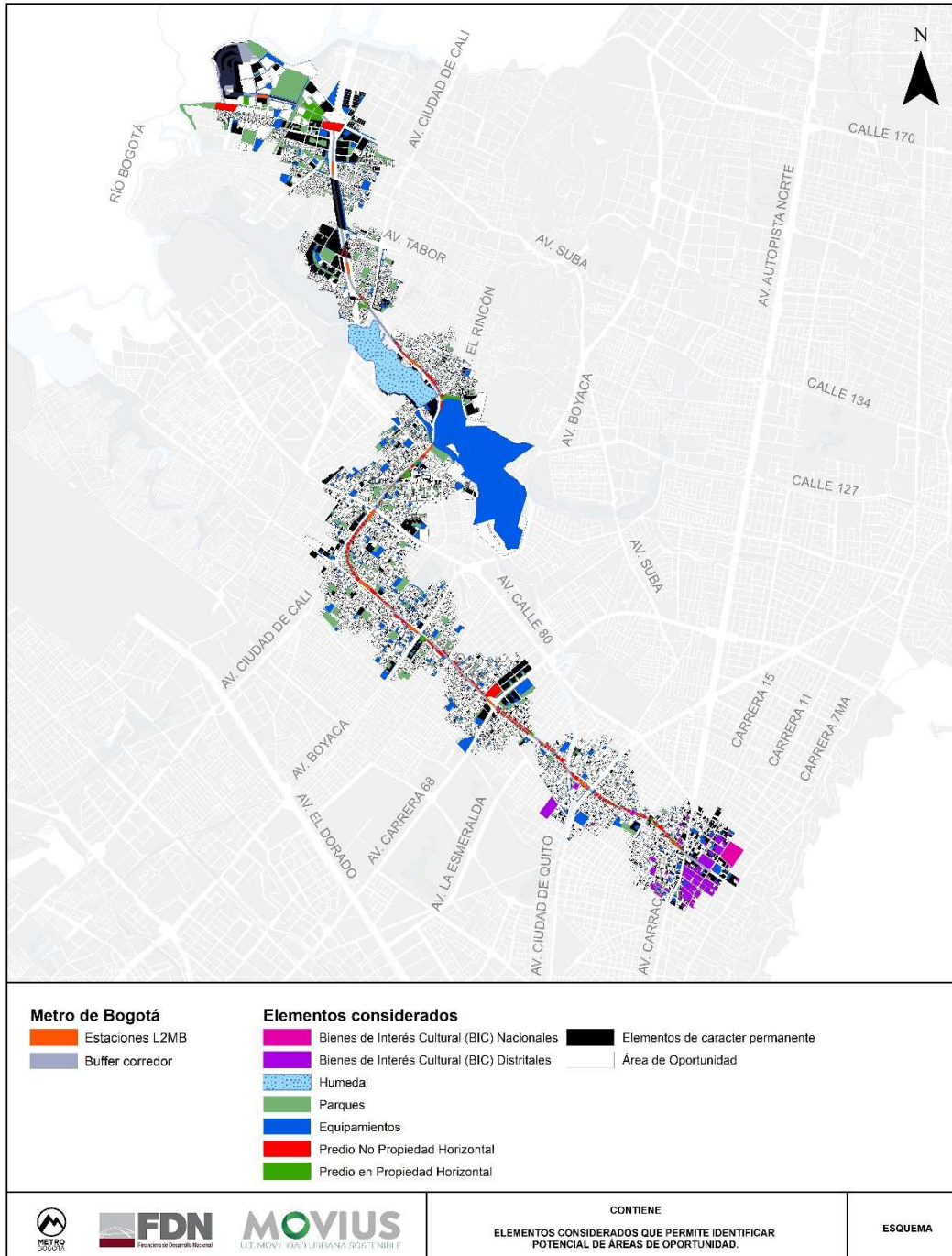
Fuente: elaboración propia a partir de la Secretaría Distrital de Planeación

Figura 19. Identificación de áreas de oportunidad para desarrollos de renovación urbana



Fuente: elaboración propia

Figura 20. Elementos considerados en las áreas de oportunidad



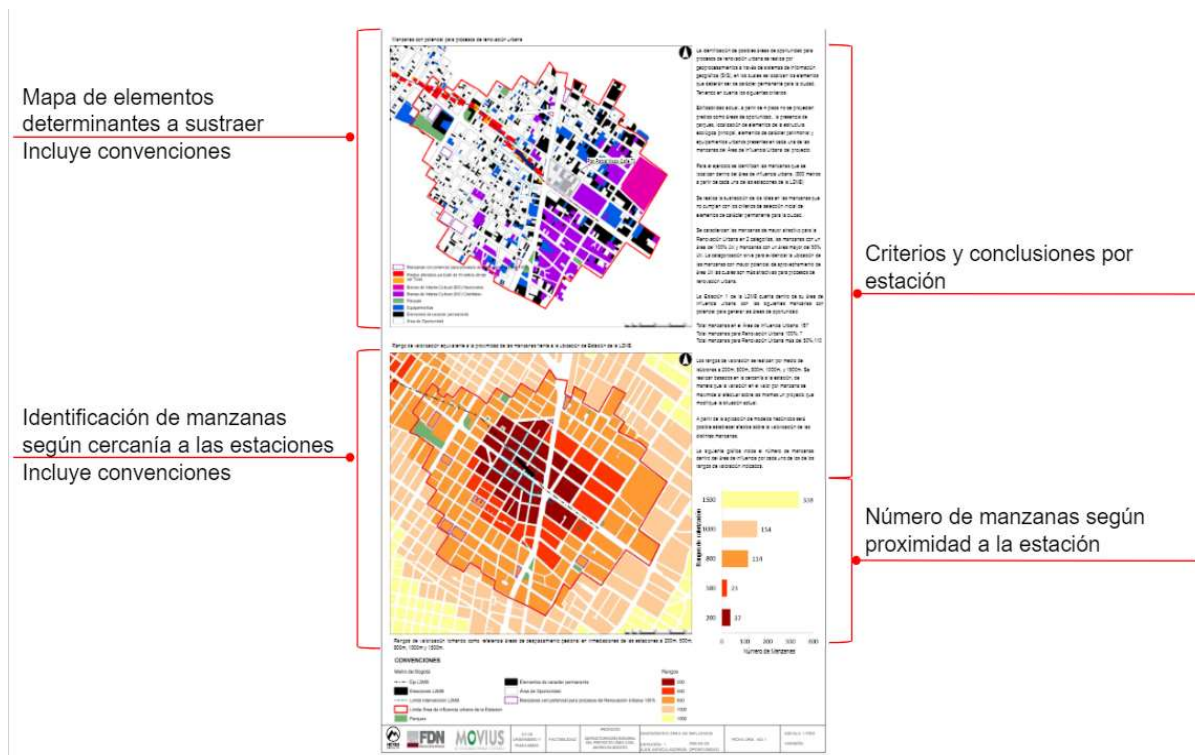
Fuente: elaboración propia

En las figuras a continuación, se presenta explicación tipo del análisis realizado para cada una de las estaciones del proyecto.

En un primer mapa de las fichas de análisis se presentan las determinantes urbanísticas con colores y localización, en color verde se localizan los parques y elementos de la estructura ecológica principal, en color morado la ubicación de bienes de interés cultural del ámbito distrital (BIC), en color magenta los bienes de interés cultural del ámbito nacional, en color azul los equipamientos urbanos y en color rojo y amarillo áreas que hacen parte del búfer de 15 metros en planta frente al viaducto.

En el segundo mapa se presenta el análisis general de las características de las manzanas según la proximidad y distancia y tiempo frente a cada estación que permitirá a futuro contar con una caracterización del territorio.

Figura 21 . Explicación fichas análisis pág. 1 y 2 de cada estación

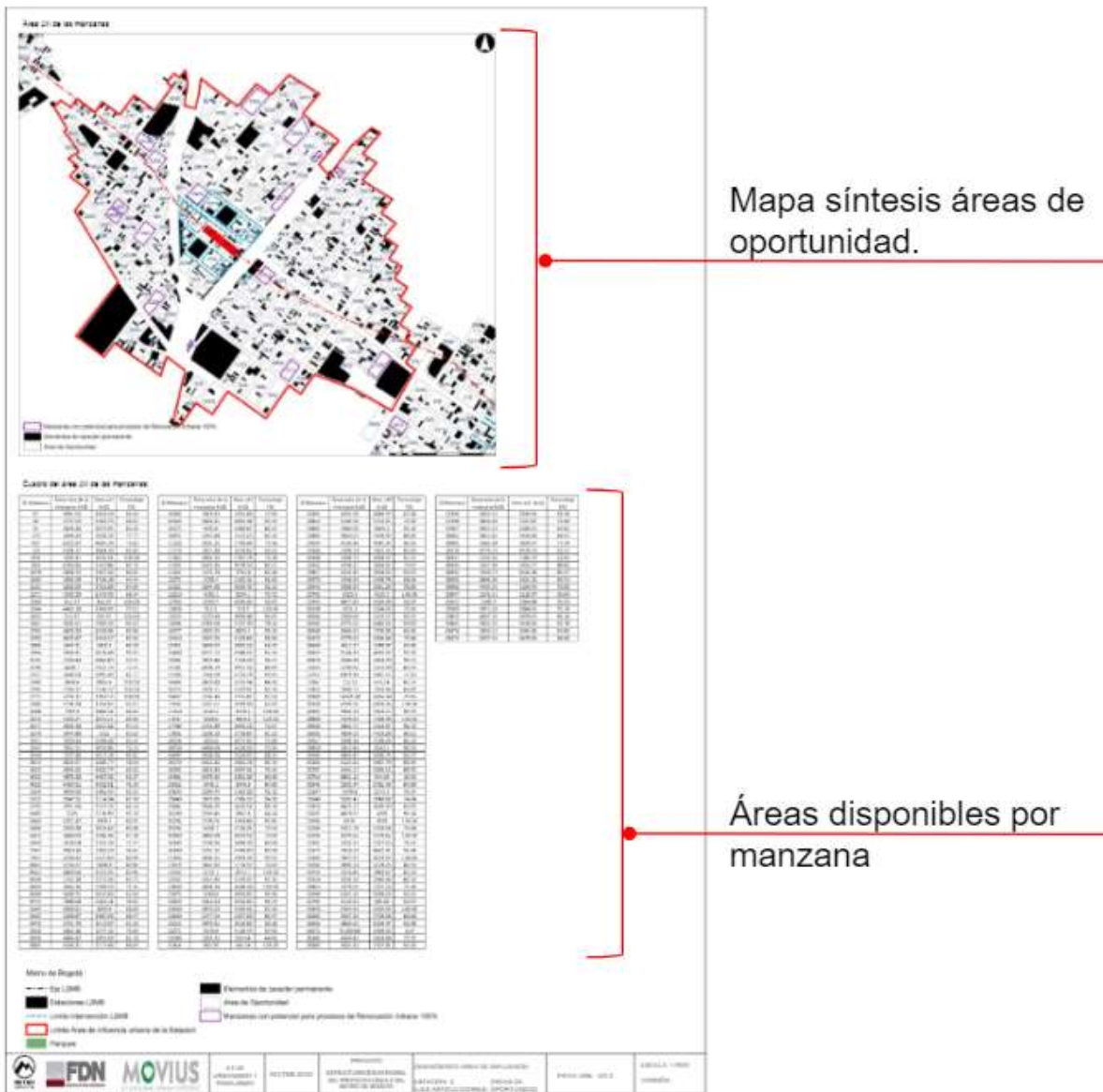


Fuente: elaboración propia

En la página 2 de cada estación del Anexo 11 (Fichas de Diagnóstico Áreas de Oportunidad) de áreas de oportunidad, se presenta la nomenclatura de las manzanas, la identificación luego color negro los elementos de carácter permanente y

dentro de las manzanas en color blanco las áreas potenciales, en la tabla inferior se relacionan las manzanas con áreas de oportunidad con áreas superiores al 50% del área total de cada manzana.

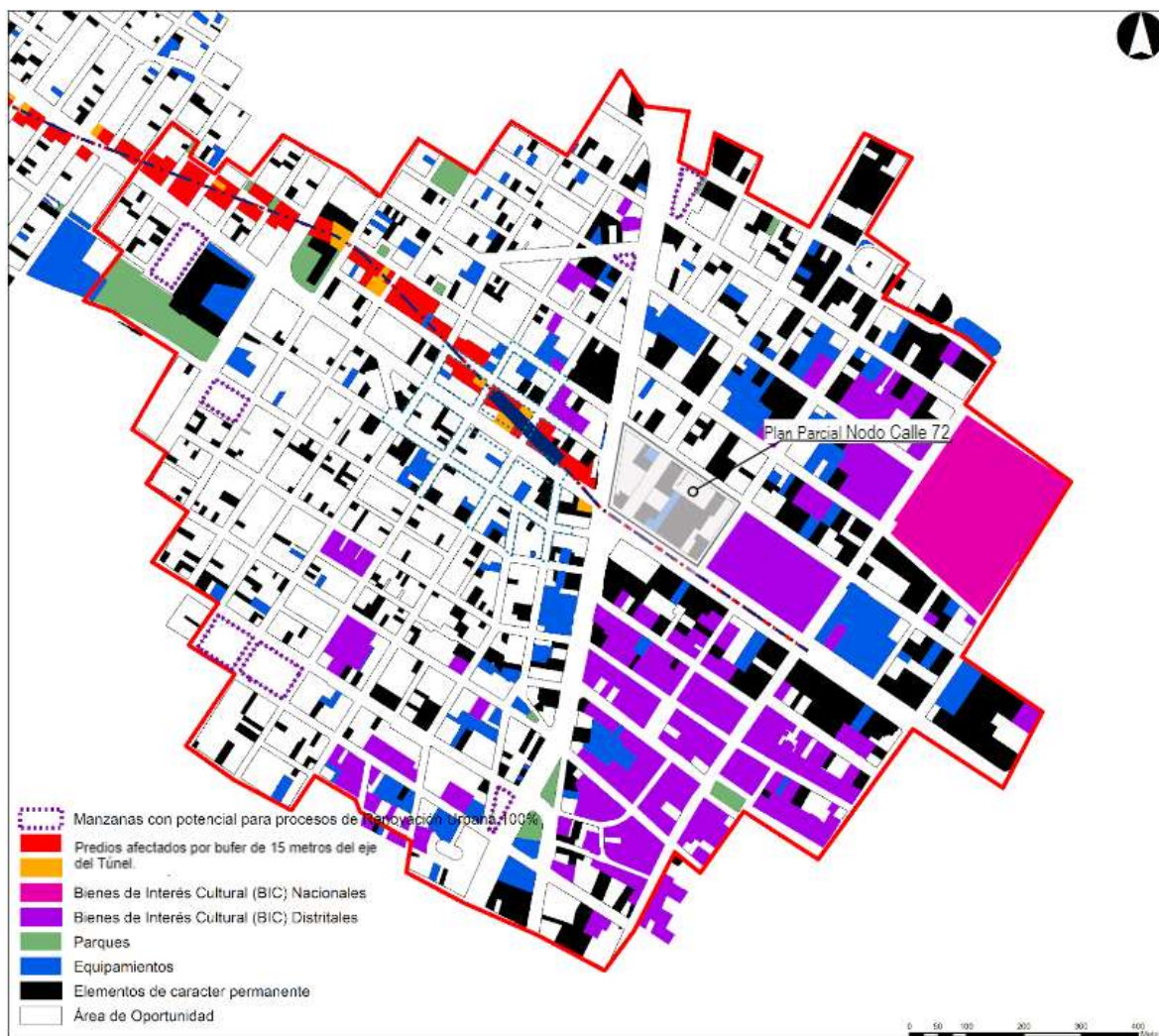
En todos los mapas se presenta el polígono del área de influencia urbana de cada estación, el cual corresponde al desplazamiento de 10 minutos de un peatón 800 metros aproximadamente.



Fuente: elaboración propia

En la figura a continuación se detalla la caracterización territorial derivada de la identificación de oportunidades territoriales dadas en las estructuras urbanas existentes que en consecuencia modificarán sus dinámicas inmobiliarias por la inserción de un equipamiento ancla como lo es una estación de metro.

Figura 22 Identificación de elementos de carácter permanente por estación



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el proceso realizado para estimar el área aprovechable total para la zona de influencia del proyecto, sobre la cual se estiman los beneficios generados por desarrollos adicionales en edificabilidad,

tienen en consideración elementos determinantes con requerimientos que se encuentran en un nivel adicional a los tratamientos urbanísticos con los que se encuentra enmarcado el ordenamiento territorial de la ciudad, ya sea aplicando los tratamientos urbanísticos establecidos tanto en el decreto 190 de 2004 como en el decreto 555 de 2021.

En segundo lugar, una vez identificada el área aprovechable total, se procede a cuantificar el beneficio a partir del potencial de desarrollo adicional y el ingreso que se podría obtener por medio de este desarrollo. Esto se calcula de la siguiente forma:

$$BDes = AO \times Bm2 \times DIC$$

Donde:

BDes corresponde al beneficio económico obtenido por edificabilidad adicional por nuevos desarrollos en la zona de influencia de la L2MB.

AO corresponde al total de metros cuadrados aprovechables (área plana) para desarrollos adicionales dentro de las áreas de oportunidad identificadas.

Bm2 corresponde al beneficio obtenible por metro cuadrado de desarrollo adicional, como se explicará más adelante.

DIC corresponde al diferencial de índices de construcción, como se explicará más adelante.

A su vez, dentro de esta fórmula se tiene lo siguiente:

$$Bm2 = Vm2 - CCm2$$

Donde:

Bm2 corresponde al beneficio obtenible por metro cuadrado de desarrollo adicional

Vm2 corresponde al valor promedio de referencia del metro cuadrado para la zona de influencia de la L2MB.

CCm2 corresponde al costo promedio de construcción por metro cuadrado para Bogotá.

Finalmente, se tiene lo siguiente:

$$DIC = ICmáx - ICbase$$

Donde:

DIC corresponde al diferencial de índices de construcción, para determinar el área efectivamente aprovechable para desarrollos inmobiliarios.

ICmáx corresponde al índice de construcción efectivo para desarrollos dentro de las áreas aprovechables.

ICbase corresponde al índice de construcción base a partir del cual se considera un beneficio relacionado con la introducción del proyecto.

Determinación del beneficio obtenible por metro cuadrado

Para determinar el beneficio obtenible por metro cuadrado de desarrollo, se debe utilizar como insumo el valor comercial de venta por metro cuadrado, y restar de este el costo estimado de construcción. A partir del estudio realizado por la Universidad de los Andes sobre la PLMB, denominado “Diagnóstico y Propuesta Estaciones Tramo Sur”, se obtiene el

valor de venta comercial promedio del metro cuadrado discriminado por estratos socioeconómicos de la ciudad. Así mismo, a partir de esta fuente se obtiene el valor de mercado promedio de construcción de metro cuadrado por estratos para la ciudad de Bogotá, discriminado entre costos directos e indirectos. Es necesario utilizar para el cálculo del beneficio los valores estratificados, dado que por la ubicación de las estaciones sus áreas de influencia contemplan diferentes estratos entre ellas. De esta forma se obtiene la información base, que debe ser actualizada a la fecha de referencia del análisis (diciembre 2021) y corregida por Razones Precio-Cuenta, para expresarla en términos de costo social. Para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$Valores_{2021} = Valores_{2014} \times \prod_{i=1}^n (1 + inflación_i) \times RPC_j$$

Donde:

$Valores_{2014}$ es el valor de venta o de construcción por metro cuadrado en la fecha de referencia de la fuente, i es el año de aplicación de la inflación.

RPC_j es la razón precio-cuenta aplicable al valor j , siendo j valor de venta o valor de construcción directo.

Aplicando esta fórmula para cada uno de los valores mencionados se llegan a los siguientes valores:

Tabla 56. Razones precio cuenta aplicables a valores de venta y costos de construcción por m2

Concepto	RPC aplicable	Aplicable a
Servicios de compra-venta de edificios y terrenos; otros servicios inmobiliarios a comisión o por contrato ⁷⁵	0,892	Valores de venta por metro cuadrado
Trabajos de construcción de edificaciones ⁷⁶	0,905	Costos directos de construcción por metro cuadrado

Fuente: Departamento Nacional de Planeación (2017)

Tabla 57. Valores de venta por metro cuadrado, por estrato socioeconómico

Estrato ⁷⁷	Valor de mercado de referencia por metro cuadrado (COP 2014) ⁷⁸	Valor de venta indexado a diciembre 2021 (COP)	Valor de venta afectado por RPC (COP diciembre 2021)
5	5.438.218	7.346.335	6.552.931
4	4.548.301	6.144.171	5.480.601
3	3.408.873	4.604.950	4.107.616
2	1.692.175	2.285.911	2.039.033

⁷⁵ Ver documento "Actualización de la estimación de los indicadores "Razón Precio-Cuenta" del Departamento Nacional de Planeación. Página 30. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/497.pdf>

⁷⁶ Ver documento "Actualización de la estimación de los indicadores "Razón Precio-Cuenta" del Departamento Nacional de Planeación. Página 28. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/497.pdf>

⁷⁷ No se presenta información para estratos 6 o 1, debido a que las zonas de influencia analizadas no contemplan alguno de estos estratos.

⁷⁸ Ver Anexo 12 - "Diagnóstico y Propuesta Estaciones Tramo Sur", Informe final. Página 39.

Fuente: Universidad de los Andes (2015)

Tabla 58. Valores de construcción por metro cuadrado – directos e indirectos por estrato socioeconómico

Estrato ⁷⁹	Valor de construcción directo por metro cuadrado (COP 2014) ⁸⁰	Valor de construcción directo indexado a diciembre 2021 (COP)	Valor de venta afectado por RPC (COP diciembre 2021)	Valor de construcción indirecto (%) ⁸¹
5	1.500.000	2.026.308	1.833.808	35%
4	1.300.000	1.756.133	1.589.301	33%
3	1.030.000	1.391.398	1.259.215	33%
2	860.000	1.161.750	1.051.383	33%

Fuente: Universidad de los Andes (2015)

Los valores de venta y construcción aplicables a cada zona de influencia se obtienen con base en los estratos predominantes para cada zona. Estos estratos se determinan con base en los mapas de estratos por localidad publicados por la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, como se muestra en la siguiente tabla y la figura como ejemplo⁸².

Tabla 59. Estratos predominantes por estación

No. Estación	Estrato predominante
1	3, 4, 5
2	3, 4
3	3
4	3
5	3
6	2, 3
7	2, 3
8	2
9	2
10	2
11	2

Fuente: elaboración propia a partir de la Secretaría Distrital de Planeación

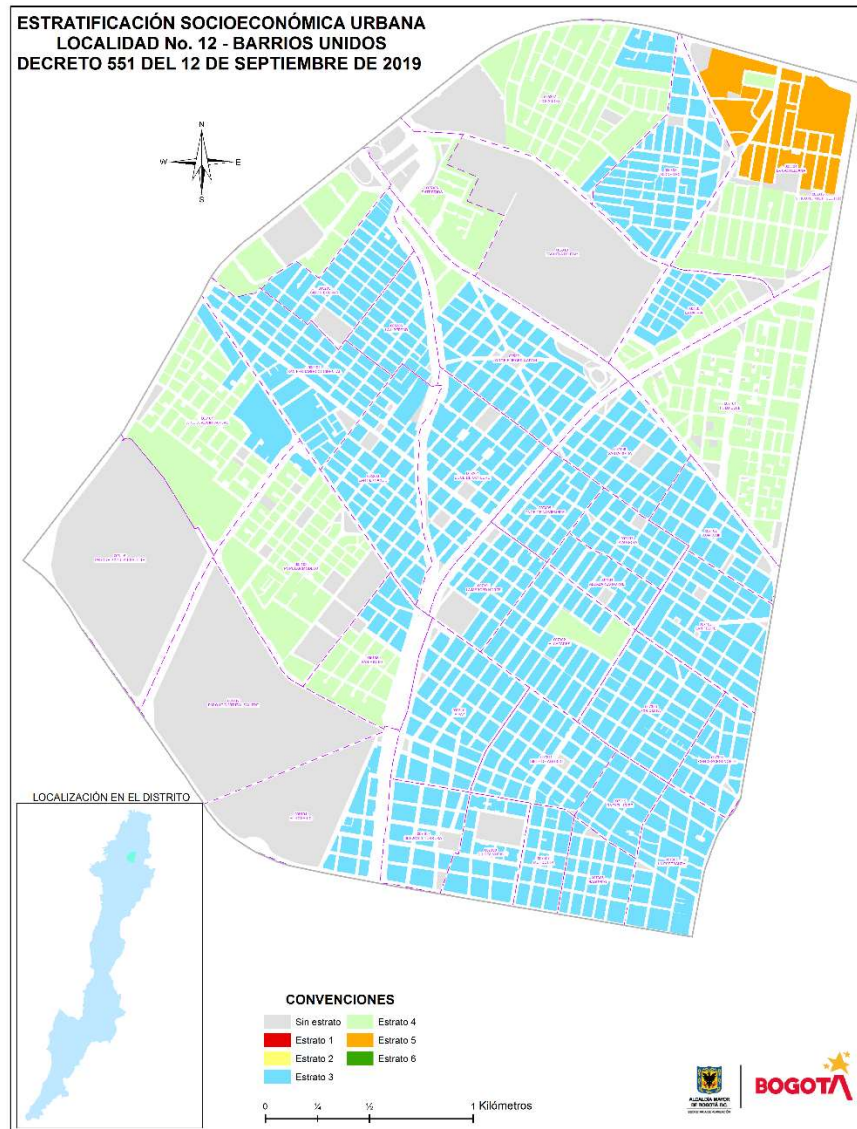
⁷⁹ No se presenta información para estratos 6 o 1, debido a que las zonas de influencia analizadas no contemplan alguno de estos estratos. Tomado como el valor medio del rango establecido para cada estrato.

⁸⁰ Ver Anexo 12 - "Diagnóstico y Propuesta Estaciones Tramo Sur", Informe final. Página 39.

⁸¹ Ver Anexo 12 - "Diagnóstico y Propuesta Estaciones Tramo Sur", Informe final. Página 39. Expresado como un porcentaje sobre el valor de venta por metro cuadrado. Tomado como el valor medio del rango establecido para cada estrato.

⁸² Información disponible en el enlace: <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estratificacion/estratificacion-por-localidad> y en el Anexo 13 – Estratificación para cada una de las localidades (carpeta)

Figura 23. Estratificación socioeconómica Localidad Barrios Unidos



Fuente: Secretaría Distrital de Planeación

En los casos en que existe más de un estrato predominante para la zona de influencia, se obtienen los valores de venta y construcción por metro cuadrado con base en un promedio de los valores aplicables para cada uno de estos estratos. Aplicando las fórmulas indicadas anteriormente para el beneficio por metro cuadrado, se obtienen los valores para cada zona de influencia como la resta entre los valores de venta y construcción (directos e indirectos).

Determinación del índice de construcción aprovechable

Una vez determinadas las áreas sobre las cuáles es posible llevar a cabo desarrollos adicionales y el beneficio obtenible por metro cuadrado, se debe determinar el índice de construcción efectivamente aprovechable para estos desarrollos. Teniendo en cuenta el índice de 1,3, cualquier desarrollo por debajo de este índice no debe ser considerado como impacto generado por el proyecto.

Con base en esto, se debe calcular un diferencial entre el potencial máximo de desarrollo y aquello que no se debe tomar como un desarrollo por influencia del proyecto.

Se utiliza el supuesto conservador de un valor de índice de construcción de 5 como punto de partida en el que no se incluyen la totalidad de los predios en una manzana dentro de los proyectos tramitados directamente mediante licencia urbanística. Adicionalmente, se incluye un ajuste adicional por incertidumbre, teniendo en cuenta que es posible que no todos los desarrollos lleguen al mismo promedio de 5. Por esta razón, se asume un índice de construcción máximo promedio de 4. En este sentido, el diferencial del índice de construcción aplicado a la cuantificación del beneficio es de 2,7.

$$IC \text{ aplicado} = IC \text{ maximo Proyectado} - IC \text{ maximo base}$$

Donde:

IC Máximo Proyectado = Es el máximo índice de construcción que se tiene en cuenta para el cálculo (IC 4)

IC Máximo base = Es el índice de construcción base máximo que se asume en este ejercicio (IC 1,3)

Una vez definidos los supuestos anteriormente expuestos, se procede a cuantificar el beneficio por edificabilidad adicional por nuevos desarrollos aplicando las fórmulas antes presentadas. Se obtienen los resultados presentados a continuación.

Tabla 60. Beneficio generado por Edificabilidad adicional por nuevos desarrollos EcP – EsP

	Beneficio promedio por año (COP millones, constantes diciembre 2021)	Beneficio total (COP millones, valor presente neto)
Edificabilidad adicional por nuevos desarrollos	682.182	2.830.485

Plan de acción para la incorporación de zonas en el área de influencia de las estaciones de L2MB al tratamiento de renovación urbana y otras actuaciones urbanísticas requeridas

Con el fin de implementar las actuaciones que permitan incorporar al tratamiento de renovación urbana las zonas de influencia de las estaciones de la L2MB se debe realizar la formulación, justificación y expedición de un decreto distrital específico, para lo cual se deben realizar las actividades indicadas en la siguiente tabla. Así mismo, se han identificado otras actuaciones urbanísticas que deberán realizarse para la planeación y gestión del proyecto, las cuales podrán realizarse en uno o varios instrumentos o actos administrativos, según se analice su pertinencia y oportunidad.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

A continuación, se presentan las hojas de ruta con las actuaciones urbanísticas necesarias para garantizar los desarrollos urbanos y los beneficios por su edificabilidad adicional, en las zonas de las estaciones del proyecto, bajo los escenarios de vigencia del Decreto 190 de 2004 o la reincorporación a la normativa urbana del Decreto 555 del 2021.

Tabla 61 Hoja de ruta Decreto 190 de 2004 - Actuaciones urbanísticas

Hoja de ruta Decreto 190 de 2004 Actuaciones urbanísticas		
ID	Actividad	Encargado
1	Delimitación del área de influencia y el área de incorporación de renovación urbana alrededor de las estaciones de la L2MB (isócronas a 10 minutos de caminata)	EMB - SDP
2	Elaboración el Documento Técnico de Soporte, cartografía y el proyecto de resolución que delimita el área de influencia para la zona de reserva del proyecto. Los documentos de soporte deberán demarcar la franja en un área de influencia a 15 metros a lado y lado del límite del túnel para definir condiciones especiales para el desarrollo de dichos predios en altura, así como las actuaciones y acciones urbanísticas requeridas, con el fin de que se estudie la interacción de estas con el túnel. Similar a la definición de zonas de reserva de transporte adoptadas por el Distrito para el proyecto PLMB en los años 2017 y 2018.	EMB - SDP
3	Expedición zona de reserva de transporte del proyecto L2MB	SDP
4	Elaboración el Documento Técnico de Soporte, cartografía y el proyecto de decreto que delimita el área de influencia, incorpora al tratamiento de renovación urbana y define las condiciones de norma urbanística (aprovechamientos y obligaciones). La justificación debe incluir las mismas condiciones de área de influencia, índices de construcción base, índice de construcción máximos y condiciones de aplicabilidad, desarrollo y gestión para la <i>aplicación del índice de construcción efectivo para el tratamiento urbanístico de renovación urbana de acuerdo con los documentos técnicos de soporte del componente urbano del Decreto 555 de 2021.</i> En cuanto al índice de construcción base se debe definir el parámetro de 1,3 para corresponder con la visión de renovación urbana para este tipo de áreas, definida en el Decreto 555 de 2021. ⁸³	EMB - SDP

⁸³ Con el objetivo de definir el índice de construcción base, se parte de la tendencia observada a nivel ciudad para Bogotá. Se toma como referencia el estudio elaborado por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital *Identificar Áreas de Influencia y Potencial de Edificabilidad para las Zonas Aledañas a las Futuras Estaciones Metro que se encuentran dentro del Tratamiento de Renovación Urbana, establecido en el Decreto 562 de 2014, en el cual se establece que más del 90% del área de lotes en Bogotá presentaba, a corte de la fecha del estudio, índices de construcción entre 1,0 y 1,5, como se muestra en la figura 17 de este documento. En este sentido, un índice promedio dentro de este rango, de 1,3, es el índice que se toma en cuenta como la base o situación sin proyecto para el presente ejercicio, dado que este se encuentra en el rango observado de este estudio que cubría varias zonas con potencial de renovación en la ciudad, y a qué estos índices agregados no presentan cambios significativos en periodos cortos de tiempo*

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

5	Revisión del decreto por parte del Secretaría Distrital de Planeación, Sector de Movilidad y Secretaría Distrital de Hacienda	EMB - SDP
6	Radicación ante la Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá	SDP
7	Publicación del proyecto de Decreto	SDP
8	Adopción del Decreto de incorporación al tratamiento de renovación urbana	Alcalde Mayor de Bogotá
Nota	El tiempo estimado para la adopción de este Decreto de incorporación puede ser de 6 a 8 meses	

Tal como se aclaró en el recuento realizado en este capítulo, el Distrito ya ha expedido decretos que incorporan áreas al tratamiento de renovación urbana relacionadas con la construcción de proyectos del sistema TransMilenio y también para la PLMB. Particularmente para la PLMB, el decreto 823 de 2019 fue expedido en diciembre de 2019, coincidiendo en tiempo con la adjudicación de la licitación para la construcción del proyecto, la cual se dio en octubre de 2019. Así mismo, una condición técnica para fijar y delimitar las áreas de influencia es la de contar con la definición de la ubicación de las estaciones de la línea, lo cual se dio para el proyecto PLMB durante los estudios de factibilidad del proyecto. De forma similar para el proyecto L2MB este trámite puede realizar durante el año 2023 paralelo al proceso de licitación y partiendo de las definiciones de factibilidad con las que ya cuenta el proyecto.

En cuanto al plan de acción para llevar a cabo las acciones requeridas para implementar los instrumentos relacionados con renovación urbana previstos en el Decreto 555 de 2021, en caso de que la suspensión temporal de este sea eliminada, se presenta una situación similar a la requerida en el marco de las posibilidades del Decreto 190 de 2004. Esto, bajo la situación en que los dos escenarios requieren de la expedición de un decreto que incorpore al tratamiento de renovación urbana y defina las fichas normativas respectivas, en un caso, y para el otro caso, un decreto que delimite las Áreas de Integración Multimodal (AIMs) y defina los aprovechamientos y beneficios urbanísticos en estas zonas.

Tabla 62 Hoja de ruta Decreto 555 de 2021 - Actuaciones urbanísticas

Adopción del Decreto de renovación urbana para la L2MB - Decreto 555 de 2021		
ID	Actividad	Encargado
1	Delimitación de las Áreas de Integración Multimodal	EMB
2	Elaboración el Documento Técnico de Soporte, cartografía y el proyecto de decreto que delimita el área de influencia de las Áreas de Integración Multimodal y los Proyectos de Renovación Urbana para la Movilidad Sostenible. Los documentos de soporte deberán demarcar la franja en un área de influencia a 15 metros a lado y lado del límite del túnel para definir condiciones especiales para el desarrollo de dichos predios en altura, así como las actuaciones y acciones urbanísticas requeridas, con el fin de que se estudie la interacción de estas con el túnel. Similar a la definición de zonas de reserva de transporte adoptadas por el Distrito para el proyecto PLMB en los años 2017 y 2018.	EMB
3	Mesas de trabajo con las entidades interesadas para validar delimitación coordinadas por Secretaría Distrital de Movilidad	EMB
4	Revisión y aprobación por parte de Secretaría Distrital de Movilidad y Secretaría Distrital de Planeación.	SDM-SDP
5	Radicación ante la Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá	SDP

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

6	Publicación del proyecto de Decreto	SDP
7	Adopción del Decreto	Alcalde Mayor de Bogotá

11 RESULTADOS Y SENSIBILIDADES

11.1 Resultados

Se obtienen los resultados para el ejercicio del análisis bajo un horizonte de proyección hasta 2061 y aplicando una tasa social del 9% para el descuento de los flujos económicos, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 63. Resultado de los principales flujos en valor presente neto social EcP – EsP

Valor presente (COP 2021)	EcP – EsP	% sobre el total
CAPEX	-7.783.718	95%
OPEX	-592.952	7%
Emisiones	-10.224	0%
Valor residual	190.378	-2%
Total costos	-8.196.517	100%
Tiempo	3.349.617	38,1%
COV	1.609.455	18,3%
Accidentalidad	282.992	3,2%
Ambiental	727.912	8,3%
Edificabilidad	2.830.485	32,2%
Total beneficios	8.800.461	100,0%
Beneficios - costos	603.944	

Tal como se presenta en la tabla anterior, los beneficios que presentan mayor impacto sobre la sociedad son los de valor en tiempo y edificabilidad, seguido por el ahorro por costos de operación vehicular, y en una menor proporción los beneficios ambientales y por accidentalidad.

Por último, se obtienen los indicadores de rentabilidad socioeconómica entre los dos escenarios:

Tabla 64. Resultados indicadores de rentabilidad socioeconómica EcP – EsP

Indicador	EcP – EsP
Relación B/C	1,07
VPNS (COP millones 2021)	\$ 603.944
TIRS	9,6%

A partir del análisis costo beneficio (ACB) realizado, los resultados presentan una relación beneficio/costo superior a 1, con un Valor Presente Neto Social de sus flujos económicos positivo. Esto quiere decir que en este caso las inversiones realizadas en el proyecto se reinvertirán en beneficios socioeconómicos para la sociedad que mejoren el bienestar social y la calidad de vida de las personas, por lo cual es recomendable llevar a cabo el proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá bajo las condiciones planteadas. Además, la TIRS resulta mayor que la TSD bajo análisis y asegura, a través de este indicador de rentabilidad, que el proyecto es económicamente rentable.

A continuación, se presentan los resultados de los flujos de beneficios y costos anuales en precios constantes del 31 de diciembre de 2021.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Tabla 65. Flujos anuales de Beneficios EcP – EsP (COP millones, constantes diciembre 2021)

Beneficio	Valor	Unidad	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Total - beneficio tiempos de viaje	24.600.197	COP millones	713.336	717.587	723.152	728.757	734.404	740.092	745.821	751.593	757.407	763.263
Total beneficio costo de operación	11.164.386	COP millones	355.241	360.716	363.453	366.191	368.928	371.666	374.403	377.141	379.878	382.616
Total beneficios accidentalidad	1.940.900	COP millones	64.937	65.197	65.326	65.456	65.586	65.715	65.845	65.975	66.104	66.234
Total beneficio ambiental	5.056.051	COP millones	165.255	165.791	166.217	166.652	167.096	167.548	168.009	168.480	168.960	169.450
Total beneficio edificabilidad	17.054.549	COP millones	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182
Total beneficios	59.816.083	COP millones	1.980.951	1.991.473	2.000.331	2.009.238	2.018.195	2.027.203	2.036.261	2.045.370	2.054.531	2.063.745

Beneficio	Valor	Unidad	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
Total - beneficio tiempos de viaje	24.600.197	COP millones	769.162	780.482	789.947	799.521	809.207	819.005	828.916	838.942	849.083	859.342
Total beneficio costo de operación	11.164.386	COP millones	385.353	382.391	380.910	379.429	377.947	376.466	374.985	373.504	372.023	370.542
Total beneficios accidentalidad	1.940.900	COP millones	66.364	65.842	65.582	65.321	65.060	64.800	64.539	64.278	64.018	63.757
Total beneficio ambiental	5.056.051	COP millones	169.950	169.170	168.972	168.779	168.592	168.409	168.232	168.059	167.893	167.731
Total beneficio edificabilidad	17.054.549	COP millones	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182
Total beneficios	59.816.083	COP millones	2.073.011	2.080.067	2.087.592	2.095.232	2.102.988	2.110.862	2.118.853	2.126.965	2.135.198	2.143.554

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Beneficio	Valor	Unidad	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061
Total - beneficio tiempos de viaje	24.600.197	COP millones	869.720	878.037	886.434	894.911	903.469	912.109	920.832	929.638	938.528	947.503
Total beneficio costo de operación	11.164.386	COP millones	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060
Total beneficios accidentalidad	1.940.900	COP millones	63.496	63.496	63.496	63.496	63.496	63.496	63.496	63.496	63.496	63.496
Total beneficio ambiental	5.056.051	COP millones	167.575	168.018	168.471	168.932	169.402	169.882	170.372	170.871	171.381	171.900
Total beneficio edificabilidad	17.054.549	COP millones	682.182	682.182	682.182	682.182	682.182	-	-	-	-	-
Total beneficios	59.816.083	COP millones	2.152.033	2.160.794	2.169.643	2.178.581	2.187.610	1.514.548	1.523.760	1.533.066	1.542.465	1.551.960

Tabla 66. Flujos anuales de Costos EcP – EsP (COP millones, constantes diciembre 2021)

Costo	Valor	Unidad	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Total CAPEX	-12.810.330	COP millones	-1.595.233	-1.692.853	-2.055.265	-2.528.812	-2.370.971	-1.192.202	-864.781	-510.213	-	-
Total OPEX	-4.641.217	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-	-109.483	-110.281
Total emisiones CO ₂ L2MB	-79.605	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.962	-2.001
Valor residual	5.979.659	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total costos	-11.551.492	COP millones	-1.595.233	-1.692.853	-2.055.265	-2.528.812	-2.370.971	-1.192.202	-864.781	-510.213	-111.790	-112.634

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Costo	Valor	Unidad	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Total CAPEX	-12.810.330	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total OPEX	-4.641.217	COP millones	-111.095	-111.925	-112.878	-122.383	-123.264	-124.163	-125.079	-132.365	-126.968	-127.941
Total emisiones CO ₂ L2MB	-79.605	COP millones	-2.042	-2.082	-2.124	-2.166	-2.210	-2.254	-2.299	-2.345	-2.392	-2.440
Valor residual	5.979.659	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total costos	-11.551.492	COP millones	-113.495	-114.373	-115.375	-124.930	-125.862	-126.813	-127.783	-135.122	-129.781	-130.810

Costo	Valor	Unidad	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
Total CAPEX	-12.810.330	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total OPEX	-4.641.217	COP millones	-128.934	-263.154	-264.292	-265.239	-134.855	-135.950	-137.258	-158.768	-139.560	-140.746
Total emisiones CO ₂ L2MB	-79.605	COP millones	-2.489	-2.538	-2.589	-2.641	-2.694	-2.748	-2.803	-2.859	-2.916	-2.974
Valor residual	5.979.659	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total costos	-11.551.492	COP millones	-131.860	-266.138	-267.336	-268.345	-138.022	-139.181	-140.553	-162.129	-142.989	-144.243

Costo	Valor	Unidad	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061
Total CAPEX	-12.810.330	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	-
Total OPEX	-4.641.217	COP millones	-141.956	-143.190	-144.448	-145.732	-147.041	-148.377	-281.198	-282.693
Total emisiones CO ₂ L2MB	-79.605	COP millones	-3.034	-3.094	-3.156	-3.219	-3.284	-3.349	-3.416	-3.485
Valor residual	5.979.659	COP millones	-	-	-	-	-	-	-	5.979.659
Total costos	-11.551.492	COP millones	-145.523	-146.828	-148.159	-149.517	-150.902	-152.315	-285.215	5.692.869

11.2 Sensibilidades

En adición a los resultados presentados anteriormente, se realizaron sensibilidades sobre dos variables principales del modelo del B/C, para visualizar su impacto sobre el escenario modelado. Las variables son las siguientes:

- Valor del tiempo: se realiza una sensibilidad usando en valor bajo, medio y alto de acuerdo con la relación de ingreso entre los no ocupados y los ocupados de la siguiente manera según (European Commission, 2014):

Tabla 67. Sensibilidad sobre el valor del tiempo

Nivel	Ingresos no ocupados sobre ingreso ocupados	Valor del tiempo COP 2021/min
Bajo	25,0%	159,76
Medio	32,5%	166,25
Alto	40,0%	172,73

- Índice de construcción: se realiza una sensibilidad modificando el índice de construcción aplicable al proyecto teniendo en cuenta mayores desarrollos en las manzanas dentro del área de influencia del proyecto.

A continuación, se presenta el impacto de las variables sobre los principales indicadores:

Tabla 68. Sensibilidades sobre relación B/C

Relación B/C		Índice de construcción	
		4.0	5.0
Valor del tiempo	159,76	1,04	1,17
	166,25	1,06	1,19
	172,73	1,07	1,20

Tabla 69. Sensibilidades sobre VPN

VPN (COP millones 2021)		Índice de construcción	
		4.0	5.0
Valor del tiempo	159,76	352.396	1.400.724
	166,25	478.170	1.526.498
	172,73	603.944	1.652.272

Tabla 70. Sensibilidades sobre TIRS

TIRS		Índice de construcción	
		4.0	5.0
Valor del tiempo	159,76	9,3%	10,3%
	166,25	9,5%	10,4%
	172,73	9,6%	10,5%

Como se observa en la tabla anterior, en todas las combinaciones se obtiene una relación de B/C superior a 1. En este caso, el escenario base (IC 4.0, valor del tiempo=COP 172,73) es el que presenta una relación de 1,07.

12 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados presentados en el capítulo anterior, se puede establecer que el proyecto tiene una rentabilidad socioeconómica positiva para la sociedad ya que mejora el bienestar social y la calidad de vida de las personas, teniendo en cuenta que la evaluación socioeconómica realizada y sus sensibilidades evaluadas cumplen con los siguientes criterios:

- 1 La relación Beneficio / Costo resulta mayor a 1
- 2 El VPNS es positivo
- 3 La TIRS es mayor a la tasa social de descuento (9%)

Así las cosas, es recomendable realizar el proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá bajo las condiciones planteadas desde la perspectiva socioeconómica.

13 ANEXOS

Tabla 71. Relación de anexos

Anexo	Tema
Anexo 1 - FILCO – Ministerio de Trabajo – tasa ocupación.pdf	Tasa de ocupación Bogotá 2019
Anexo 2 - Mi Calculadora – Ministerio del trabajo- Contribuciones.pdf	Contribuciones adicionales del empleador por ley
Anexo 3 - Economía_del_transporte_Gines_de_Rus.pdf	Tasa de crecimiento anual valor del tiempo
Anexo 4 - Respuesta TMSA km por componente 2022-EE-03232.pdf	Fichas de remuneración de los operadores de troncales y zonales con remuneración discriminada por tipo de bus Transmilenio y Canasta de costos de operación de los operadores de troncales y zonales
Anexo 5 - 03232.xlsx	Fichas de remuneración de los operadores de troncales y zonales con remuneración discriminada por tipo de bus Transmilenio y Canasta de costos de operación de los operadores de troncales y zonales
Anexo 6 - Estimación costos usuarios - Contrato IDU-BM-112.pdf	Costos de operación por km por tipo de vehículos privados (lubricantes, combustible, llantas, mano de obra, amortización) para Bogotá
Anexo 7 - Fasecolda - costos-de-la-accidentalidad-vial-en-colombia-2018.pdf	Costos de accidentalidad por tipo de accidente (muertos, heridos, daños)
Anexo 8 - Value_of_Statistical_Life_Oxford Viscusi 2019.pdf	Valor estadístico de una vida
Anexo 9 - Income-elasticities-and-global-values-of-a-statistical-life, 2017.pdf	Valor estadístico de una vida
Anexo 10 - Inventario_de_emisiones_2018 Bogotá.pdf	Factores de emisión de CO ₂ para diferentes tipos de vehículos
Anexo 11 - Desarrollo adicional edificabilidad (carpeta)	Planos cartográficos
Anexo 12 - Diagnóstico y propuesta estaciones tramo sur - IDU-Uniandes.pdf	Valor de referencia del metro cuadrado para las manzanas alrededor de la L2MB y Costo promedio de construcción por metro cuadrado
Anexo 13 - Estratificación (carpeta)	Estratificación en Bogotá
Anexo 14 - Identificar Áreas de Influencia y Potencial de Edificabilidad para las Zonas Aledañas a las Futuras Estaciones Metro que se encuentran dentro	Índices de construcción base para desarrollos adicionales

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

del Tratamiento de Renovación Urbana, establecido en el Decreto 562 de 2014.pdf	
Anexo 15 - A new approach to consumer theory.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 16 - Hedonic prices and implicit markets.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 17 - A latent class method for Classifying and Evaluating the Performance of Station Area.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 18 - Parámetros Operacionales TM.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 19 - Periurbanismo estatal.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 20 - Perspectivas-urbanas Smolka, Mullahy.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 21 - The Impact of Railway Stations On residential and commercial property value.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 22 - Transformando Ciudades.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 23 - global-street.design-guide.pdf	Parámetros de diseño
Anexo 24 - 20220621 Alcance 2 Carta remisoría productos Alcaldía a MT AT.pdf	Carta Radicado 20223031212702
Anexo 25 - Mapa Tratamientos Urbanísticos.pdf	Tratamientos urbanísticos
Anexo 26 - Portafolio de mapas.pdf	Tratamientos urbanísticos
Anexo 27 - Presentacion-diagnostico_pot_2017.pdf	Tratamientos urbanísticos
Anexo 28 – Modelo de evaluación social y económica (carpeta)	Modelo en Excel

14 BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2020). *Desarrollo de Metodología de Valoración del Costo Económico de la Accidentalidad Vial en Colombia y su cálculo para el periodo 2008-2010*. .
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Subgerencia Técnica y de Servicios. (2016). *Parámetros técnicos operacionales de la interacción de la Primera Línea de Metro con el sistema Transmilenio*.
- Amaya, A. (2015). *Identificar Áreas de Influencia y Potencial de Edificabilidad para las Zonas Aledañas a las Futuras Estaciones Metro que se encuentran dentro del Tratamiento de Renovación Urbana, establecido en el Decreto 562 de 2014*.
- Asian Development Bank. (2017). *Guidelines for the Economic Analysis of Projects*.
- Australian Transport Assessment and Planning. (s.f.). *T2 Cost Benefit Analysis, Step 2: Identify the benefits and costs*.
- BID. (2006). *Manual de evaluación económica de proyectos de transporte*.
- CAF. (2009). *Observatorio de movilidad urbana para América Latina*.
- Correa, O. P. (2011). *VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RUIDO: UNA REVISIÓN ANALÍTICA DE ESTUDIOS*.
- Correa, O. P. (2015). *VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA REDUCCIÓN DEL RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR: UNA APLICACIÓN PARA MEDELLÍN (COLOMBIA)*.
- Datos Abiertos Bogotá. (2020). *Siniestros viales consolidados para Bogotá, D.C.*
- De Rus Mendoza, G., Betancor Cruz, O., & Campos Méndez, J. (2006). *Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*.
- Debrezion, G., Pels, E., & Rietveld, P. (2007). *The Impact of Railway Stations on Residential and Commercial Property Value: A Meta-analysis*.
- Escartín Escudé, V. (2009). *El periurbanismo estatal*.
- European Commission. (1999). *Railway Project Appraisal Guidelines*.
- European Commission. (2014). *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*.
- Facultad de Medicina, Universidad de los Andes. (2022). *Comunicado y recomendaciones del Observatorio de Salud Pública y Epidemiología José Feliz Patiño ante alerta amarilla por contaminación del aire* .
- Fasecolda. (2018). *Costos de la accidentalidad vial en Colombia*.
- Global Designing Cities Initiative. (2016). *Guía global de diseño de calles*.
- Government of New Zealand. (2019). *TRANSFORMATIVE TRANSPORT PROJECTS (DYNAMIC WEBS AND LAND USE BENEFITS AND COSTS)*.
- Hernández Díaz, G., Piraquive Galeano, G., & Matamoros Cárdenas, M. (2018). *Una estimación de la tasa de descuento para proyectos ambientales*. Departamento Nacional de Planeación.

- Higgins, C. D., & Kanaroglou, P. S. (2016). *A Latent Class Method for Classifying and Evaluating the Performance of Station Area Transit-Oriented Development in the Toronto Region*.
- Hope, & Newbury. (2010). *Calculating the Social Cost of Carbon*.
- IDU y Banco Mundial. (2009). *CONTRATO IDU-BM-112 DE 2009. EVALUACIÓN DE COSTOS DE USUARIO DE ACUERDO*.
- Instituto de Desarrollo Urbano y Universidad de los Andes. (2015). *Diagnóstico y propuesta estaciones tramo sur. NQS – Rosario – Avenida 68 – 1ro de Mayo – Avenida Boyacá – Kennedy*.
- Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases . (2021). *Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide*.
- International Monetary Fund. (2014). *Getting Energy Prices Right*.
- Kniesner, T. J., & Viscusi, W. (2019). *The Value of a Statistical Life*.
- Lancaster, K. J. (1966). *A New Approach to Consumer Theory*.
- Ministerio de Fomento, Gobierno de España. (2010). *Evaluación económica de proyectos de transporte*.
- Ministerio de Trabajo. (2020). *Fuente de Información Laboral de Colombia*. Obtenido de <http://filco.mintrabajo.gov.co/FILCO/faces/estadisticas.jsf>
- Piraquive Galeano, G., Matamoros Cárdenas, M., Céspedes Rangel, E., & Rodríguez Chacón, J. (2018). *Actualización de la tasa de rendimiento del capital en Colombia bajo la metodología de Harberger*. Departamento Nacional de Planeación.
- Rosen, S. (1974). *Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition*.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2018). *Inventario de Emisiones de Bogotá*.
- Sharma, R., & Newman, P. (2018). *Does urban rail increase land value in emerging cities? Value uplift from Bangalore Metro. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 70-86*.
- Smolka, M. O., & Mullahy, L. (2010). *Perspectivas urbanas: Temas críticos en políticas de suelo en América Latina*.
- Suzuki, H., Cervero, R., & Iuchi, K. (2013). *Transformando las ciudades con el transporte público*.
- Transmilenio S.A. (2022). *Estadísticas de oferta y demanda del Sistema Integrado de Transporte Público SITP diciembre 2021*.
- Transport for NSW. (2019). *Cost-benefit Analysis Guide*.
- U.S. Department of Transportation. (s.f.). *Road Weather Management Benefit Cost Analysis Compendium, CHAPTER 2. FUNDAMENTALS OF BENEFIT COST ANALYSIS*.
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. (2021). *Resolución No. 000382 de 2021*. Bogotá D.C.
- Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá. (2021). *Análisis costo beneficio de la segunda línea del metro de Bogotá*.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGO, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Ustaoglu, E. (2014). Economic evaluation of the impacts of new rapid rail investments and consequential forms of urban development within the greater Dublin area.

Viscusi, W., & Masterman, C. J. (2017). *Income Elasticities and Global Values of a Statistical Life*.

World Bank Group. (2014). *Environmental Health Costs in Colombia. The Changes from 2002 to 2010*.