BENEFICIOS AMBIENTALES DEL PROYECTO “PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ”

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU

BOGOTÁ D.C,

2016

BENEFICIOS AMBIENTALES DEL PROYECTO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ.
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción Modificación	Folios
V0	14-06-2016		

Validado por	Revisado por	Aprobado por
	Leonel Romero Contratista	**Sandra Liliana Ángel** Subdirector General de Infraestructura

TABLA DE CONTENIDO

1. CONTEXTUALIZACIÓN 1
1.1 ESTADO DEL ARTE 1
1.2 EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES 10
1.3 MARCO NORMATIVO 14
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 19
3. IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO 22
3.1 EVALUACIÓN DE IMPACTOS 22
3.1.1 EVALUACIÓN SIN PROYECTO 22
3.1.2 EVALUACIÓN CON PROYECTO 24
3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA EX ANTE DEL PROYECTO 61
3.3 CONCLUSIONES 63
4. METODOLOGÍA 67
4.1. SELECCIÓN DE METODOLOGÍA 67
4.1.1 EMISIONES SIN PROYECTO- Línea Base 68
4.1.2 ESCENARIO INERCIAL-Proyección a los años 2021-2050 74
4.1.3 EMISIONES CON PROYECTO- Proyección a los años 2021-2050 75
4.1.4 INSUMOS GENERALES 76
5. CÁLCULO PRELIMINAR DE REDUCCIÓN DE EMISIONES 78
5.1. LÍNEA BASE 78
5.2. PROYECCIÓN INERCIAL 86
5.3. Parámetros de validación ..... **¡Error! Marcador no definido.**
5.4. Plan de monitoreo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
6. APLICABILIDAD DE LA INICIATIVA RELACIONADA AL PROTOCOLO DE KYOTO POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

¡Error! Marcador no definido.
7. CONCLUSIONES ..... **¡Error! Marcador no definido.**
9. BIBLIOGRAFÍA 96

Tabla 1-1. Potencial de Calentamiento Global de los principales GEI 4
Tabla 1-2. Emisiones por actividad 7
Tabla 1-3. Número de vehículos de acuerdo a la población 9
Tabla 1-4. Marco normativo de calidad de aire y reducción de GEI en Colombia 16
Tabla 3-1 Calificación de impactos escenario sin proyecto 23
Tabla 3-2. Calificación del impacto de Movimientos en construcciones por subsidencia 24
Tabla 3-3 Resultados de evaluación de riesgo de daño a edificios 30
Tabla 3-4. Calificación de impacto a niveles piezométricos por efecto barrera 30
Tabla 3-5. Calificación impacto alteración de la calidad de la escena urbana 34
Tabla 3-6. Calificación impacto Incremento de [ ] PMx 36
Tabla 3-7 Resultados modelaciones PM_{10} construcción 37
Tabla 3-8. Resultados modelaciones PST operación 38
Tabla 3-9. Calificación impacto Afectación a la calidad de aire por emisiones de gases 40
Tabla 3-10. Calificación impacto Ruido 41
Tabla 3-11. Datos Pantallas acústicas Ramal técnico 44
Tabla 3-12. Calificación impacto Afectación a la Estructura Ecológica 53
Tabla 3-13. Calificación impacto pérdida cobertura vegetal 55
Tabla 3-14. Calificación impacto Afectación Fauna silvestre 56
Tabla 3-15. Calificación impacto Pérdida de patrimonio arqueológico 59
Tabla 4-1. Aplicabilidad de la metodología seleccionada a la PLMB 69
Tabla 4-2. Inclusión de emisiones en la metodología 70
Tabla 5-1. Descripción de variable SFC 78
Tabla 5-2. Combustibles relevantes y sus densidades 78
Tabla 5-3. Descripción de variables NCV y EF 80
Tabla 5-4. Factores de emisión y poder calorífico por combustible 80
Tabla 5-5. Descripción de variables Ni y Ni,x 80
Tabla 5-6. Cantidad de vehículos por combustible y categoría 81
Tabla 5-7. Descripción de variable IR 82
Tabla 5-8. Factores de emisión por km de categoría vehicular en el año 2014 83
Tabla 5-9. Descripción de variables PBL, TDBL, DD 83
Tabla 5-10. Promedio de ocupación por categoría vehicular 83
Tabla 5-11. Factores de emisión por pasajero km de cada categoría vehicular 84
Tabla 5-12. Resultados del cálculo de linea base para el año 2014 (gCO2 por pasajero) 84
Tabla 5-13. Emisiones de Línea Base por cada 100 pasajeros 85
Tabla 5-14. Emisiones totales de Línea Base 86
Tabla 5-15. Descripción de variables para proyección 87
Tabla 5-16. Proyección de crecimiento de la flota vehicular 88
Tabla 5-17. Total de emisiones escenario inercial ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-18. Total de emisiones escenario inercial basado en el PIB **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 1-1. Representación gráfica del Efecto Invernadero 2
Figura 1-2. Estrategias de los Lineamientos de Política de Cambio Climático 15
Figura 2-1. Localización Primera Línea del Metro de Bogotá 19
Figura 3-1 Clasificación de daños 25
Figura 3-2 Modelo idealizado del edificio. Determinación de la deflexión máxima 26
Figura 3-3 Ficha ejemplo de estimación de riesgo de daños. Caso de excavación con tuneladora. Datos. 27
Figura 3-4 Ficha ejemplo estimación de riesgo de daños. Caso excavación con tuneladora. Resultados. 28
Figura 3-5 Representación de resultados 29
Figura 3-6. Pantalla drenante 32
Figura 3-7 Perfil Longitudinal. Tratamiento bajo el Rio Molinos 33
Figura 3-8 Sección transversal PK 4+680. Tratamientos bajo el río Molinos 34
Figura 4-1. Escenarios de emisiones 67
Figura 4-2. Tendencia de las proyecciones 68
Figura 4-3. Escenarios de emisiones 68
Figura 4-4. Pasos para el cálculo de Línea Base de emisiones 71
Figura 4-5. Ecuación adicional para proyección inercial 75
Figura 4-6. Posibles fuentes de energía eléctrica para el metro 76
Figura 4-7. Fuentes de los insumos generales 77
Figura 5-1. Cambio en los insumos para las proyecciones 87

Gráfica 1-1. Serie histórica de CO_2 a nivel mundial 3
Gráfica 1-2. Emisiones de GEI 2011 (Millones Ton CO_2 eq) 6
Gráfica 1-3. % de emisiones de CO2 atribuidas al consumo de combustible fósil por sector 7
Gráfica 1-4. Emisiones de GEI provenientes del transporte en Cundinamarca y Bogotá ... 8
Gráfica 1-5. Número de vehículos de acuerdo a la población y el año 8
Gráfica 1-6. Promedios nacionales de GEI por medio de transporte en EUA 11
Gráfica 1-7. Cantidad y tipos de proyectos de reducción de GEI en trenes, tranvías y metros 13
Gráfica 5-1. Consumo de combustibles por categoría vehicular 79
Gráfica 5-2. % de vehículos por categoría 81
Gráfica 5-3. % de vehículos por tipo de combustible 82
Gráfica 5-4. Emisiones por categoría en el año 2014 85
Gráfica 5-5. Tendencia de emisiones escenario inercial 89
Gráfica 5-6. Tendencia emisiones escenario inercial basado en el PIB **¡Error! Marcador no definido.**

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 ESTADO DEL ARTE

De acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), la radiación térmica infrarroja emitida por el sol hacia la Tierra es absorbida tanto por las nubes como por la atmósfera y debido a los Gases de Efecto Invernadero (GEI), una vez absorbida, la radiación atmosférica es emitida en todas las direcciones, incluyendo en dirección a la superficie de la Tierra (Figura 1-1

). Así, los GEI atrapan el calor entre la superficie terrestre y el sistema troposférico, lo cual se conoce como el *Efecto Invernadero* (IPCC, 2007).

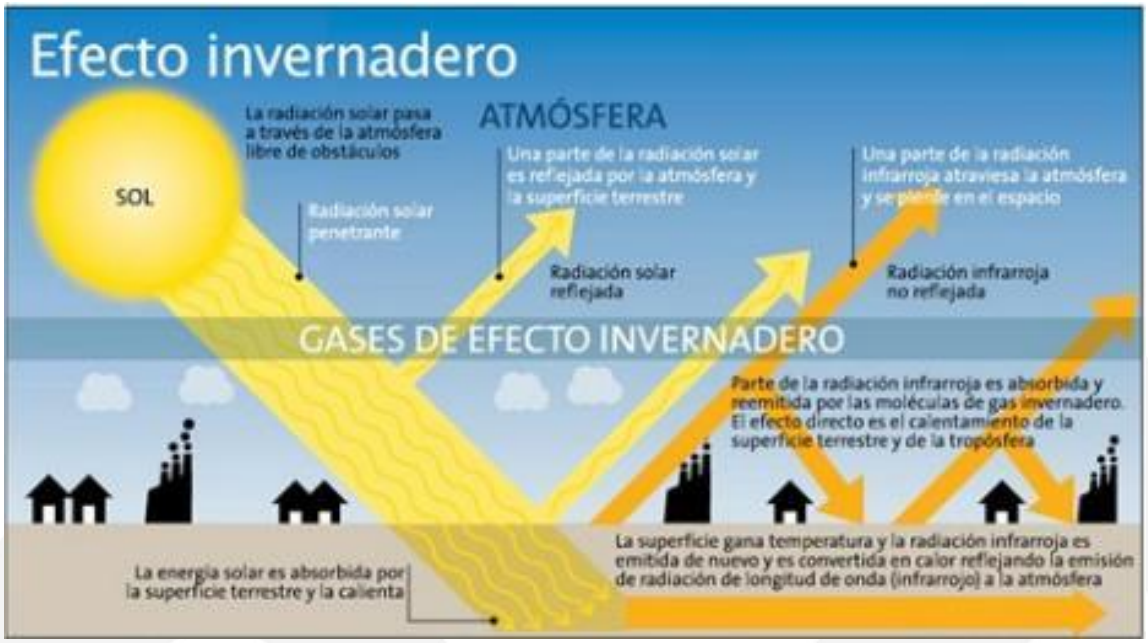
El efecto invernadero es un proceso natural que hace posible la vida ya que sin éste la temperatura promedio de la superficie de la Tierra estaría bajo el punto de congelación del agua. Sin embargo, las actividades antrópicas como la industrialización, la quema de combustibles fósiles y la perdida de hectáreas de bosque por la deforestación asociada a la expansión de la frontera agrícola y el desarrollo urbano, han intensificado este fenómeno causando el *Calentamiento Global* (IPCC, 2007).

Cuando se habla de GEI se hace referencia principalmente al vapor de agua (H_2O), Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Ozono (O_3) y los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs) (IPCC, 2007), entre otros. La Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2013, señala que el CO_2 es el gas atmosférico más abundante producto de las actividades humanas y ha contribuido aproximadamente a un 84% del incremento de la temperatura de la atmosfera terrestre en la última década (OMM, 2013), adicionalmente, el tiempo de residencia del CO_2 en la atmosfera varía de los cientos a los miles de años según la capacidad de absorción de la biósfera y los océanos, lo que hace de su control y reducción un problema importante (Lacis, Schmidt,

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Rind, & Ruedy, 2010). Por estas razones, el CO_2 es el gas más relevante a nivel climático, seguido por el metano, los CFCs, el óxido nitroso y el ozono. (Coghlan, 2012)

Figura 1-1. Representación gráfica del Efecto Invernadero

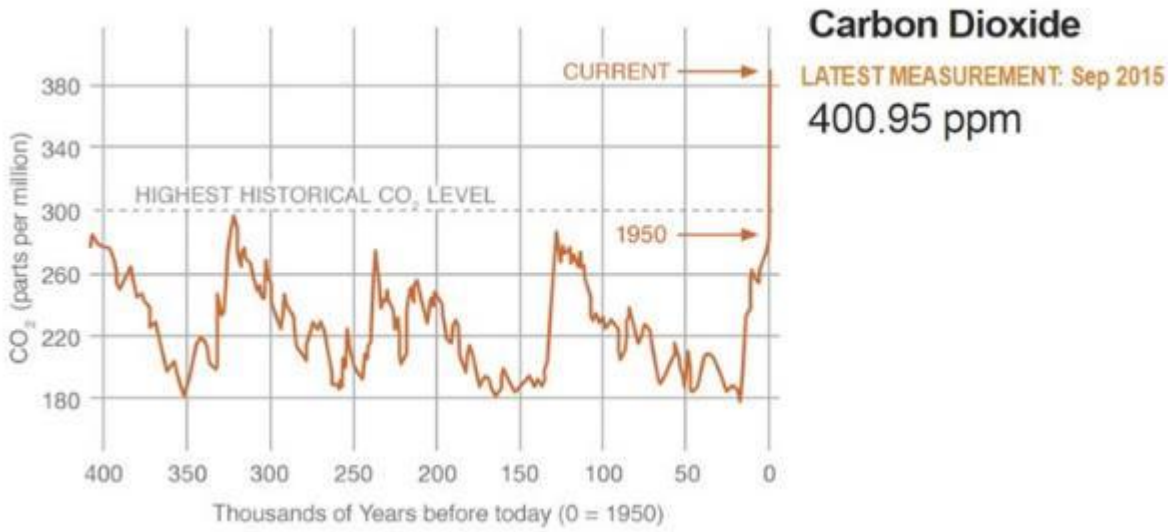


Fuente: UNEP-GRID-Arendal

Ahora, si bien es cierto que a lo largo de la historia han existido importantes episodios de cambio climático de manera natural, también es importante recalcar que las actividades antrópicas del último siglo han logrado acelerar este fenómeno a una escala nunca antes vista (Gráfica 1-1).

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Gráfica 1-1. Serie histórica de CO_2 a nivel mundial



Fuente: (NASA , 2015)

La Gráfica anterior muestra los niveles de CO_2 desde hace 400.000 años con una concentración máxima histórica inferior a 300 partes por millón (ppm). Sin embargo, se observa un aumento significativo desde la década de los 50's hasta nuestros días, pues no solo se alcanza la máxima concentración histórica sino que además se supera esta concentración en cerca de un 30% en solo 65 años. Según la NASA, en Septiembre 2015 se reportó una concentración de 400.95 ppm de CO_2, siendo ésta, la más alta en 400.000 años.

Ante el incremento significativo de las concentraciones de GEI y los problemas ambientales que el mundo enfrenta a raíz de dichas concentraciones, en Diciembre de 1997 en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se preparó el *Protocolo de Kioto,* un compromiso inicialmente firmado por 37 países y la Unión Europea para reducir sus emisiones de GEI, sin embargo, debido a las negociaciones acerca de las normas, el Protocolo no entró en vigencia hasta febrero de 2005, tiempo en el que no menos de 55 Países ratificaron el acuerdo. Actualmente el Protocolo de Kioto cuenta 193 Partes, entre las cuales se incluye Colombia desde diciembre del 2000. (CMNUCC, 2014). Entre los puntos principales del Protocolo están los compromisos de reducción y los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL); estos últimos, definidos en el Artículo 12, que consisten en que los países industrializados inviertan en proyectos de reducción de emisiones en países en vía de desarrollo como una alternativa para alcanzar sus metas de reducción (MADS, 2015). El primer proyecto de MDL se registró en Noviembre del 2004 y para enero del 2010 se registró el proyecto 1000, adicionalmente, desde sus inicios, los MDL han generado cerca de 356 millones de

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE) lo que corresponde a 356.000 Gg de CO_2 equivalente y evidencia una gran contribución de los MDL a la mitigación del cambio climático (CDM WATCH, 2010).

Con el objetivo de dar cumplimiento a la reducción de emisiones y para llevar un control del CO_2 y los demás GEI se requiere cuantificar las emisiones de estos gases, para lo cual es necesario realizar la conversión de las emisiones de cada uno de los GEI en unidades de CO_2 equivalentes (CO_2 eq) debido a la variabilidad existente de los mismos, lo cual permite integrar los efectos de las emisiones de varios gases con el fin de ser comparados. Para esto se utiliza el índice de Potencial de Calentamiento Global (PCG) que describe las características radiativas de los GEI y representa el efecto combinado de los diferentes tiempos que estos gases permanecen en la atmósfera junto con su eficiencia relativa en la absorción de radiación infrarroja saliente. Este índice aproxima el efecto de calentamiento integrado en el tiempo de una masa–unidad de determinados GEI en la atmósfera, en relación con una unidad de dióxido de carbono (IPCC, 2001). Existe un PCG designado para predecir, a diferentes periodos cuál es la intensidad radiativa en la atmósfera que generan los GEI a mediano y largo plazo considerando el potencial de calentamiento que estos gases presentan a través de los años, un ejemplo de esto es el N_2O que tiene un tiempo de duración en la atmósfera de 120 años, una vez emitido su PCG se va reduciendo, sin embargo aún presentará efectos en el calentamiento del planeta a 500 años, lo que indica que las emisiones actuales están determinando las condiciones atmosféricas de las futuras generaciones y es prueba de que los GEI emitidos por actividades humanas representan un problema que requiere acciones globales. En la tabla a continuación se presentan el cálculo de PCG a 20, 100 y 500 años de acuerdo a Florez y Muñoz, 2010 (Tabla 1-1).

Tabla 1-1. Potencial de Calentamiento Global de los principales GEI

Especie	Tiempo de vida	Potencial de 20 años	Calentamiento 100 años	Global 500 años
CO^2	variable	1	1	1
CH_4	12±3	56	21	6.5
N_2O	120	280	310	170
$HFC-23$	264	9100	11700	9800
$HFC-32$	5.6	2100	650	200
SF_6	3200	16300	23900	34900
Perfluorometano	50000	4400	6500	10000
Perfluoroetano	10000	6200	9200	14000
Perfluorohexano	3200	5000	7400	10700

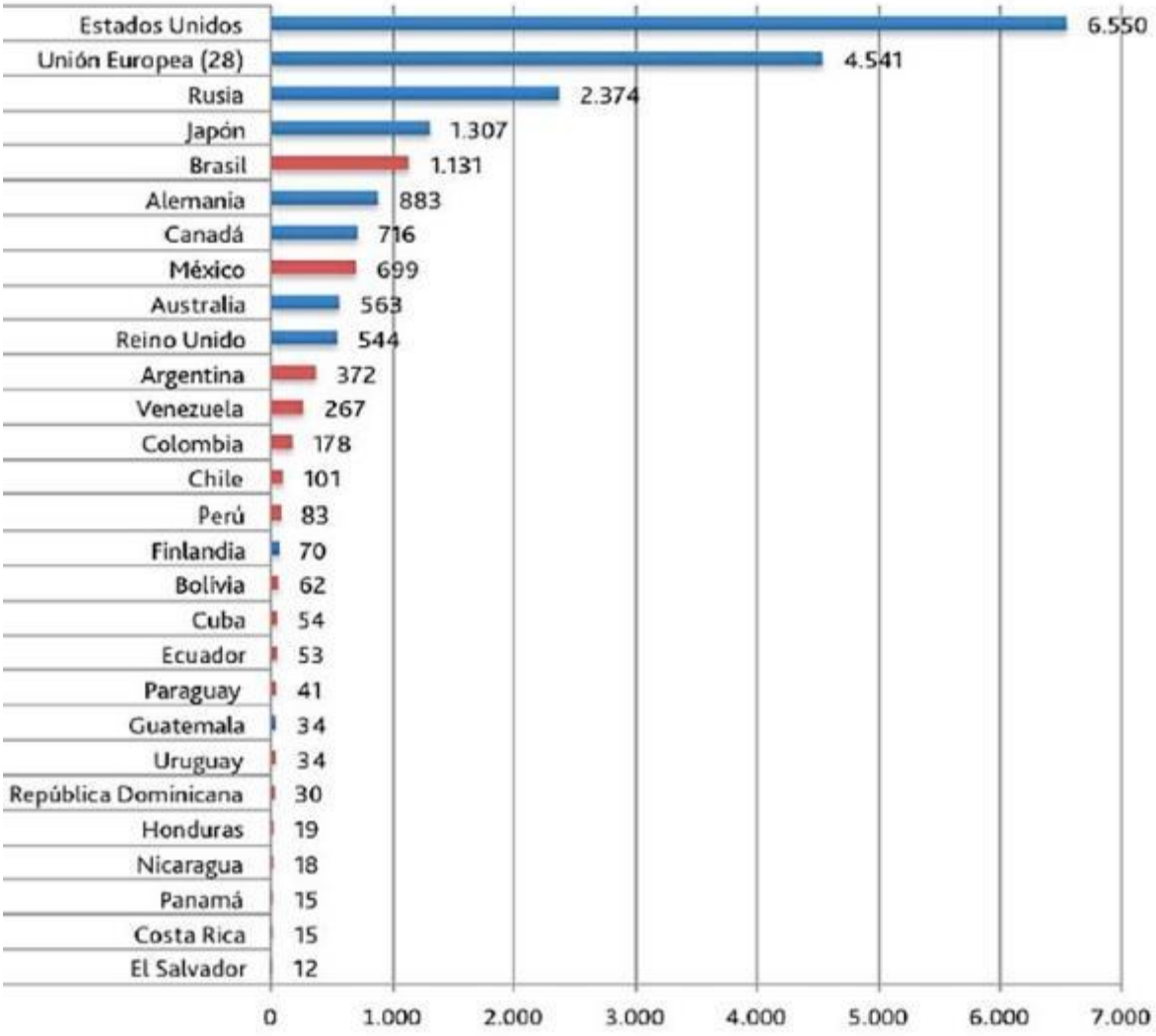
idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Fuente: (FLORES-VELAZQUEZ & MUNOZ LEDO-CARRANZA, 2010)

La emisión directa de los gases presentados en la Tabla anterior proviene de diversos sectores como la agricultura, la industria, el sector energético, el manejo y la disposición de residuos sólidos, el transporte, entre otros. Según información del World Resources Institute, para el año 2011 Colombia, respecto a otros 54 países, ocupó el puesto 40 y respecto los 17 países de Latinoamérica ocupó el puesto 4 con 178 millones de toneladas de CO_2 equivalente, (Gráfica 1-2). Se evidencia que Estados Unidos, la Unión Europea y Rusia lideran la gráfica presentando emisiones significativamente más altas ya que estas superan los miles de millones de toneladas de CO_2 equivalente; sin embargo, es importante tener en cuenta para el análisis de Colombia que aunque el país se encuentra en una posición lejana a los mayores emisores, esta información también se debe relacionar con el número de habitantes y el crecimiento de las actividades económicas de las naciones contempladas en el estudio, especialmente en lo referente al consumo de combustibles fósiles. (D'Elia, 2014)

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Gráfica 1-2. Emisiones de GEI 2011 (Millones Ton CO_2 eq)



Fuente: D'Elia, 2014 con información del World Resources Institute, 2011

De acuerdo al último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, en Colombia, los módulos que generan mayores emisiones anuales son agricultura y energía, este último se divide en industrias y transporte (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (IDEAM, 2009). El presente documento abordará los GEI provenientes del transporte terrestre de la ciudad de Bogotá, y el cambio en sus concentraciones con la puesta en marcha de la PLMB frente al modelo convencional. Según las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, para el sector transporte los GEI son: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O) (IPCC, 2006).

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

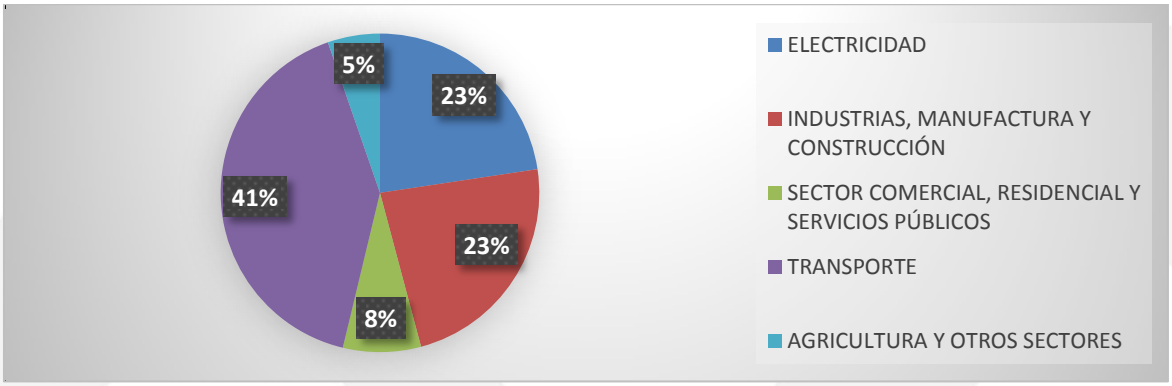
Tabla 1-2. Emisiones por actividad

Módulos y actividades/categorías principales		% de CO2 eq.
Energía	Transporte	12,1
	Industrias de la energía	8,5
	Industrias manufactureras y de la construcción	7,3
Agricultura	Fermentación entérica	18,5
	Suelos Agrícolas	18,1
USCUSS	Emisión de CO2 del Suelo	4,1
	Conversión de bosques y praderas	9,2
Residuos	Disposición de residuos sólidos en la tierra	5,0
Varios	**Acumulado de los más representativos:**	**80%**

Fuente: (IDEAM, 2009)

El sector transporte en Colombia está compuesto por aviación nacional, transporte por carretera, transporte ferroviario y navegación nacional. Este sector emite **21768,68 Gg de CO_2 equivalente**, lo que implica una participación del **12,09%** del total de las emisiones nacionales superado únicamente por el sector agropecuario (IDEAM, 2009), no obstante el Banco Mundial proporciona datos del porcentaje de CO_2 proveniente del consumo de combustibles fósiles al año 2012, lo que evidencia que el transporte es el sector que presenta más emisiones por el uso de dicho combustible, seguido por las industrias y otros sectores[1] (Gráfica 1-3). (The World Bank Group, 2014)

Gráfica 1-3. % de emisiones de CO2 atribuidas al consumo de combustible fósil por sector



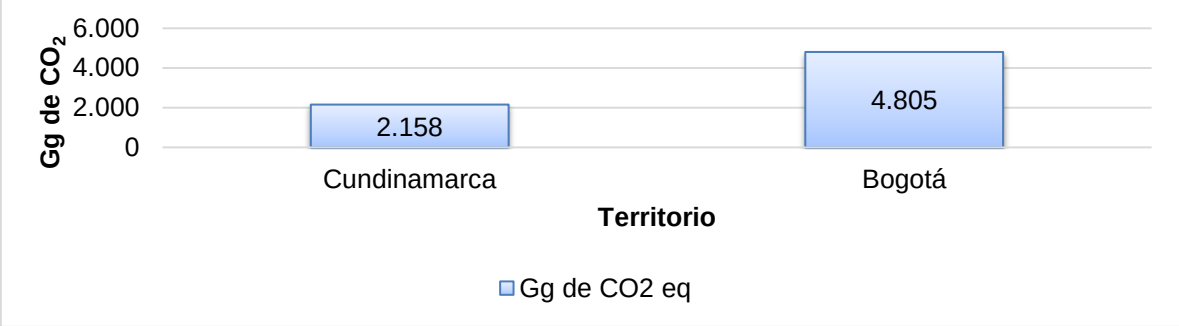
Fuente: Equipo Metro, 2015 con datos del Banco Mundial, 2014

[1] Otros sectores incluyen actividades comerciales y residenciales, agricultura, pesca y tala. (The World Bank Group, 2014)

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Según la información reportada por IDEAM, 2012, en el año 2008 en Colombia se generaron un total de **21.768,68 Gg de CO_2 eq** producto del transporte por carretera y Cundinamarca y Bogotá el generaron **2.158 y 4.805 Gg de CO_2 eq** respectivamente, lo que implica que Bogotá generó más emisiones en este sector que toda Cundinamarca (Gráfica 1-4).

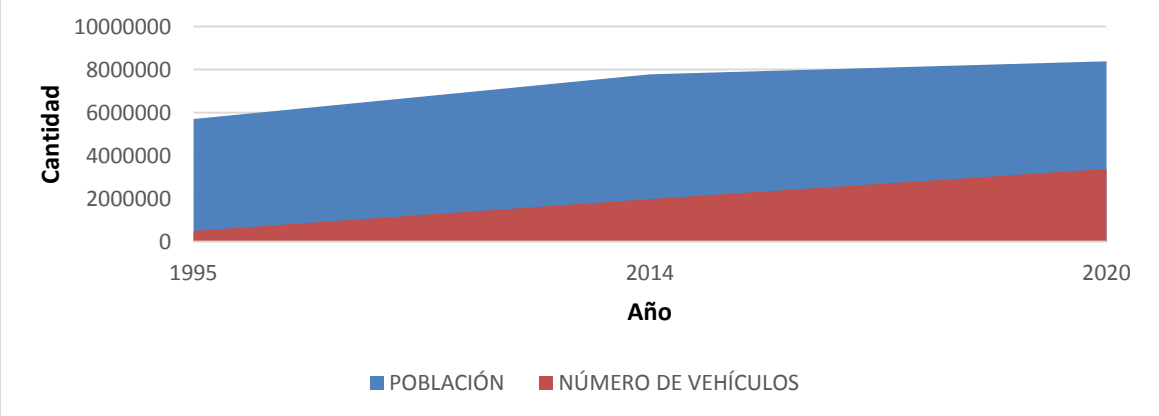
Gráfica 1-4. Emisiones de GEI provenientes del transporte en Cundinamarca y Bogotá



Fuente: Equipo Metro, 2015 a partir de IDEAM, 2009 e IDEAM, 2012

Según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), al 2020 se estima que la población de la ciudad de Bogotá alcance los 8'380.801 habitantes (DANE, 2015), de acuerdo a esto se espera del mismo modo un crecimiento exponencial en la demanda del parque automotor y como consecuencia del aumento del número de vehículos que usan combustibles fósiles (Gráfica 1-5 y Tabla 1-3), se proyecta también un incremento en las emisiones de GEI.

Gráfica 1-5. Número de vehículos de acuerdo a la población y el año



Fuente: Equipo Metro, 2015

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tabla 1-3. Número de vehículos de acuerdo a la población

INDICADORES	AÑO		
	1995	2014	2020
POBLACIÓN*	5’699655	7’776845	8’380801
NUMERO DE VEHÍCULOS** (Incluye servicio público, particulares y motos)	497.747	1’980.127	3’380.127

**Información tomada de las proyecciones de crecimiento poblacional del DANE*

***Tomado de Indicadores de Movilidad sostenible del Observatorio Ambiental de Bogotá*

Fuente: Equipo Metro, 2015

Ante el creciente interés de generar opciones de transporte sostenibles, surge la necesidad de que no solamente reduzcan las emisiones de GEI, sino que también mejoren las condiciones atmosféricas y la calidad de vida de la población, al tiempo que proporcionan acceso y apoyan la movilidad y el desarrollo económico (Ríos, et al, 2013). Teniendo en cuenta esto, el Ministerio de Transporte, en el marco de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) (MADS & DNP, 2011) formuló el **PLAN DE ACCIÓN SECTORIAL DE MITIGACIÓN**, en el cual se incluye la reconversión tecnológica de sistemas de transporte terrestre automotor y se definieron objetivos para la ciudad de Bogotá; entre estos está la sustitución de la flota de transporte público con tecnología eléctrica (MINTRANSPORTE, 2014)

Una alternativa para el cumplimiento de dichos objetivos en la reducción de GEI es la intervención en el sector transporte mediante el uso de sistemas más eficientes y limpios como el Metro.

La Primera Línea del Metro de Bogotá se plantea como una solución a los problemas de movilidad de la ciudad y de forma simultánea genera amplios beneficios ambientales en términos de reducción de gases de efecto invernadero. (Jaramillo & Giret, 2013)

Actualmente, los vehículos que usan combustibles fósiles en el sector transporte, son responsables de un gran porcentaje de emisiones GEI generados por la ciudad de Bogotá; con la llegada del metro, la población que usa estos vehículos comenzará a movilizarse en el metro por sus tiempos de recorrido más cortos y su operación eficiente. Esta situación retirará una gran cantidad de fuentes móviles de contaminación atmosférica y dado que el Metro de Bogotá funcionará con energía eléctrica (fuente de energía libre de emisiones atmosféricas directas de GEI) (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2005), los niveles de emisión serán reducidos considerablemente en la ciudad de Bogotá; Estos beneficios atmosféricos pueden ser aprovechados para reducir los costos del proyecto metro mediante las diferentes opciones orientadas a reducir los GEI y el cambio climático. (Jaramillo et al., 2013)

A continuación se listan casos de reducción de GEI y otros antecedentes de operación de Metros eléctricos y sistemas eficientes de transporte a manera de ilustración de la efectividad potencial del proyecto.

1.2 EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES

La inversión en tecnologías para mejorar la eficiencia del transporte no solo se enfoca en mejorar la movilidad de las ciudades sino también en reducir las emisiones atmosféricas que estas generan (Gonzales, 2010). El transporte ferroviario es una medida que las ciudades que tienden a un crecimiento acelerado toman para dar solución a la movilidad de la población (Jaramillo et al., 2013). Los trenes, que usan energía eléctrica han sido responsables de la reducción de emisiones de GEI para el sector transporte como se evidencia en los siguientes casos:

Transporte público en Estados Unidos

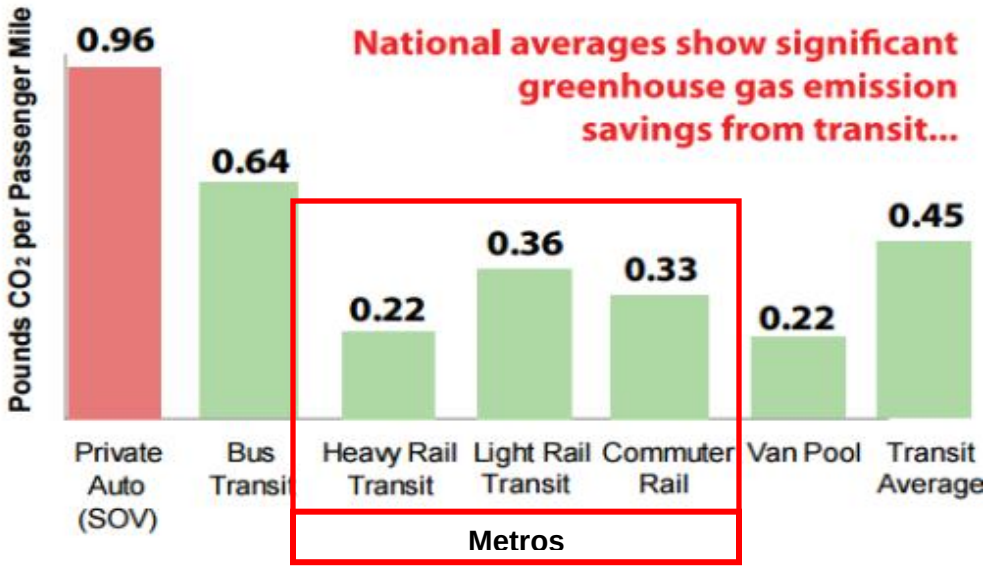
Según la Asociación Americana de Transporte Público (American Public Transportation Association) si un solo ciudadano elige usar transporte público en lugar de conducir un vehículo particular para un viaje de aproximadamente 32km puede reducir sus emisiones anuales en 2,1 ton de CO_2 lo que equivale a un 10% de las emisiones generadas por una sola unidad familiar en Estados Unidos. (APTA, 2008)

http://www.viajarafrancia.com/metro-en-francia/

El Departamento de Transporte de USA realizó un estudio de las emisiones de GEI generadas por los diferentes modos de transporte arrojando como resultado que, a comparación del transporte público convencional y los vehículos particulares en 11 ciudades de Estados Unidos; los transportes ferroviarios generan menos emisiones de CO_2 por pasajero por Kilómetro recorrido, el promedio para los trenes de EUA es de 0,3 lb (0,084 kg) de CO_2, una cifra importante dado que es 19% menor que el transporte privado y público tradicional. (Gráfica 1-6) (U.S. Department of Transportation, 2010).

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Gráfica 1-6. Promedios nacionales de GEI por medio de transporte en EUA



Fuente: (U.S. Department of Transportation, 2010)

Metro subterráneo de Nueva York

La Autoridad Metropolitana de Transporte de Nueva York (Metropolitan Transport Authority) señala que el medio de transporte que genera menos emisiones en el país es el tren subterráneo que tiene aproximadamente 6,1 millones de pasajeros al día y presenta emisiones de 0,033 kg de CO_2 por pasajero por km, evitándole a la ciudad, emisiones alrededor de 17 millones de toneladas de CO_2 equivalente (METROPOLITAN TRANSPORT AUTHORITY, 2012)

http://www.turismonuevayork.com/metro-de-nueva-york/

Metro de Madrid

Según el cálculo de la huella de carbono, en el 2013 el Metro de Madrid, produjo un total de 150,296 Gg de CO_2 equivalente y al 2014 obtuvo una reducción de 75,696 Gg de CO_2, cifra que, comparada con otros medios de transporte como autobuses, taxis y vehículos particulares resulta en que las emisiones del GEI del Metro son diez veces inferiores a las de un vehículo o seis veces menores que las de una motocicleta, ya que estos medios mantienen sus emisiones constantes o las incrementan" (Metro de Madrid, 2014).

http://www.adslayuda.com/2015/08/24/el-metro-de-madrid-tendra-4g/

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Metro de Monterrey

Las proyecciones de reducción de emisiones de GEI estimadas para el metro de Monterrey (Metrorrey) son; al año 2017 una reducción de 25,383 Gg de CO_2 equivalente anual, al año 2022, 32,395 Gg y al año 2032 35,716 Gg, reducciones significativas de GEI para la tercera línea del Metro qué por su tracción eléctrica, ha contribuido a la disminución de GEI de la ciudad. Estas proyecciones se calcularon considerando la reducción en la cantidad de vehículos que circulará después de la puesta en marcha del metro y el incremento de las velocidades de operación del transporte público en Monterrey (Ochoa, 2012).

http://www.fotolog.com/metro/81037097/

Metro de Quito

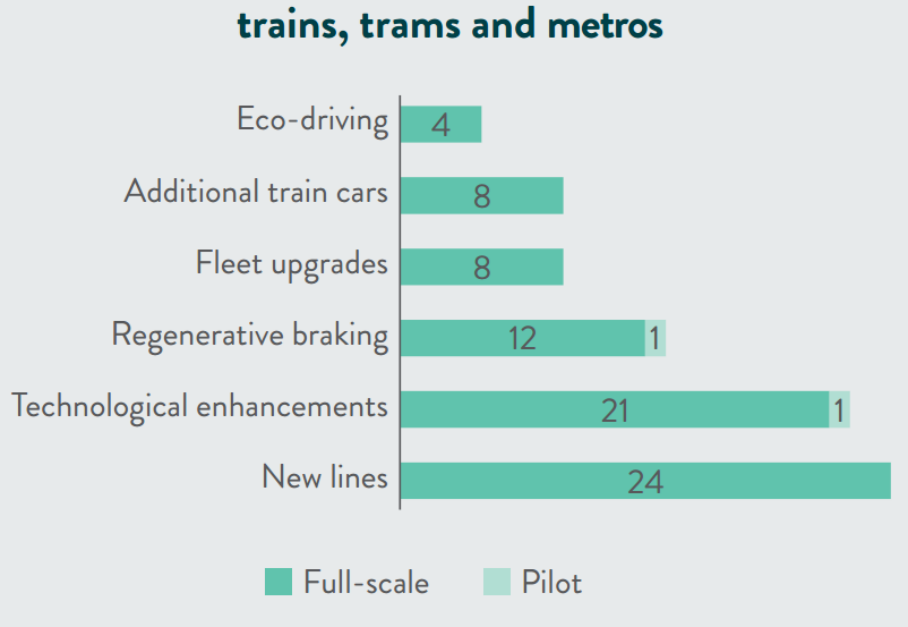
Como parte del Estudio de Impacto Ambiental de la primera línea del metro de Quito, se calculó que las emisiones de GEI se reducirán en unas 163,942 Gg de CO_2 al año, lo que presenta una contribución del metro a la mitigación del cambio climático, y una opción que supera ambientalmente a otros medios de transporte público. (ASOCIACIÓN GESAMBCONSULT – EVREN, 2014).

http://www.andes.info.ec/es/economia/metro-quito-recibe-credito-banco-mundial-usd-205-

En todo el mundo, los metros han sido una opción para la reducción de GEI, no obstante, el transporte ferroviario no solo reduce emisiones con su operación eléctrica inicial. Como parte de las iniciativas dirigidas al sector transporte y el cambio climático, se ha tomado como alternativa efectiva la reducción de emisiones mediante cambios y mejoras al sistema energético de los metros, incluyendo adiciones a las líneas iniciales y cambios de modalidad de las mismas; en la siguiente gráfica se observan 80 iniciativas orientadas a la reducción de GEI usando como foco los sistemas de metro existentes en los cuales, la opción más usada es la adición de nuevas líneas, seguido por mejoras en las tecnologías, y el frenado de los trenes (Gráfica 1-7) (International Association of Public Transport, 2014).

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Gráfica 1-7. Cantidad y tipos de proyectos de reducción de GEI en trenes, tranvías y metros



Fuente: (International Association of Public Transport, 2014)

A continuación se mencionan algunos de los resultados obtenidos en cuanto a proyecciones reducción de emisiones de GEI para algunas de las ciudades que han implementado iniciativas en sus sistemas de transporte férreo (IAPT, 2014).

Metro de São Paulo

Se planea, como parte de las Acciones del sector transporte contra el Cambio climático que la red de metro de São Paulo se expanda de 75.1km a 225km para el año 2025. Lo cual aumentará la demanda actual de 4.4 millones de pasajeros a 6.9 millones, tan solo en el 2018. Lo anterior estima una reducción de 1.350 Gg de CO_2 al año 2018, frente a los 820 Gg que reduce actualmente (IAPT, 2014).

Metro de Munich

Se ha estudiado que una adición de 2,7 km de línea de metro en Munich, Alemania reducirá 245 toneladas de CO_2 al año 2016. En Dresden, los nuevos servicios reducen alrededor de 28 toneladas al día (IAPT, 2014).

Metro ligero de Granada

La construcción de una red de Metro ligero en Granada, España, cubrirá 4 millones de viajes adicionales al año, lo que resultará en una reducción del 15% en el uso de

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

vehículos particulares y como consecuencia de esto, una reducción del 10 % en las emisiones de GEI del sector (IAPT, 2014).

Tren de Innsbruck (Austria)

La expansión del Sistema ferroviario de Innsbruck, Austria, entrará en operación en el año 2020, reduciendo 1,405 Gg de CO_2 al año (IAPT, 2014).

En el contexto nacional es importante mencionar que en Colombia ya existe un antecedente de reducción de GEI por la implementación del Metro en Medellín, Antioquia, y tan solo en el año 2014 se dejaron de emitir 188,256 Gg de CO_2, y se redujo el consumo de 20’ 146.292 millones de galones de diésel (Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Limitada, 2014).

A continuación, se aborda la contextualización desde el punto de vista normativo.

1.3 MARCO NORMATIVO

Desde el planteamiento inicial del impacto que el calentamiento global y el cambio climático tiene en el mundo, se han creado iniciativas a escala internacional, nacional, local y por sector, que incluyen normas, acuerdos, convenios, planes, estrategias etc. Para la adaptación y la mitigación de la contaminación atmosférica y el cambio climático (MADS, 2015).

El primer reconocimiento a los problemas del ambiente se dio en el año 1972, en Estocolmo como parte de la Conferencia del Ambiente Humano de la ONU; el tema principal de esta reunión fue incentivar la cooperación internacional ante los problemas que enfrenta el planeta (CMNUCC, 2014).

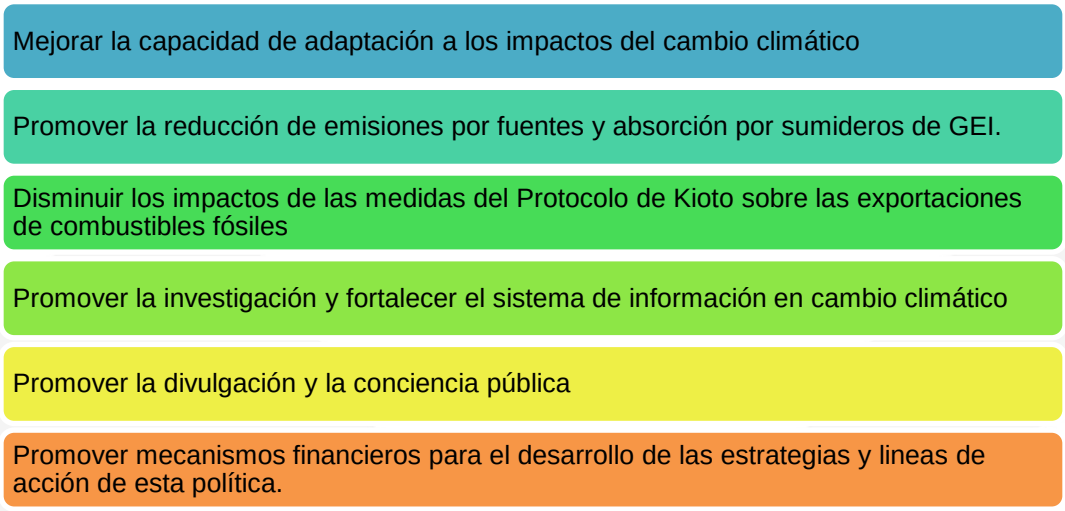
Posteriormente, la siguiente reunión de las Naciones Unidas para discutir temas ambientales, tuvo lugar en Rio de Janeiro en el año 1992, en la que se creó la Agenda 21; un plan para todas aquellas áreas en que la actividad humana tiene un efecto negativo en el medio ambiente. Adicionalmente en esta reunión surgió la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, con el objetivo de estabilizar la concentración de GEI en la atmosfera sin comprometer las necesidades de asegurar producción de alimentos y permitiendo el desarrollo y crecimiento económico (CMNUCC, 2014). El acuerdo fue firmado por 154 países en ese entonces y Colombia se sumó a este con la expedición de la Ley 164 de 1994. Al ratificar el acuerdo la nación se compromete a promover la cooperación a la investigación científica, la inserción de tecnologías limpias, las campañas de sensibilización, la elaboración de planes nacionales y regionales entre otros y mantener un registro de todas las iniciativas y sus resultados ante la CMNUCC. (Ley 164 de 1994)

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

A continuación y después de tres reuniones de las Partes, en el año 1997 en Kioto se planteó un protocolo para definir las metas de reducción de GEI de los países Industrializados, la definición del proceso a seguir ante el incumplimiento de los objetivos y un programa para incentivar el cumplimiento de los compromisos adquiridos mediante bonos de carbono y MDL. Los *Mecanismos de Desarrollo limpio* se encuentran definidos en el artículo 12 del Protocolo de Kioto, y permiten a un país con un compromiso de emisión, la implementación de un proyecto de reducción de emisiones en países en desarrollo. Estos proyectos pueden ganar bonos de carbono cada uno equivalente a una tonelada de CO_2, lo que se puede contar en el cumplimiento de los objetivos del protocolo de Kioto (UNFCCC, 2014)

El protocolo de Kioto fue ratificado por 55 naciones en como un mínimo para garantizar su operación y en Colombia fue aprobado mediante la Ley 629 de 2000 (MADS, 2015), posteriormente en el año 2001 el IDEAM publicó ante la CMNUCC el Inventario Nacional de GEI para los años 1990 y 1994. En 2002, se crearon los Lineamientos de Política de Cambio Climático (Figura 1-2) y la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático como entidad que mediante el CONPES 3242 "Estrategia Nacional para la Venta de Servicios Ambientales de Mitigación de Cambio Climático" de 2003 definía los lineamientos necesarios para la introducción, control y presentación de los proyectos MDL y posteriormente fue reemplazada por el Grupo para la Mitigación del Cambio Climático (MADS, 2015).

Figura 1-2. Estrategias de los Lineamientos de Política de Cambio Climático



Fuente: (MAVDT &PND, 2002)

Considerando las necesidades de los proyectos MDL, en el año 2010 y mediante las Resoluciones 2733 y 2734 se redujeron los tiempos de respuesta para acelerar el proceso

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

interno de evaluación y reglamentar el procedimiento de aprobación nacional de MDL (MADS, 2015).

En el año 2010, el IDEAM, como entidad designada para las comunicaciones ante la CMNUCC, presentó el Inventario de Sumideros de GEI como la Segunda Comunicación Colombia y cuyo cálculo se realizó por medio de las metodologías aprobadas por la CMNUCC (MADS, 2015).

Una vez finalizado el primer periodo del Protocolo de Kioto, en la COP 18 se ratificó su segundo periodo de vigencia desde enero de 2013 hasta diciembre de 2020 (MADS, 2015). A finales de 2015 se llevó a cabo una reunión de las partes en Paris (COP21), en la cual se definieron nuevas metas para actualizar el protocolo y generar objetivos claros para impulsar la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático entre las metas definidas se estableció el compromiso de mantener la temperatura media global por debajo de 2°C y trabajar para que el aumento de esta temperatura no supere 1,5°C, en pro de reducir las consecuencias que puede causar el cambio climático especialmente a los países en vía de desarrollo (CMNUCC, 2015).

A continuación se encuentran las normas que aplican en materia de calidad de aire con respecto al sector transporte y la regulación de incentivos a proyectos de mitigación y sus definiciones respectivas:

Tabla 1-4. Marco normativo de calidad de aire y reducción de GEI en Colombia

SUSTITUCIÓN DE TECNOLOGÍAS TRADICIONALES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CARBONO	
DECRETO 477 DE 2013	*Por medio del cual se adopta y estructura el Plan de Ascenso Tecnológico para el Sistema Integrado de Transporte Público y se dictan otras disposiciones*
SOLICITUD DE LA EXCLUSIÓN DE IMPUESTO SOBRE LAS VENTAS	
LEY 223 DE 1995	*Artículo 4: Bienes Excluidos del Impuesto.* *Los equipos y elementos nacionales o importados que se destinen a la construcción, instalación, montaje y operación de sistemas de control y monitoreo, necesarios para el cumplimiento de las disposiciones, regulaciones y estándares ambientales vigentes, para lo cual deberá acreditarse tal condición ante el Ministerio del Medio Ambiente*
DECRETO 2532 DE 2001	*Por el cual se reglamenta el numeral 4 del artículo 424-5 y el literal f) del artículo 428 del Estatuto Tributario que especifica los bienes excluidos del impuesto sobre las ventas.*
RESOLUCIÓN 978 DE 2007	*Por la cual se establece la forma y requisitos para presentar ante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial las solicitudes de acreditación para obtener la certificación de que tratan los artículos 424-5 numeral 4 y 428 literales f) e i) del Estatuto Tributario, con miras a obtener la exclusión de impuesto sobre las ventas correspondiente.*

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

RESOLUCIÓN 0778 DE 2012	*por la cual se modifica la Resolución número 978 de 2007 con la adición de requisitos específicos para la exclusión del IVA*
CONTINGENTES PARA LA IMPORTACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	
DECRETO 2909 DE 2013	*Por el cual se modifica parcialmente el Arancel de Aduanas y se establecen unos· contingentes para la importación de vehículos eléctricos e híbridos. considerando la necesidad de estimular el uso de fuentes móviles que contribuyan a la disminución de emisiones contaminantes al medio ambiente, los beneficios en la salud humana que esta generaría y buscando disminuir la dependencia de combustibles fósiles no renovables, recomendó modificar las tarifas arancelarias para los chasises de vehículos automóviles para transporte de más de 16 pasajeros y vehículos de transporte de mercancías, con motor eléctrico, con motor híbrido o con motor de funcionamiento exclusivo con gas natural.*
MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO	
RESOLUCIÓN 2733 DE 2010	*"Por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país, se establece el procedimiento para la aprobación nacional de programas de actividades (PoA- por sus siglas en inglés) bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y se reglamente la autorización de las entidades coordinadoras"*
RESOLUCIÓN 2734 DE 2010	*"Por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL y se dictan otras disposiciones"*
PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN DEL AIRE PARA BOGOTÁ	
DECRETO 98 DE 2011	*Por el cual se adopta el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá. "…Objetivo 9. Uso de combustibles y tecnologías más limpias…se dio prioridad a las fuentes industriales y de transporte por ser las que tienen un mayor aporte a la contaminación por material particulado como se determinó en la actualización del inventario de emisiones de la ciudad".*
NORMAS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE	
DECRETO 948 DE 1995	*Por el cual se reglamentan; parcialmente, la Ley 23 de 1973; los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire*
DECRETO 979 DE 2006	*Por el cual se modifican los artículos 7°, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. Sobre los tiempos de exposición a los contaminantes*
RESOLUCIÓN 0601 DE 2006	*Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel*

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

	de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
RESOLUCIÓN 610 DE 2010	*Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. Cambian los niveles máximos permisibles de los contaminantes criterio*
NORMATIVIDAD PARA FUENTES MOVILES	
RESOLUCIÓN 1048 DE 1999	*Por la cual se fijan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diésel, en condiciones de prueba dinámica, a partir del año modelo 2001*
RESOLUCIÓN 910 DE 2008	*Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones*
RESOLUCIÓN 005 DE 1996	*Por la cual se reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diésel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones*

Fuente: Equipo Metro, 2015 con información de la Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015

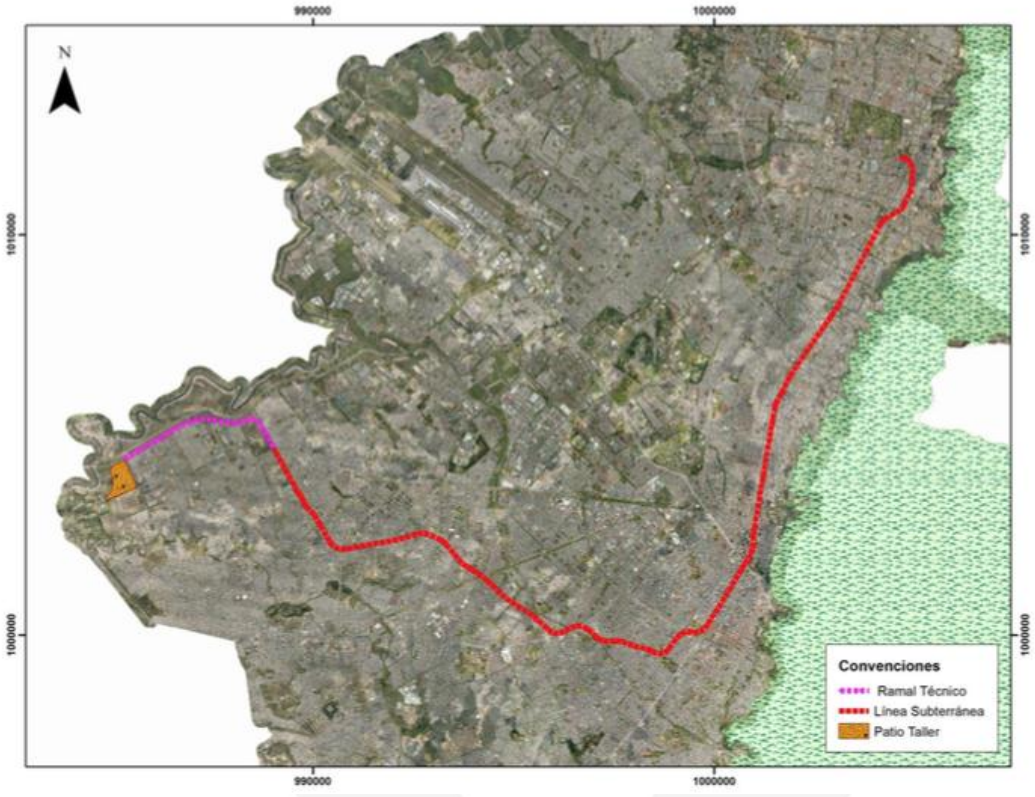
idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá, en adelante PLMB, como su nombre lo indica, se localiza en la ciudad de Bogotá D.C. iniciando en la Localidad de Bosa y finalizando en la Localidad de Usaquén. El punto de inicio se definió en la zona denominada Bosa 37 donde se instalará el Patio Taller, ubicado en el sur occidente de la ciudad, continúa con un tramo elevado o viaducto ferroviario denominado Ramal Técnico de conexión entre el patio-taller y la estación Portal de Las Américas y desde allí comienza la Línea Subterránea que discurre hacia el centro y luego se dirige al norte de la ciudad. El diseño de la línea se ha dividido en 4 tramos y contempla la construcción de 27 estaciones para la alimentación de usuarios (Figura 2-1).

El trazado de la PLMB presenta una longitud de 27,06 km y se han previsto 27 estaciones, a esto se suman 4,5 km de longitud del ramal técnico.

Figura 2-1. Localización Primera Línea del Metro de Bogotá



Fuente: IDU, 2015.

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

El trazado de la PMLB, inicia en el Patio taller ubicado en el predio Bosa 37, de donde se desprende el ramal técnico que llega hasta la estación del Portal de Las Américas y allí inicia la Línea Subterránea que se ha dividido por condiciones geográficas, geométricas, geotécnicas y número de estaciones, en cuatro tramos. A continuación se describe el trazado del ramal técnico y cada uno de los tramos de la línea subterránea:

- Ramal Técnico

Este tramo corresponde a un viaducto que tiene su origen en los patios y talleres de la PLMB en el predio denominado Bosa 37 con dirección Norte, de allí toma la dirección Este para cruzar el Canal de Tintal IV y situarse al sur de la Avenida Longitudinal de Occidente ALO (construida). El trazado se mantiene desde el P.K. 0+240 hasta el 3+065 entre la ALO y las edificaciones existentes construidas con dos alineaciones rectas unidas por una alineación circular de radio 930 m. Luego se inscribe una curva-contracurva de radios 733 m y 340 m para adentrarse en el predio de Gibraltar entre el P.K. 3+065 y el P.K. 3+978. El trazado continúa paralelo al Canal del Tintal II con una alineación recta hasta el P.K. 4+464. Por último se traza una alineación circular de radio 2000 m para conectar con el origen del tramo I de la Línea Subterránea.

- Tramo I

Tiene su origen al Oeste de Bogotá en el Tintal y finaliza próximo al cruce de la Avenida 68 con la Avenida 1o de Mayo, a lo largo de un recorrido de 6,67 km. En este tramo se diseñan siete (7) estaciones denominadas: Portal de Las Américas, Casablanca, Villavicencio, Palenque, Boyacá y 1o de Mayo, en sentido inicio-fin. El trazado de desarrolla por la Avenida 1o de Mayo.

- Tramo II

Tiene su inicio en el punto final del Tramo I y llega hasta la Carrera 10 con la Avenida Jiménez pasado el Parque del Tercer Milenio. Presenta una longitud de 7,33 km. En este tramo se diseñan siete (7) estaciones denominadas: Avenida 68, Rosario, NQS, Santander, Nariño, Hortúa y San Victorino, en sentido inicio-fin. El trazado se desarrolla por la Avenida 1o de Mayo.

- Tramo III

Tiene su inicio en el punto final del Tramo II y finaliza pasada la Plaza de Nuestra Sra. de Lourdes, adentrándose en la Carrera 11. Presenta una longitud de 6,17 km. En este tramo se diseñan siete (7) estaciones denominadas: Lima, La Rebeca, Parque Nacional, Gran Colombia, Marly, Santo Tomás y Plaza de Lourdes, en sentido inicio-fin. El trazado se

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

desarrolla por la Carrera 10 y la Carrera 13.

- Tramo IV

Este tramo final arranca desde el punto final del Tramo III y finaliza en la Calle 127 con la Carrera 11C. Presenta una longitud de 6,90 km. En este tramo se diseñan seis (6) estaciones denominadas: Avenida Chile, Calle 85, Parque 93, Calle 100, Usaquén y Calle 127, en sentido inicio-fin. El trazado se desarrolla por la Carrera 11 y la Carrera 9.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

3. IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO

(Revisar sección D del PDD)

La información referente a los impactos ambientales fue tomada literalmente del Estudio de Impacto Ambiental de la PLMB.

3.1 EVALUACIÓN DE IMPACTOS

La evaluación de los impactos se realiza en dos escenarios: Sin proyecto y Con proyecto. A continuación se presenta la evaluación para cada escenario.

3.1.1 EVALUACIÓN SIN PROYECTO

Las condiciones actuales del área de influencia, como se evidenció en la caracterización de la línea base ambiental indican la influencia de la intervención antrópica en los diferentes componentes, actividades de la zona como la industria y el transporte vehicular, son actividades determinantes en la calidad ambiental, es así como se observa que elementos como la calidad del aire, se ven afectadas por la emisión de ruido y gases contaminantes además de; y las aguas superficiales por el aporte de vertimientos industriales, residenciales y residuos sólidos. Por otra parte, la falta de planificación urbana es un factor que incrementa la problemática ambiental en la zona.

En la siguiente tabla se presenta el resultado de la evaluación de impactos correspondiente a las actividades observadas actualmente en la zona de estudio, donde el transporte vehicular y la actividad industrial generan los impactos más significativos, que son alteración de aguas superficiales, afectación de calidad del aire y afectación al medio por emisiones acústicas (Tabla 3-1).

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tabla 3-1 Calificación de impactos escenario sin proyecto

Actividad	Impacto	I
Actividad Industrial	Alteración de la calidad de las aguas superficiales	-51
Labores de mantenimiento	Alteración de la calidad de las aguas superficiales	35
Transporte vehicular	Afectación calidad aire (emisión gases)	-54
Uso Industrial	Afectación calidad aire (emisión gases)	-36
Implantación de zonas verdes y arborización	Afectación calidad aire (filtro gases)	23
Actividad Industrial	Afectación calidad aire (emisión material particulado)	-41
Implantación de zonas verdes y arborización	Afectación calidad aire (filtro material particulado)	22
Transporte vehicular	Alteración de la calidad de la escena urbana	-34
Implantación de zonas verdes y arborización	Alteración de la calidad de la escena urbana	44
Implantación de zonas verdes y arborización	Afectación de hábitat de fauna asociada (Preservación)	25
Implantación de zonas verdes y arborización	Afectación de la Cobertura vegetal (Preservación)	25
Implantación de zonas verdes y arborización	Afectación Estructura Ecológica Principal - Componente General (Preservación)	25
Actividad Industrial	Afección a elementos estructura urbana	-21
Transporte vehicular	Afección a elementos estructura urbana	-27
Implantación de zonas verdes y arborización	Afección a elementos estructura urbana	22
Actividad Industrial	Afectación movilidad	-22
Transporte vehicular	Afectación movilidad	-30
Extracciones de agua (con o sin concesión)	Descenso niveles piezométricos en pozos y aljibes	-33
Implantación de zonas verdes y arborización	Afectación al paisaje: incremento y continuidad	25
Transporte vehicular	Alteración propiedades y calidad suelo	-26
Actividad Industrial	Alteración propiedades y calidad suelo	-35
Crecimiento urbanístico	Alteración del patrón de infiltración	-34
Labores de mantenimiento	Alteración de la red de drenaje superficial	53
Crecimiento urbanístico	Alteración de la red de drenaje superficial	-35
Transporte vehicular	Afectación al medio por emisiones acústicas	-50
Actividad Industrial	Afectación al medio por emisiones acústicas	-38
Implantación de zonas verdes y arborización	Afectación confort acústico (filtro ruido)	24
Transporte vehicular	Afectación al medio por vibraciones	-36
Actividad Industrial	Afectación al medio por vibraciones	-25

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Fuente: Adaptado de IVICSA por Equipo Metro IDU, 2015.

3.1.2 EVALUACIÓN CON PROYECTO

Medio Físico

A continuación se presenta una descripción de los impactos más relevantes evaluados en el componente físico.

Movimientos en construcciones por subsidencias

El Impacto obtuvo una calificación de impacto moderado en todas las actividades, como se observa a continuación.

Tabla 3-2. Calificación del impacto de Movimientos en construcciones por subsidencia

Impacto: Movimientos en construcciones por subsidencia		
Actividad	I	Tipo de impacto
Excavaciones con pantalladora	-38	Moderado
Excavaciones con tuneladora	-38	Moderado
Excavaciones restantes	-29	Moderado
Funcionamiento de la línea (operación)	-29	Moderado

Fuente: Adaptado de IVICSA por Equipo Metro IDU, 2015.

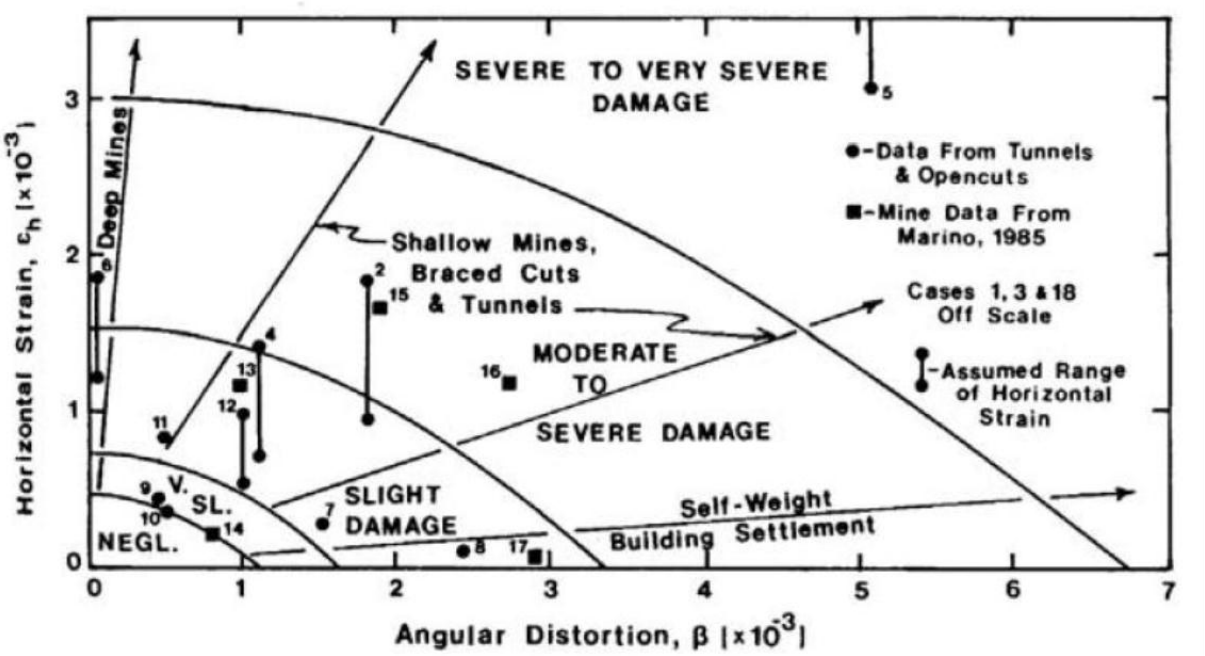
La evaluación de este impacto se realiza con base en los estudios realizados por el Consorcio L1, cuyo resumen se presenta a continuación. Los movimientos de la superficie por efecto de la excavación subterránea no sólo implican un asiento vertical en forma de campana de Gauss invertida, sino que además se ve afectada por movimientos horizontales.

Como resultado del criterio planteado por Boscardin y Cording, se han definido unos gráficos que permiten evaluar el riesgo en los edificios para aquellos casos en que se cumplen las siguientes hipótesis:

- Edificios con paredes de carga de mampostería.
- Modelo basado en el análisis de viga equivalente.
- El eje neutro de dicha viga coincide con uno de los bordes.
- La relación L/H es igual a la unidad.

En los gráficos están representadas curvas que relacionan la distorsión angular β con la deformación de tracción horizontal Ɛh y definen con ello un valor dado de la deformación crítica de tracción Ɛcrit. Dichas curvas delimitan cinco superficies o zonas que representan un nivel de daños denominados: Inapreciables, Muy Ligeros, Ligeros, Moderados a Severos y Severos a muy Severos (Figura 3-1).

Figura 3-1 Clasificación de daños



Fuente: Boscardin y Cording, 1989.

Un tema importante son las dimensiones (altura H y longitud L) a considerar del edificio. Un caso típico de un edificio afectado por una cubeta de asientos se representa en la figura a continuación (Figura 3-2).

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 3-2 Modelo idealizado del edificio. Determinación de la deflexión máxima

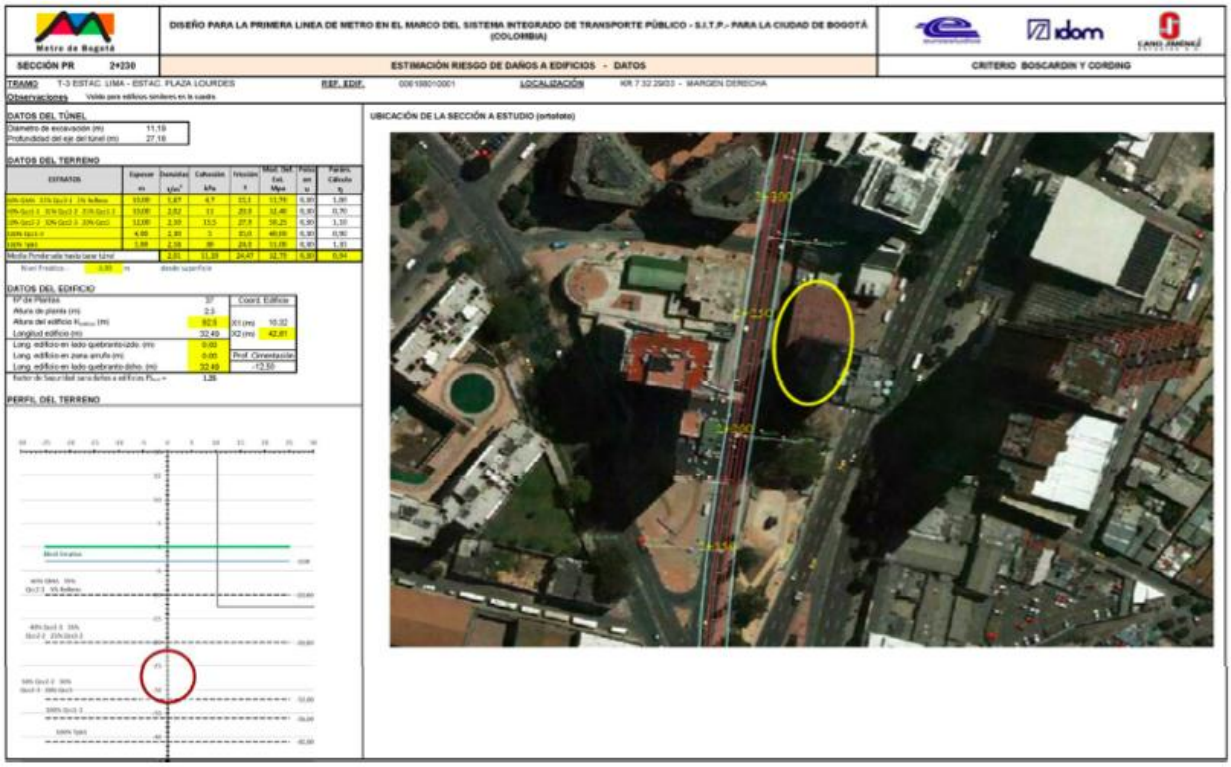
Fuente: Consorcio L1, 2015.

La altura se debe considerar desde el cimiento hasta el alero. Se asume que el edificio se analiza separadamente a uno y otro lado del punto de inflexión "i", determinando el comportamiento del edificio en quebranto con su longitud afectada (L_h) y en arrufo con su correspondiente longitud (L_S). No se tiene en cuenta la longitud del edifico más allá de la cubeta de asientos, que para un túnel único es del orden de 2,5·i, donde $s/s_{máx} = 0,044$.

El consorcio L1, en el marco de los estudios para el diseño de la PLMB, ha realizado la estimación de daños a los edificios aledaños al trazado, tanto para tramos en túnel con tuneladora como para los tramos de túnel entre pantallas (en este último caso siguiendo la aproximación práctica del Prof. Oteo, 2003 y su método adaptado para la ciudad de Bogotá). Los resultados se presentan en fichas como la que se presenta en la Figura 3-3 y 3-4. En las fichas se incluye los gráficos de la deformación vertical y horizontal (siguiendo las expresiones de los Prof. Oteo y Sagaseta (1974 - 1996) y los criterios de Attewell (1978) y O´Reilly (1982). También se incluye el método de cálculo de Burland para la viga equivalente y un esquema de la situación del edificio con respecto a la excavación (túnel). Por último, se representa el gráfico de Boscardin y Cording (1989) con las categorías de daños y la ubicación en la que se encuentra el edificio analizado.

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

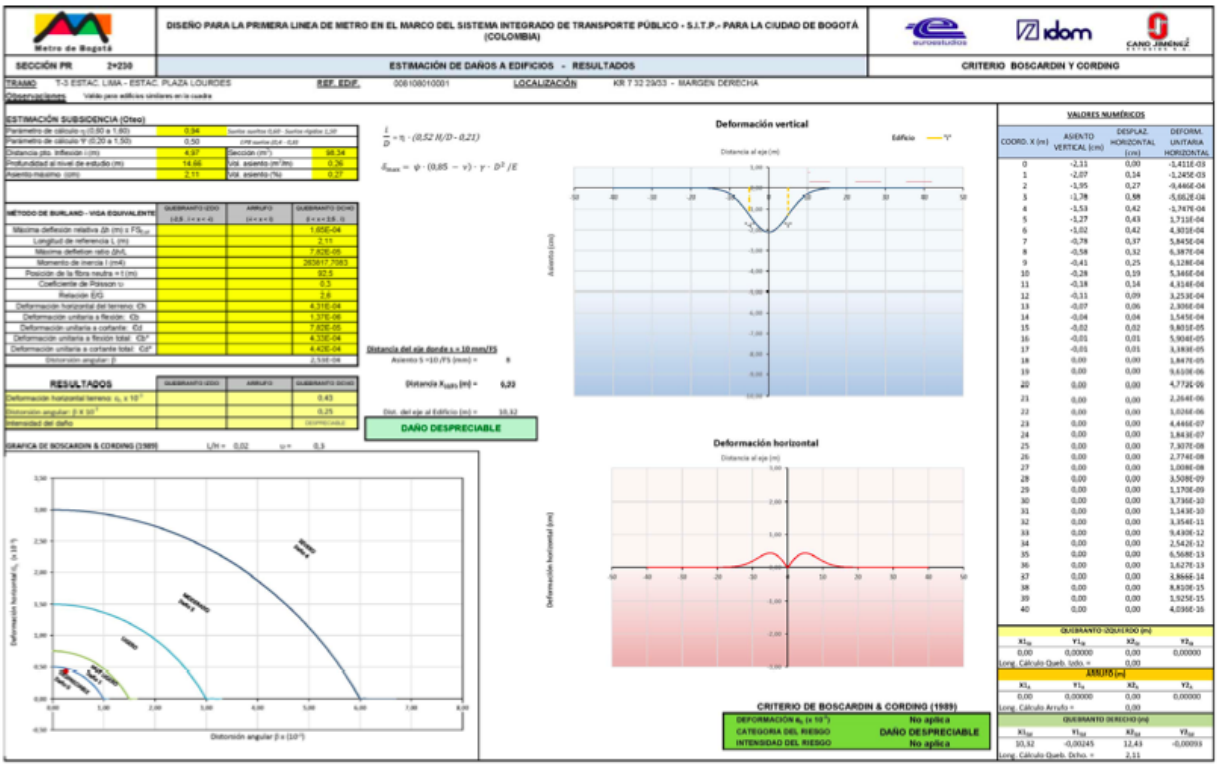
Figura 3-3 Ficha ejemplo de estimación de riesgo de daños. Caso de excavación con tuneladora. Datos.



Fuente: Consorcio L1, 2015.

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 3-4 Ficha ejemplo estimación de riesgo de daños. Caso excavación con tuneladora. Resultados.



Fuente: Consorcio L1, 2015.

Método de análisis

El primer cribado se realiza analizando la ubicación de la línea donde el asiento presente un valor igual a:

$$s = 10mm / FS$$

Donde FS el coeficiente de seguridad que se ha definido previamente en el Inventario del estado de edificios, sensibilidad de los edificios y/o estructuras, en función del nivel de sensibilidad del edificio.

Aquellos edificios que se encuentran más alejados de la línea *10 mm / FS* se consideran que no sufrirán daños apreciables.

- Los edificios que queden entre dichas líneas de asiento se analizarán por el criterio de Boscardin y Cording y se determinará un nivel de riesgo
- Los edificios que presenten un nivel de riesgo o intensidad de daño superior a la categoría 2 (riesgo *MODERADO*) se analizarán individualmente aplicando la reducción a la cubeta de asientos al aplicar un tratamiento (de protección y/o

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

reducción de asiento). Dicha reducción se determinará con métodos numéricos según cada uno de los tipos de tratamientos previstos.

Se ha utilizado un código de colores para identificar los resultados. Así se identifica con color verde cuando la categoría de daño es despreciable, muy ligero o ligero (intensidad de daño 0,1 o 2) y con color naranja cuando la categoría de daño es moderada, severa o muy severa (intensidad de daño 3,4 o 5). (Figura 3-5)

Figura 3-5 Representación de resultados

DEFORMACIÓN ε_h (x 10^{-3})	0,00
CATEGORIA DEL DAÑO	DESPRECIABLE
INTENSIDAD DEL DAÑO	0

DEFORMACIÓN ε_h (x 10^{-3})	1,78
CATEGORIA DEL DAÑO	MODERADO
INTENSIDAD DEL DAÑO	3

Fuente: IVICSA, 2015

Resultados

Siguiendo la metodología descrita en los apartados anteriores se ha evaluado el grado de sensibilidad y el riesgo de daño de una serie de edificios significativos o representativos de cada zona, tanto para las zonas donde se propone la excavación con tuneladora como en la zona donde se prevé la ejecución del túnel entre pantallas. Del análisis se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 3-3.

Solo en tres de las secciones analizadas se obtuvo un riesgo de daño severo, que corresponde a un 2,2%, estas secciones se localizan en el tramo II en el PK 3+990 margen izquierda, PK 4+490 margen izquierda, PK 5+485 margen derecha.

En los tramos I y II se localizan las secciones analizadas que obtuvieron riesgo de daño moderado, en total 17 o 12,8%, doce se ubican en el Tramo II y 5 en el Tramo I.

La mayoría (77%), de secciones analizadas obtienen un riesgo de daño despreciable y un 14% corresponden a riesgo de daño ligero o muy ligero.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tabla 3-3 Resultados de evaluación de riesgo de daño a edificios

Tramo	Excavación	Número de secciones analizadas	Riesgo de daño			
			Despreciable	Muy ligero a Ligero	Moderado	Severo
I	Tuneladora	45	38	2	5	0
II	Tuneladora	48	31	2	12	3
III	Tuneladora	22	19	3	0	0
	Entre pantallas	29	19	10	0	0
IV	Entre pantallas	27	25	2	0	0
TOTAL		171	132	19	17	3

Fuente: Equipo Metro – IDU, con base en información de Consorcio L1, 2015.

De acuerdo al análisis realizado, se puede establecer que el impacto correspondiente a Movimientos en construcciones por subsidencias, no es significativo dado que el riesgo de daño obtenido en la mayoría de los puntos o secciones analizadas a lo largo del trazado de la PLMB es despreciable a ligero. De igual manera el diseño contempla obras o tratamientos específicos a implementar dependiendo del nivel de riesgo de daño que se tenga, además de la instalación de instrumentos de monitoreo de movimientos y hundimientos, antes, durante y posteriores a las obras que comprenden la construcción de la PLMB.

Descenso niveles piezométricos por efecto barrera (Afectación a acuíferos)

Tabla 3-4. Calificación de impacto a niveles piezométricos por efecto barrera

Impacto: Descenso niveles piezométricos por efecto barrera	I	Tipo de impacto
Excavaciones con tuneladora	-23	Irrelevante
Excavaciones con pantalladora	-33	Moderado
Excavaciones restantes	-23	Irrelevante
Operación de la PLMB	-23	Irrelevante

Fuente: IVICSA, 2015

Según el estudio de Hidrogeología del Consorcio L1 y los análisis desarrollados en la evaluación de impactos ambiental de la línea subterránea no se evidencia impactos significativos sobre los acuíferos principales, de la Sabana de Bogotá, ya que estos se encuentran a más de 300 metros de profundidad, separados por rocas impermeables o de baja permeabilidad de las formaciones Bogotá y Guaduas.

Adicionalmente al evaluar los niveles piezométricos y los flujos hídricos subterráneos en la PLMB en la fase de construcción, no se evidencia un impacto relevante en este

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

componente, ya que en el caso de excavaciones con tuneladora la interrupción del flujo de agua subterránea es despreciable ya que los acuíferos están conformados por lentes aislados en medio de arcillas, los cuales varían en espesor y profundidad y no se hayan interconectados.

Sin embargo existe la posibilidad de generar una interrupción de los flujos de aguas subterráneas en zonas donde se realizara el túnel por el método constructivo entre pantallas donde se produce una barrera subterránea de 40 metros a partir de la superficie del terreno que no permite el paso del agua por encima de la obra, como sucede en los tramos que se usa la tuneladora.

Con lo anterior y como lo referencia el consorcio L1 se contemplan desde la fase de diseños medidas manejo que permiten controlar el impacto sobre la interrupción de los flujos de agua subterránea al construir elementos drenantes de captación y descarga, situados a ambos lados de la PLMB, y conectadas mediante un Bypass de manera que el agua pasa de la zona sobreelevada a la zona deprimida.

Las medidas de estos módulos de pantallas drenantes serán de 3.5 m de largo, 0.6 m de ancho y una profundidad variable entre 3 y 6 m bajo la cota de rasante del Metro, también podrían ser pilotes de 1 a 1’5 m de diámetro.

Para conferir a estos módulos el carácter drenante que necesita, una vez realizada la excavación con polímeros biodegradables (no se puede utilizar bentonita) para la de sujeción de las paredes, se deberá rellenar de grava enfundada en geotextil.

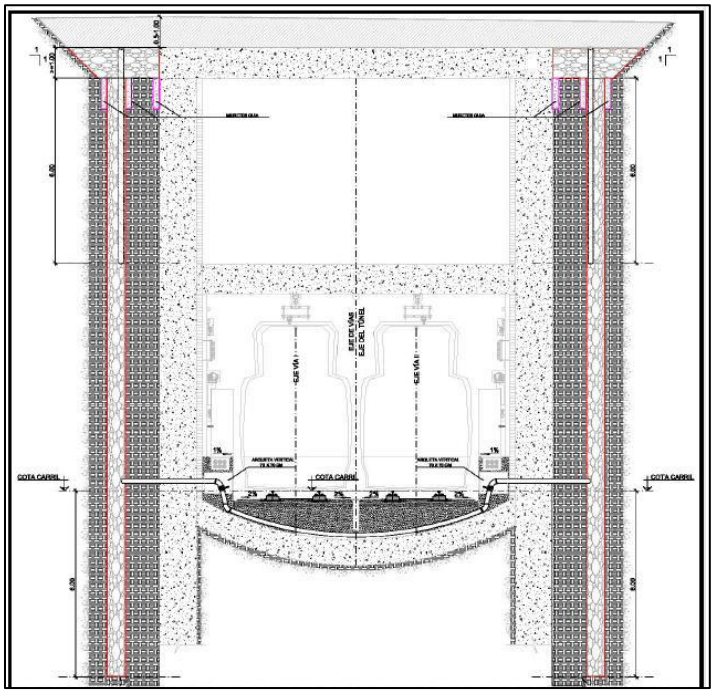
Una vez realizados estos módulos a ambos lados de la traza del Metro se deberán conectar mediante tubería de PVC. Esta tubería deberá atravesar las paredes de las pantallas del túnel, estaciones o tuneladora hasta encontrar el módulo drenante, a cota lo más próxima a la rasante del trazado y situarse, en el eje del trazado bajo el drenaje longitudinal. Se han previsto tres secciones tipo de esta conexión para la cada una de las secciones tipo principales del túnel de la PLMB, túnel con tuneladora, túnel entre pantallas y estaciones.

Estos módulos de pantallas drenantes se realizarán inmediatamente después que el túnel, y se dejará dentro de ellos un tubo de PVC, que permita realizar bombeos de agua en caso de que se observen sobreelevaciones del nivel freático por un rápido efecto barrera de las pantallas recién construidas, y antes de que se haya realizado el Bypass entre los módulos de pantallas enfrentas a cada lado de la PLMB.

En sentido longitudinal estos módulos pantalla drenantes estarán conectados, por su parte superior, mediante una zanja drenante para el caso de sobreelevaciones extraordinarias y transitorias; la profundidad de esta zanja será entre -2 y -1 m bajo de la calzada, y estará, conectada también con el sistema de drenaje superficial. (Figura 3-6)

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 3-6. Pantalla drenante



Fuente: Consorcio L1, 2015.

Alteración a la red de drenaje superficial

Según la información de los estudios técnicos generados por el Consorcio L1, no existe una alteración del drenaje superficial en las fases de construcción y operación de la PLMB, sin embargo, por las dimensiones del proyecto y la importancia de los cuerpos de agua en la estructura ecológica principal de la ciudad de Bogotá, se describe a continuación cómo será la interacción del proyecto con los cuerpos de agua que se cruzan con el trazado de la PLMB.

La información suministrada por la línea base de la línea subterránea y la línea base del Ramal técnico evidencia que el trazado de la PLMB intercepta diferentes cuerpos hídricos superficiales. Sin embargo el método constructivo descrito por el Consorcio L1 genera que estos cuerpos hídricos no se intervengan de manera directa.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

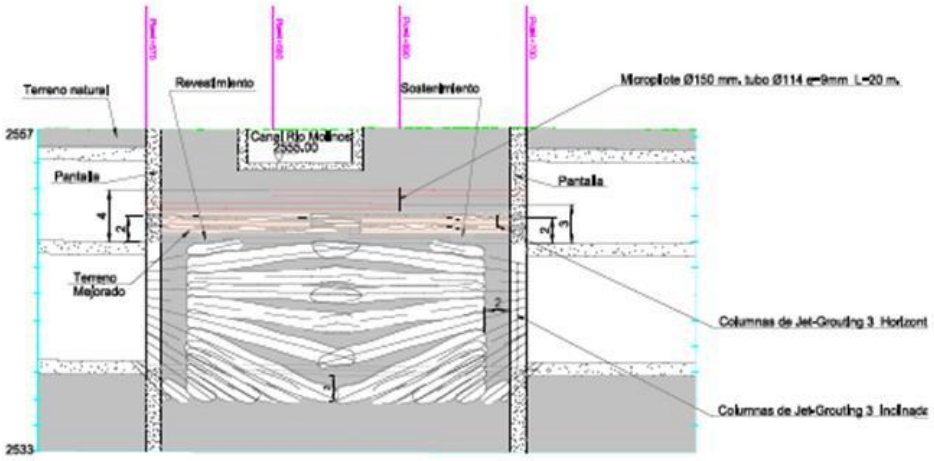
Para el caso del Río Seco, Canal Albina, Río Fucha y Río Arzobispo el método constructivo establecido por el Consorcio L1 es por medio de tuneladora por lo tanto en la construcción del túnel en este tramo los cuerpos de agua superficiales no se verán afectados. Así mismo, ninguna de las estaciones está proyectada en el curso de estos cuerpos de agua por lo que no existirá un impacto por la alteración de la red de drenaje superficial.

De esta misma forma ocurre con el Canal Rio Molinos, Canal Virrey y Canal Callejas en el cual se aplica el método constructivo por medio de pantallas y desde los diseños el Consorcio L1 plantea la no intervención de estos causes implementando las buenas practicas constructivas.

A continuación se extrae el aparte del documento del Consorcio L1 donde explica cómo se realizara el procedimiento constructivo del túnel bajo el Canal Rio Molinos el cual cruza la PLMB en la carrera 9 con calle 109.

"Para tal fin se comenzará por la realización de la doble fila de paraguas de micropilotes de 20 m de longitud, diámetro 150 mm, armados con tubo metálico de 114 mm y espesor de pared de 9 mm. Dicho paraguas, además servir de sostenimiento provisional de la excavación, protegerá el cauce de posibles levantamientos por el tratamiento de Jet posterior. Una vez ejecutados los micropilotes se procederá a la mejora del terreno mediante columnas de Jet Grouting 3 de 17 m de longitud de longitud máxima, horizontales e inclinados, de manera que se obtenga un terreno mejorado en un perímetro de radio 2 m superior al perímetro de excavación teórico del túnel. Esto se conseguirá mediante la realización de columnas de jet en forma troncocónica desde la pantalla frontal." (Figura 3-7)

Figura 3-7 Perfil Longitudinal. Tratamiento bajo el Rio Molinos



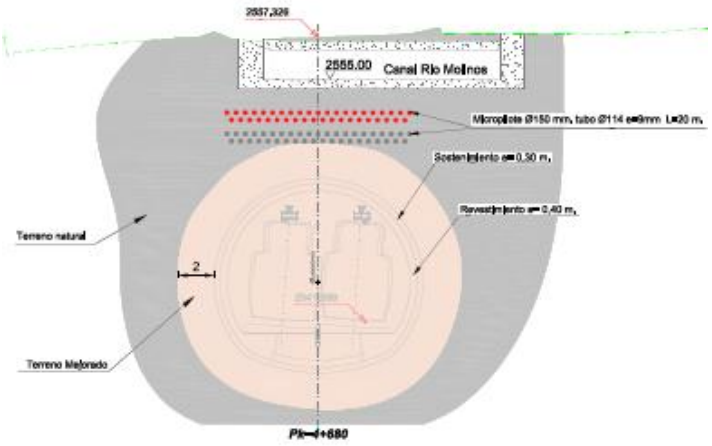
Fuente: Consorcio L1, 2015.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

"La excavación del túnel por su dimensión de la sección y la calidad del terreno se ha previsto su ejecución en tres fases: avance, destroza y contrabóveda. Por su longitud, se podrá realizar únicamente desde uno de los frentes. La longitud del pase en avance será estrictamente de 1 m, 2 m en destroza y 5 m en contrabóveda. La excavación comenzará por el picado y perfilado de la pantalla frontal y la excavación del primer metro de túnel. Durante la excavación se preverán medios para el achique de las posibles filtraciones de agua del terreno, además de la monitorización del sostenimiento y del canal del río".

Sin embargo es importante mencionar que en el documento Evaluación de Impacto Ambiental de la línea subterránea se contempla la intervención del Canal Rio Molinos, Canal Virrey y Canal Callejas a manera de contingencia por tal motivo en este documento la alteración del drenaje presenta un impacto moderado (Figura 3-8).

Figura 3-8 Sección transversal PK 4+680. Tratamientos bajo el río Molinos



Fuente: Consorcio L1, 2015.

Valoración de la Alteración de la Calidad de la escena urbana

Tabla 3-5. Calificación impacto alteración de la calidad de la escena urbana

Impacto: Alteración de la calidad de la escena urbana	I	Tipo de Impacto
Descapotes y remoción cobertura vegetal	-52	Severo
Demoliciones	-26	Moderado
Desvío de servicios afectados	-35	Moderado
Desvío de cauces interceptados	-35	Moderado
Desvíos de tráfico	-35	Moderado
Adecuación y uso de instalaciones auxiliares	-31	Moderado

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Excavaciones con pantalladora	-50	Severo
Excavaciones restantes	-38	Moderado
Rellenos	-37	Moderado
Ejecución elementos estructurales de concreto	-38	Moderado
Obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller	-37	Moderado
Reposición de firme y pavimentaciones	41	Positivo alto
Instalación amoblamiento urbano y resto urbanización	-33	Moderado
Revegetalización y empradización	60	Positivo alto
Retirada equipos, maquinaria y limpieza y restauración	33	Positivo medio
Operación PLMB	-14	Irrelevante

Fuente: IVICSA, 2015

Como se menciona en el capítulo de Evaluación de impactos ambientales de la Línea Subterránea "La calidad de la escena urbana es el factor que asume la representación del medio perceptual. Alude, en consecuencia, a la percepción del paisaje urbano, y el objetivo de su consideración es la valoración de las afecciones que sobre el mismo va a originar la PLMB, tanto en su fase de construcción, como en su fase de operación.

La fase de construcción supone una alteración sustancial de las condiciones actuales de la escena urbana, y dicha alteración implicaría:

- La eliminación absoluta de la funcionalidad viaria y de la asignación de la sección transversal a los usos actuales en las zonas y tramos directamente afectados por la obra.
- La necesidad de habilitar parte de los viales no alterados por las obras para restituir la circulación viaria (de manera diferente a como hoy se organiza) peatonal y de vehículos según los planes de manejo de tránsito previstos en el componente técnico.
- La eliminación de todos los elementos actualmente existentes en los tramos afectados.
- Adicionalmente, la eliminación de todos los árboles existentes en los tramos a ejecutar mediante pantallas. Debe tenerse en cuenta que, si bien las alteraciones de sección viaria son temporales y dependen únicamente de la propia duración de las obras, la cuestión del arbolado es permanente, y su corrección deberá abordarse a partir del diseño urbano y paisajístico previsto por el proyecto técnico".

Con lo anterior se evidencia que en la fase de construcción el descapote, la construcción del túnel por método constructivo entre pantallas y el montaje de la subestructura (pilas y estribos) y superestructura de vía (vigas y placas) en el tramo denominado Ramal técnico, son las actividades que tendrán una mayor influencia en la alternación negativa de la calidad de la escena urbana.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Sin embargo el diseño paisajístico que integra la PLMB generará que la calidad de la escena urbana mejore ya que se integraran nuevos espacios públicos que permitan la armonización de la PLMB con la ciudad.

Incremento en la concentración de material particulado

Tabla 3-6. Calificación impacto Incremento de [ ] PMx

Impacto: Afectación calidad aire (emisión material particulado)	I	Tipo de impacto
Descapotes y remoción cobertura vegetal	-36	Moderado
Demoliciones	-35	Moderado
Adecuación y uso de instalaciones auxiliares	-39	Moderado
Desvío de cauces interceptados	-21	Irrelevante
Desvío de servicios afectados	-22	Irrelevante
Desvíos de tráfico	-37	Moderado
Acarreo y transporte de materiales hacia la obra	-39	Moderado
Excavaciones con pantalladora	-39	Moderado
Excavaciones restantes	-33	Moderado
Obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller	-22	Irrelevante
Instalación amoblamiento urbano y resto urbanización	-22	Irrelevante
Revegetalización y empradización	-21	Irrelevante
Retirada equipos, maquinaria y limpieza y restauración	-36	Moderado
Generación de residuos sólidos	-24	Irrelevante
Transporte y tránsito de vehículos de obra	-39	Moderado

Fuente: IVICSA, 2015

La variación en la concentración de material particulado en el aire, tiene comportamientos diferentes en la etapa de construcción y operación. Durante la construcción se presenta un incremento moderado de la concentración, dado por la generación de material particulado en las actividades de excavaciones, demoliciones, transporte de materiales y sobrantes y el tránsito de vehículos de la obra en vías en afirmado. En la Tabla 3-7 se presentan los resultados de la modelación de la concentración de PM_{10} para la etapa de construcción, donde se observa que el mayor incremento se da en el sector de la calle 127 con Av 9.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tabla 3-7 Resultados modelaciones PM_{10} construcción

RECEPTOR SENSIBLE EVALUADO	DATOS MEDIDOS DE CALIDAD DE AIRE (Promedio aritmético μg/m^3)		APORTE SEGÚN MODELO (μg/m^3)
	Línea Base	RMCAB	
Portal Américas	79,51	77,54	4,8
Casa Blanca - Almacén Corona	104,78	77,54	34,3
Villavicencio - Est. Comercial	87,28	77,54	29,9
Palenque – Compensar	76,71	77,54	1,1
Kennedy - Hospital Kennedy	56,65	77,54	8,5
Boyacá - Colegio OEA	71,75	61,00	6,4
Av. Primero de Mayo	N/A	61,00	12,0
Av. 68 - Cámara Comercio	50,95	61,00	4,1
Rosario - Col. B. Herrera	80,69	43,00	2,8
Av. NQS – Sena	67,43	43,00	2,6
Santander - Centro Crecer	37,51	43,00	1,4
Antonio Nariño - Laborat. Quibi	18,96	43,00	29,8
Hortúa - Hospital Misericordia	36,47	43,00	5,9
San Victorino - C.C. Gran San	33,37	27,00	32,0
Lima - Sede Judicial	19,30	27,00	2,6
Rebeca - Inst. San Francisco Asís	48,69	27,00	29,1
RMCAB Sagrado Corazón	27,00	27,00	0,7
Parque Nacional - Hotel Innova	23,22	27,00	3,2
Gran Colombia – Centro Inesco real	28,20	27,00	11,0
Marly - Tele Amiga	26,69	27,00	21,5
Santo Tomás – Alc. Chapinero	36,64	27,00	5,7

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

RECEPTOR SENSIBLE EVALUADO	DATOS MEDIDOS DE CALIDAD DE AIRE (Promedio aritmético μg/m^3)		APORTE SEGÚN MODELO (μg/m^3)
	Línea Base	RMCAB	
Lourdes - Cai Lourdes	27,81	27,00	2,8
Av. Chile – Fund. Área Andina	30,18	30,00	13,3
Calle 85 - Parqueadero Cll 82	24,57	30,00	10,6
Parque 93 – Parquead. Tequendama	13,79	30,00	11,4
Calle 100 - Colegio Patria	49,43	30,00	6,1
Usaquén - Parque Molinos	16,37	21,00	30,4
Calle 127 - AV 9a con Calle 121	31,22	21,00	40,4
Finca Pilar Sanín (Av. ALO)	46,48	N/A	5,61
Finca Jesús Ochoa	46,44	N/A	36,92
Colegio Alfonso López	97,60	N/A	11,44

Fuente: Estudio IVICSA, 2015.

Por otra parte, la entrada en operación de la PLMB trae la disminución de viajes tanto de vehículos particulares como públicos, y por consiguiente una reducción en la concentración de material particulado en el aire, siendo este un impacto positivo el proyecto, en la tabla 8-3 se presenta los resultados de la modelación realizada por IVICSA para la etapa de operación.

Tabla 3-8. Resultados modelaciones PST operación

RECEPTOR SENSIBLE EVALUADO	DATOS MEDIDOS DE CALIDAD DE AIRE (Promedio aritmético μg/m^3)	APORTE SEGÚN EL MODELO (μg/m^3)		% de reducción en el aporte a la calidad de aire
	Línea Base	Actual	Futuro	
Portal Américas	139,91	0,24	0,22	8 %
Casa Blanca - Almacén Corona	162,94	0,28	0,26	7 %
Villavicencio - Est. Comercial	157,32	0,21	0,19	10 %
Palenque - Compensar	146,34	0,19	0,17	11 %
Kennedy - Hospital Kennedy	105,02	0,17	0,15	12 %

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

RECEPTOR SENSIBLE EVALUADO	DATOS MEDIDOS DE CALIDAD DE AIRE (Promedio aritmético µg/m^3)	APORTE SEGÚN EL MODELO (µg/m^3)		% de reducción en el aporte a la calidad de aire
	Línea Base	Actual	Futuro	
RMCAB Kennedy	N/A	0,08	0,07	13 %
Boyacá - Colegio OEA	115,40	0,15	0,14	7 %
Av. Primero de Mayo	N/A	0,14	0,13	7 %
Av. 68 - Cámara Comercio	84,54	0,11	0,1	9 %
Rosario - Col. B. Herrera	105,58	0,24	0,22	8 %
Av. NQS – Sena	92,90	0,17	0,15	12 %
Santander - Centro Crecer	48,25	N/A	N/A	N/A
Antonio Nariño - Laborat. Quibi	32,55	0,29	0,27	7 %
Hortúa - Hospital Misericordia	50,53	0,09	0,08	11 %
San Victorino - C.C. Gran San	39,36	0,11	0,1	9 %
Lima - Sede Judicial	23,72	0,45	0,41	9 %
Rebeca - Inst. San Francisco Asís	55,49	0,41	0,37	10 %
RMCAB Sagrado Corazón	N/A	0,17	0,16	8 %
Parque Nacional - Hotel Innova	35,85	0,38	0,35	6 %
Gran Colombia – C. Inesco real	45,77	0,19	0,17	11 %
Marly - Tele Amiga	32,98	0,19	0,17	11 %
Santo Tomás – Alc. Chapinero	38,31	0,31	0,28	10 %
Lourdes - Cai Lourdes	35,69	0,009	0,01	11 %
Av. Chile – Fund. Área Andina	29,79	0,3	0,27	10 %
Calle 85 - Parqueadero Cll 82	39,26	0,15	0,14	7 %
Parque 93 – Parq. Tequendama	20,04	0,28	0,26	7 %
Calle 100 - Colegio Patria	80,36	0,16	0,14	13 %
Usaquén - Parque Molinos	28,32	0,21	0,19	10 %
Calle 127 - AV 9a con Calle 121	49,39	0,38	0,34	11 %

Fuente: Estudio IVICSA, 2014.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Afectación a la calidad del aire por emisiones gases

Tabla 3-9. Calificación impacto Afectación a la calidad de aire por emisiones de gases

Impacto: Afectación calidad aire (emisión gases)	I	Tipo de impacto
Obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller	-22	Irrelevante
Instalación amoblamiento urbano y resto urbanización	-22	Irrelevante
Revegetalización y empradización	-21	Irrelevante
Retirada equipos, maquinaria y limpieza y restauración	-28	Moderado
Generación de residuos sólidos	-23	Irrelevante
Transporte y tránsito de vehículos de obra	-34	Moderado
Montaje de la subestructura (pilas y estribos) y superestructura de vía (vigas y placas)	-29	Moderado
Funcionamiento de estaciones y Patio-Taller	-23	Irrelevante
Procesos relacionados con el mantenimiento de la obra y trabajos de conservación	-21	Irrelevante
Generación de residuos sólidos en operación	-21	Irrelevante

Fuente: IVICSA, 2015

Las actividades del proyecto relacionadas con la emisión de gases corresponden a las actividades donde se utiliza algún tipo de maquinaria o equipo con motor de combustión, es decir se relacionan con las excavaciones, transporte de materiales y sobrantes y demoliciones, en la etapa de construcción. En este sentido IVICSA comenta:

"Los valores aportados de CO son muy bajos en relación con el estándar de la Resolución 610/10 (10,000). En tal sentido puede señalarse que no se esperan efectos relevantes para este contaminante tanto para los sitios de las estaciones como para el Patio Taller. Los valores aportados de SO_2 son muy bajos si se los compara con el valor esperado de calidad de aire versus lo indicado en el estándar de calidad de aire (Res 610/10) y menores que el valor que permite clasificar como buena la calidad del aire (ICA). El grado de severidad del impacto de las actuaciones, en relación a estos dos contaminantes podría calificarse de acuerdo a la escala propuesta como bajo.

En relación a óxidos de nitrógeno, se obtiene valores más elevados en las estaciones de Casablanca, Villavicencio, Avenida Chile, Usaquén, tal y como sucedía en material particulado y en la estación Rebeca y valores que permitirían calificar el grado de severidad del impacto como medio en Kennedy, Antonio Nariño y Marly. Según el modelo, las actividades desarrolladas en las restantes estaciones realizan aportes que permiten calificar el grado de severidad como moderado".

En cuanto a la etapa de operación, no se prevé la emisión de gases por la operación de la PLMB, dado que la línea operará con un tren eléctrico, y considerando la reducción del

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

uso o viajes de vehículos particulares y públicos en la ciudad, generan una mejora de la calidad del aire por reducción en la concentración de gases.

Valoración de la afectación al medio por emisiones acústicas

Tabla 3-10. Calificación impacto Ruido

Impacto: Afectación al medio por emisiones acústicas	I	Tipo de Impacto
Funcionamiento de la línea Ramal Técnico	-38	Moderado
Funcionamiento de estaciones y Patio-Taller	-31	Moderado

Fuente: IVICSA, 2015

De acuerdo al estudio elaborado por IVICSA, “en fase de construcción para el trama línea subterránea, en las zonas en los que la maquinaria de excavación es subterránea, la mayor parte del ruido será absorbida por el terreno, razón por la que en estas áreas no se incluye valoración del impacto o el grado de severidad se califica como bajo.

Algunas de las actividades presentan magnitudes calificadas como bajas, como el montaje de sistema e instalaciones ferroviarias (vía en placa, catenaria), que genera niveles de ruido únicamente asociados el tránsito de vehículos de carga y transporte de materiales en las inmediaciones de la obra, debido a que el montaje no se realiza en superficie. El desvío de servicios afectados puede incluir alguna actividad que presente mayor efecto, como la demolición de pavimento y la carga y descarga de materiales, razón por la que se califica el grado de severidad como medio.

En el caso de las áreas construidas mediante método constructivo en pantalla (estaciones, tramos entre las estaciones de Gran Colombia y Calle 127), se concentra un mayor número de maquinaria pesada en torno a la actuación, con elevado aporte de niveles de ruido por algunos de los equipos. Además de la maquinaria pesada de obra civil, en este punto es necesario incluir los sistemas de ventilación necesarios para la perforación de los túneles o funcionamiento de equipos electrógenos.

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión de ruido se detectan las siguientes áreas sensibles afectadas por el proyecto : Hospital Compensar en entorno de estación Palenque; fundación HOMI (Hospital de la Misericordia) junto a la estación Hortúa; Iglesia de Lourdes junto a estación del mismo nombre; Universidad Gran Colombiana junto a estación Gran Colombia; Universidad Católica, Universidad Santo Tomás y clínica Marly junto a Estación Marly; Universidad Pedagógica, en Estación Avenida Chile.”

Para la etapa de operación de la PLMB, IVICSA hace los siguientes comentarios:

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

"La presión sonora generada por el tránsito del metro por los 300 metros modelados en trinchera, se recibe sobre las viviendas cercanas a la línea de circulación del metro unos aportes comprendidos entre 40-45 dB (Imagen 40 RESULTADOS MODELO DISPERSIÓN RUIDO FASE OPERACIÓN TRAMO TRINCHERA Anexo 2), llegando a niveles de ruido que superan los valores marcados por la normativa, debido a que los de niveles actuales en dichas fachadas ya se sitúan en torno a 70-75 dB (de acuerdo con el mapa de ruido de Kennedy). Los niveles alcanzados permiten establecer un grado de severidad del impacto alto. Sin embargo, por la concentración en tiempo y espacio del alcance y características del impacto, con posibilidad de reconstrucción mediante medidas de manejo variadas –estudios acústicos en funcionamiento, pantallas y paneles, programas de mantenimiento, tratamientos en plataforma para evitar efectos reflexión- permiten calificar la importancia del impacto como moderada.

Existen también fuentes de ruido asociadas a la propia infraestructura del túnel como el sistema de ventilación, con generación de ruido significativo en las boquillas de entrada y salida, si bien sumado a los niveles de ruido actuales no supondrá una diferencia significativa".

Por otra parte para el caso de la construcción y operación del tramo denominado Ramal Técnico la presión sonora para este estudio en general es producida por un transporte de energía de la maquinaría empleada hacia el ambiente, generando ondas de sonido que se propagan por el aire, en otras palabras el uso de las máquinas genera una perturbación sobre las moléculas circundantes y que al llegar al oído humano se perciben en forma de ruido.

Las variables que inciden en los niveles de presión sonora totales (NPS) en el ambiente, especialmente el ruido ambiental en corredores viales urbanos, se asocian principalmente a la cantidad y tipo de tráfico vehicular existente, la velocidad promedio, la cultura del pito, el uso del suelo y las actividades antropogénicas que se desarrollan, como lo demuestran los resultados de los monitoreos de ruido ambiental realizados, en los puntos donde se construirá y operará el ramal de conexión Portal Américas- Patio Taller de la primera línea del metro y que se utilizan en la modelación para predecir el comportamiento durante las fases de construcción y operación en superficie del mismo.

De las actividades de construcción contempladas a ejecutarse en periodo diurno y nocturno, según la información suministrada, estas resultan en variaciones de la maquinaría empleada, siendo este cambio producto del cambio de jornada, este modificación no afecta significativamente a la presión sonora equivalente aplicable a cada actividad de construcción, en consecuencia, las curvas isófonas obtenidas no se diferencian mucho en horario diurno o nocturno, por lo cual la afectación sería virtualmente la misma en un periodo u otro, sin embargo, la exposición de las personas varía bastante de una jornada a otra, siendo la de mayor interés la jornada nocturna debido a la baja actividad de las personas.

En general para todos los receptores comparados, las presiones sonoras son mayores en los periodos diurnos, que los nocturnos, lo anterior indica que las propagaciones del ruido originado por las actividades tanto de construcción como en la operación, son influenciadas casi en su totalidad por la presión sonora equivalente atribuida a la actividad, limitando las variaciones de presión sonora por efecto de fenómenos como reflexión, refracción y difracción entre otros.

En los barrios San Bernardino y Cañaveralejo, se presentarán de acuerdo con los resultados de la modelación y los resultados de las mediciones de ruido Ambiental realizados por la Secretaria de Ambiente, aportes entre 7 y 12 dB(A) durante la etapa de construcción en periodo diurno y 8 y 10 dB(A) en el periodo nocturno, en todos los casos excediendo las normas permisibles; en consecuencia se deben implementar las medidas que minimicen el ruido en esta etapa, teniendo en cuenta la disminución de actividades constructivas en este periodo y que el uso del suelo es de viviendas actualmente.

En los barrios Jazmín y Jazmín occidental, el aporte de ruido durante la construcción se podría encontrar entre 3 y 6 dB(A) y para el periodo diurno en día hábil y festivo y es en los únicos receptores donde se cumple la normatividad ambiental.

Para la operación del metro, la presión sonora generada por el tránsito del metro por los 4.5 km modelados, se recibe sobre las viviendas cercanas a la línea de circulación del metro, llegando a niveles de ruido alrededor de los 75 dB(A), lo cual generaría una perturbación importante sobre las personas que habitan dichas viviendas, en especial a medida que vaya avanzando la noche y las personas se dispongan a dormir; adicionalmente que actualmente los niveles máximos de ruido son del orden de 63 dB(A), lo cual implica un incremento del orden de 15 dB(A) a los vecinos del eje vial y que su afectación se presenta tanto en superficie como en altura.

En cuanto al cumplimiento normativo, en operación se excede la norma entre 20 y 28 dB(A), valores que son significativamente altos y que afectarían a un gran número de personas , tanto a nivel del suelo como a nivel de la altura del viaducto.

Por lo anterior el Consorcio L1 plantea la inclusión de pantallas acústicas para reducir los niveles obtenidos y de esta forma cumplir con la normativa ambiental vigente, el diseño de las pantallas debe ser ajustado en los fase de ingeniería de detalle. Sin embargo se recomiendan que se tengan en cuenta las siguientes características para el diseño de las pantallas, las cuales se extrae textualmente del documento 202006-DE-PR34-DOC-09-01 DOCUMENTO 09: ESTUDIO DE RUIDOS. RAMAL TÉCNICO presentado por el consorcio L1 la proyección de la atenuación que produce una pantalla estándar en el tramo Ramal Técnico.

“Cara interna (hacia el trazado), construida en material metálico multiperforado (con diámetros de diferente métrica) en aproximadamente un 30% de su superficie. En los

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

cálculos de predicción sonora se ha considerado que posee el siguiente poder absorbente."

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
Coef. Absorción, a	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Cara exterior (hacia los núcleos urbanos), construida en material metálico liso. En los cálculos de predicción sonora se ha considerado como absorbente con las siguientes características:

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
Coef. Absorción, a	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

A continuación se muestra la ubicación propuesta por el Consorcio L1 de las pantallas acústicas en el tramo Ramal Técnico.

Tabla 3-11. Datos Pantallas acústicas Ramal técnico

Id	Margen	Pk Inicio	Pk Final	Long	Uso	Altura Pantalla
1	D	0+000	1+580	1580	Residencial	3,0
2	D	1+580	1+980	400	Residencial	3,5
3	D	1+980	3+620	1640	Residencial	3,0
4	I	3+620	4+580	960	Residencial	2,0

Fuente: Consorcio L1, 2015

Valoración de la afectación al medio por vibraciones.

En Colombia no existe normativa específica relativa a niveles máximos admisibles de vibraciones. Sin embargo, las vibraciones asociadas al tráfico vehicular y ferroviario son factores de interés en el presente estudio de impacto debido a que la construcción y operación de estas infraestructuras puede generar daños en edificaciones cercanas o molestias a la población.

El Consorcio L1 en su producto "Estudio de Vibraciones" presenta un análisis predictivo de vibraciones de los diferentes espacios adyacentes al trazado de la PLMB, con base en datos de referencia existentes de suelos con las mismas condiciones geotécnicas que los

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

encontrados en la línea del trazado. El estudio realizado contempla un análisis pre-operacional o de línea base considerando los niveles residuales vibratorios propios de ciudades con una relativa densidad de población y elevada tasa de tráfico rodado, y otro análisis donde se han definido los niveles de atenuación vibratorios característicos del terreno para el espacio destinado al desarrollo de la infraestructura del proyecto, en este último se considera el comportamiento de los diferentes elementos estructurales (plataforma, pantallas, etc.) que conforman las superestructuras de diferentes líneas de metro, niveles vibratorios generados por una amplia variedad de elementos móviles en los puntos de contacto de éste con los raíles a diferentes regímenes de velocidad, carga y longitud, así como la simulación de transmisión vibratoria a través del medio de acuerdo con programas basados en el Método de Elementos Finitos. Finalmente el estudio permite establecer las necesidades de aislamiento para las diferentes áreas de evaluación vibratoria en caso de ser precisadas su aplicación.

En el estudio se recomienda ajustar los resultados a la Norma de referencia de imposición en materia de vibraciones, ISO 2631-2 (1989): Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration, Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz); y de igual manera contrastarlos con los correspondientes ensayos de vibraciones a llevar a cabo una vez sea puesto en servicio la infraestructura objeto del presente informe (estudio post-operacional).

Se evaluaron aquellas edificaciones denotadas de espacial sensibilidad dado el uso particular que poseen y límites restrictivos de inmisión asociados que presentan. Dichas estructuras o agrupaciones de éstas se localizan próximas al recorrido establecido para la citada infraestructura determinándose los niveles de recepción de vibraciones en el interior de las mismas respecto a la base de asentamiento de las mismas de acuerdo a cada uno de los espacios identificados por su especial sensibilidad vibratoria, siendo éstos objeto de un análisis singular a raíz de la actividad a implantar.

Los resultados se extractan de las conclusiones del estudio realizado y se presentan a continuación:

Tramo 1. PP.KK 0 + 000 – 6 + 667,442 (0 + 000 – 6 + 667,442). Estación Portal de las Américas – Estación 1ª de Mayo.

El primer tramo viene caracterizado por la presencia de edificaciones con usos claramente diferenciados y localizadas a distancias relativamente reducidas entre ellas. Las edificaciones a las que se hace referencia se han establecido y examinado de manera particularizada al tratarse de espacios dedicados a uso residencial, docente, sanitario y cultural, incluyéndose dentro de este último uso las relacionadas a culto religioso, con las consiguientes altas restricciones vibratorias de inmisión que les son asociadas según establece la *Norma* de aplicación. En total se han analizado 37 estructuras o agrupaciones de manera singular.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

El estudio predictivo vibratorio desarrollado correspondiente al presente tramo se ha centrado en este tipo de edificaciones dado el perfil exhaustivo que presentan frente a los niveles espectrales permisibles vibratorios en el espacio interior habitable de las mismas. De acuerdo con la normativa de referencia para el estudio: *ISO 2631-2 (1989),* para la evaluación de los valores de aceleración de las vibraciones en el interior de las mismas se establecen los siguientes límites impositivos, en términos espectrales, a través de las curvas K para el rango frecuencial aplicable situado entre 1 y 80Hz, a saber:

Edificaciones de uso residencial; aplica curva K = 1,4 – ISO 2631-2 (horario de noche).
Edificaciones de uso docente, sanitario y cultural; aplica curva K = 1 – ISO 2631-2 (horario de día y noche).
Y por extensión: Edificaciones dedicadas a oficinas; aplica curva K = 4 – ISO 2631-2 (horario de día y noche) y edificaciones destinadas a uso industrial, comercial, almacén y taller; aplica curva K = 8 – ISO 2631-2 (horario de día y noche).

Para el caso de estructuras de uso residencial se ha acogido como límite normativo más restrictivo el correspondiente a horario nocturno, por lo que será el referente fundamental de evaluación para esta tipología edificaciones.

A modo de comentario indicar que las referencias expuestas en cuanto a las curvas K asignadas como límite espectral vibratorio impositivo serán de aplicación al total de edificaciones o agrupaciones de éstas establecidas para su análisis de acuerdo al resto de tramos evaluados pertenecientes al recorrido total definido para la infraestructura tratada.

Los resultados obtenidos del modelo predictivo aplicado al estudio, el cual incorpora al mismo variables fundamentales tales como las características másicas del elemento móvil, velocidad comercial superior de explotación definida para éste en la infraestructura analizada, características de la superestructura de vía, distancia de separación entre plataforma y profundidad de cimentación de la edificación de referencia analizada y características del propio terreno presente entre ambos elementos se determina la no presencia de afección por vibraciones para el conjunto de edificios evaluados erigidos en el presente tramo. Los espectros de vibración calculados relacionados con cada uno de los Puntos de Vibraciones establecidos (PV) reflejan unos niveles de aceleración para las vibraciones en recepción nunca superiores a los correspondientes a cada inmueble tratado, no superándose en ningún momento los límites de inmisión vibratoria en el dominio de la frecuencia establecido por la curva K que le es de aplicación según la tipología de inmueble asociado.

Los resultados obtenidos han sido verificados mediante la simulación con software basado en el Método de Elementos Finitos (MEF) de cara a la determinación del

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

comportamiento de la superestructura y terreno adyacente al mismo en cuanto a la propagación de la vibración generada a través de la misma y por espacios circundantes.

Debemos indicar que los resultados favorables obtenidos para los edificios considerados quedan referenciados a la base de éstos, no en altura o a diferentes cotas de las mismas. Para tal evaluación se hace necesaria la caracterización de cada una de las estructuras propuestas para su análisis con objeto de detectar la presencia de modos propios o amplificación vibratoria a frecuencias específicas en el proceso de propagación de éstas a través de la estructura. Por todo ello, y por consideraciones objetivas, lo resultados se expresan respecto a la base de los edificios. Lo comentado es aplicable al conjunto de estructuras analizadas para el resto de tramos tratados en este estudio predictivo.

Tramo 2. PP.KK. 0 + 000 – 7 +329,293 (6 + 667,442 – 13 + 996,735). Estación Avenida 68 – Estación San Victorino.

Para el análisis de este tramo se ha desarrollado e impuesto la misma metodología y criterios de evaluación a seguir de acuerdo con los establecidos en el tramo anteriormente analizado. En éste han sido identificadas un elevado número de edificaciones (43 en total de entre las más destacables), que por su funcionalidad o uso son de acentuada sensibilidad, correspondiéndose éstas con las correspondientes a aquellas destinadas a docencia, sanitario y cultural, con aplicación de la curva K más restrictiva definida por la Norma; K = 1 – ISO 2631-2. Por extensión, se han evaluado edificaciones o agrupaciones de éstas con tipología residencial cuya proximidad al trazado es inmediata o incluyo llegan a erigirse sobre la vertical imaginaria que intercepta con la plataforma de la infraestructura proyectada. De acuerdo a la Norma, se acogerá como curva K de imposición para su posterior evaluación vibratoria aquella aplicable más restrictiva, es decir, K = 1,4 – ISO 2631-2, correspondiéndose ésta a horario nocturno.

De acuerdo con el conjunto de edificaciones sensibles establecidas para su análisis vibratorio y mediante la aplicación a éstas del modelo predictivo implementado, se determina la no presencia de afección por vibraciones para el conjunto de estructuras propuestas para su caracterización vibratoria dado que los espectros de inmisión calculados no superan a aquellos establecidos por las curvas K de aplicación de acuerdo con el uso del inmueble establecido para su análisis.

Igualmente no se registran incidencias vibratorias en el resto de edificaciones ya que se ha establecido una distancia de seguridad desde el eje de la plataforma hasta las edificaciones más próximas a la traza, al margen de las analizadas de manera particularizada. El sistema de evaluación ha sido el igualmente implementado que en el tramo anterior por medio de la estimación, en base a velocidades máximas de circulación del elemento móvil por secciones especificas por tramo, características geotécnicas del suelo por áreas, configuración de la superestructura y respuesta vibratoria de la misma, de un rango máximo de afección proyectado sobre el plano horizontal respecto a la base

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

de las edificaciones e interceptado éste con el normal vertical correspondiente proyectado sobre el eje de la plataforma.

Este sistema de cálculo ha sido aplicado en el caso de existir una separación mínima en el plano horizontal entre plataforma y edificaciones, determinándose límites espaciales de afección los cuales resultan inferiores a la distancia real existente entre plataforma y base de edificación. Mediante este método de cálculo orientado a la detección de molestias vibratorias en edificación se han definido espacios críticos dentro de los cuales aparecerían las citadas incidencias de modo directo por acotación espacial y proximidad de la estructura al trazado, según las variables fundamentales anteriormente indicadas.

Tramo 3. PP.KK. 0 + 000 – 6 + 166,138 (13 + 996,735 – 20 + 162,873). Estación Lima – Estación Plaza de Lourdes.

La característica fundamental del presente tramo consiste en el hecho de producirse una transición en la sección tipo existente con anterioridad a partir del P.K. 3 + 660 de acuerdo con la información al respecto disponible; es decir, de sección tipo circular a sección tipo entre pantallas.

Este aspecto condicionará de manera directa el modo de cálculo para la estimación de los niveles de inmisión vibratoria en las edificaciones estipuladas para sus análisis de cara a los resultados obtenidos mediante modelización MEF y proximidad de la superestructura a la superficie del suelo urbano.

En el presente tramo, han sido identificadas estructuras destinadas a uso residencial, sanitario, docente y cultural, alcanzándose un total de 41 construcciones; todas ellas incluidas de manera particularizada en el conjunto global de inmuebles existentes a lo largo de esta parte del recorrido de la infraestructura proyectada. Las edificaciones indicadas, de acuerdo con la función que disponen, se sitúan entre las más destacadas para su correspondiente evaluación dada las estrictas restricciones de inmisión vibratoria establecidas para las mismas, lo que conlleva a ser atendidas de una manera especial.

Aun cambiando la condiciones de cálculo, los principios básicas asociados a la metodología de evaluación se mantienen intactos de igual modo como se ha procedido en el resto de tramos definidos.

Para el caso que nos concierne se evalúa la transmisión superficial a través del camino que crea la pantalla lateral de la sección tipo propuesta para un sección del tramo evaluado hasta las inmediaciones de la superficie; según la información al respecto extraída de la modelización MEF para dicha sección. A partir de ello, se determinan los coeficientes de atenuación espectral entre pantalla, parte superior de esta y el terreno existente hasta la base de la estructura objeto de estudio.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tenido presente las edificaciones que han sido fijadas para su análisis vibratorio y espectros de inmisión que no han de superarse en cada una de éstas de acuerdo a lo estipulado al respecto por la Norma de aplicación al estudio definida con anterioridad según la curva K correspondiente asociada, se han detectado afecciones vibratorias en una serie de estructuras a consecuencia de la actividad generada por la circulación del elemento rodante en sus inmediaciones.

Paralelamente a la identificación de aquellas estructuras preseleccionadas para su evaluación se han calculado los rangos de afección vibratoria a lo largo del tramo contemplando la velocidad de circulación del elemento móvil, carga, características vibratorias de la sección tipo o superestructura propuesta para su desarrollo y comportamiento vibratorio del terreno adyacente a la misma. A los luz de los resultados proporcionados por modelo aplicado y teniendo presente las variable a introducir en el mismo indicadas, han sido establecidos los rangos de afección vibratoria para la infraestructura acogiendo como referencia espacial la combinación entre las distancias eje de la plataforma y el plano horizontal normal al anterior respecto a edificación; de este modo quedan delimitados los espacios susceptibles de afección descritos.

Según lo comentado, se han identificado los siguientes espacios en los que se precisaría de la imposición de medidas correctoras antivibratorias, contemplándose de manera paralela al estudio aquellas estructuras analizadas de manera expresa y las evaluadas de forma global a partir de los citados rangos de afección determinados, a saber:

* PP.KK: 3 + 542 a 4 + 080
* PP.KK: 4 + 149 a 6 + 166,138

Para los puntos kilométricos indicados se acoge como medida correctora óptima la colocación de manta elastomérica bajo losa en la plataforma de la infraestructura proyectada para su construcción.

En la actualidad existen en el mercado una amplia variedad de elastómeros enfocados a infraestructuras ferroviarias con objeto de reducir los niveles vibratorios generados por la circulación del elemento móvil en las inmediaciones de espacios próximos a éstas, y por extensión, sensibles frente a inmisión vibratoria. Este tipo de medidas correctores presentan diferentes respuestas atenuadoras en función de la frecuencia, características constituyentes del material y espesor de losa sobre las que se colocan.

Dado que los niveles de vibración calculados en aquellos espacios en los que se detectan afecciones vibratorias son destacables a partir de la frecuencia de 31,5Hz, se hace necesaria la imposición de mantas cuya respuesta asociada a las pérdidas de transmisión característica de éstas resulten ajustables a los niveles máximos de inmisión alcanzados hasta la frecuencia límite de 80Hz de manera que el espectro de inmisión resultante se

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

sitúe inferior en todo momento al definido por la curva K que es de aplicación a la edificación o conjunto de éstas más restrictiva.

Según lo expuesto, el sistema constituido por el conjunto manta elastomérica y losa ha de introducir unas pérdidas de inserción vibratoria de 21 dBv de promedio (condición extrema más desfavorable) en el rango frecuencial situado entre 40 Hz y 80 Hz con objeto de asegurar unos niveles de inmisión de vibraciones en edificación inferiores a los permisibles establecidos por la Norma de aplicación al presente proyecto.

Tramo 4. PP.KK. 0 + 000 – 6 + 902,400 (20 + 162,783 – 27 + 065,273). Estación Avenida de Chile – Estación Calle 127.

Este cuarto y última tramo perteneciente a la infraestructura asociada a la *"Primera Línea de Metro en el Marco del Sistema Integrado de Transporte Público-SITP-para la Ciudad de Bogotá (Colombia)"*, se caracteriza por discurrir bajo sección entre pantallas en soterramiento.

Al igual que en el tramo anterior, esta parte del recorrido queda particularizada por una profundidad establecida para la ejecución de la superestructura asociada a la sección tipo propuesta para su ejecución relativamente reducida. Para el tramo actual, esta sección se situaría a un profundidad media de 16,4 metros desde el origen del tramo hasta el P.K. 5 + 100.

La cota de profundidad citada, resultados mediante modelización *MEF* de la misma y proximidad del punto de finalización de la sección de la estructura próxima al suelo urbano inmediato, condiciona un incremento en el grado de transmisión superficial a raíz de la propia transmisión vibratoria generada en la plataforma, la cual, con un alto factor de proporcionalidad se propaga a través de las propia pantallas.

El tramo tratado se caracteriza por la presencia de manera global, para el rango de potencial afección definido, por edificaciones con múltiples usos, analizándose de manera particularizada un total de 38. El estudio se ha focalizado en todas aquellas oportunas consideradas para su evaluación por la especial sensibilidad que presentan. Estas estructuras se corresponden a los destinados usos sanitario, docente y cultural. Conjuntamente a los indicados usos destacamos aquellas estructuras o agrupaciones de éstas con carácter residencial.

Para las mismas, de acuerdo con lo comentado anteriormente a modo de aplicabilidad de la *Norma* en base a la funcionalidad de la construcción evaluada, les son de imposición aquellas curvas K con un carácter más restrictivo o tolerancia frente a vibraciones para su correspondiente espacio interior habitable y expresado espectralmente según define la *Norma ISO 2631-2 (1989): Mechanical vibration and shock - Evaluation of human*

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

exposure to whole body vibration, Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz) desarrollada en la ejecución del presente trabajo.

Como se ha expuesto con anterioridad, en el presente apartado de manera paralela a la evaluación de edificaciones de especial sensibilidad por el uso que disponen ha sido realizado un recorrido completo del trazado que nos concierne a partir de la determinación de un rango de potencial afección vibratoria en base a las distintas velocidades de circulación del elemento móvil y características del suelo por el que circula puntalmente. Este rango de afección se proyecta sobre el plano horizontal entre el eje de la plataforma de la infraestructura y el límite de propiedad de todas aquellas edificaciones erigidas a ambos lados de ésta. En el caso más exhaustivo, han sido considerados los propios raíles externos como referencia para la especificación de los márgenes de posible incidencia vibratoria considerando el plano paralelo al superficial o suelo de asentamiento de las edificaciones presentes en las inmediaciones de la infraestructura tratada.

Por lo tanto, de acuerdo con el total de la información disponible se han podido establecer los espacios para los que se prevé la aparición de afecciones por vibraciones. Para éstas, los espectros determinados de inmisión superan a frecuencias específicas los límites establecidos por la *Norma* de aplicación para el uso particular que poseen.

Los espacios a los que se hace alusión son los siguientes:

- PP.KK: 0 + 000 a 0 + 450
- PP.KK: 0 + 470 a 0 + 607
- PP.KK: 0 + 714 a 1 + 321
- PP.KK: 1 + 763 a 1 + 890
- PP.KK: 2 + 052 a 2 + 101
- PP.KK: 2 + 381 a 2 + 463
- PP.KK: 3 + 087 a 3 + 442
- PP.KK: 3 + 789 a 4 + 658

Al igual que el tramo anterior, el sistema antivibratorio adecuado para su implantación se materializa en la colocación de ***manta elastomérica bajo losa*** de la plataforma de la sección tipo propuesta para su ejecución.

La respuesta de este tipo de *mantas* viene condicionada por los materiales constituyentes de las mismas y el grosor de la placa/losa bajo la que se colocan. De manera general, los

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

fabricantes de este tipo de *mantas o elastómeros* adecúan, en la medida de los posible, las pérdidas de transmisión del conjunto *manta – losa* para aquellas frecuencias en las que es conocido que los niveles de vibración generados por el elemento móvil son especialmente superiores al del resto de frecuencias de interés (rango general de evaluación situado entre 1 y 80Hz). Esta frecuencia de partida se situaría a partir de los 31,5Hz, por ello, estos sistemas actúan incrementado el aislamiento vibratorio procedente de la plataforma a dicha frecuencia o incluso a inferiores.

Según lo expuesto, el sistema constituido por el conjunto *manta elastomérica* y *losa* ha de introducir unas pérdidas de inserción vibratoria de 28 dBv de promedio (condición extrema más desfavorable) en el rango frecuencial situado entre 40 Hz y 80 Hz con objeto de asegurar unos niveles de inmisión de vibraciones en edificación inferiores a los permisibles establecidos por la Norma de aplicación al presente proyecto.

Por último el estudio presentado por el Consorcio L1, incluye las siguientes recomendaciones para atenuar el nivel de vibraciones generadas por el proyecto:

- Durante la fase de obra asociado al proyecto correspondiente a la *"Primera Línea de Metro en el Marco del Sistema Integrado de Transporte Público-SITP-para la Ciudad de Bogotá (Colombia)"* no puede permitirse bajo ningún concepto la presencia de contactos o uniones entre las secciones tipo y cualquier elemento constructivo de una edificación a través de arquetas, distintas canalizaciones, tuberías, prismas, etc. Estos contactos actuarían como vías de transmisión de las vibraciones generadas por la circulación del elemento móvil pudiéndose llegar a superar los límites permisibles vibratorios en edificación fijados por la *Norma* de aplicación al estudio.

- En el caso de existencia de uniones de hormigón entre la plataforma y las edificaciones, se propone la implantación de *Planchas Elastoméricas* paralelas al trazado del *Metro* haciendo especial hincapié en su colocación en aquellos puntos susceptibles de actuar como puentes de transmisión.

- Se debe prestar especial atención a los raíles y ruedas. Se ha calculado que para elementos móviles de estas características y contemplando sus velocidades, las rugosidades pueden producir un incremento de 6 – 7dB del nivel de vibraciones en interior de las edificaciones. Por ello, se hace necesario un correcto estado de mantenimiento de los mismos con el fin de contrarrestar el incremento previsto que pueda ocasionar un mal estado de mantenimiento de éstos.

- Un aumento en la deflexión de la vía se traducirá en un aumento de la atenuación en el conjunto del sistema total. Ha de tomarse precaución con los niveles máximos establecidos en el proyecto.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

- Una vez realizadas los ensayos post-operacionales y si los resultados superan las curvas K recomendamos implantar discontinuidades elásticas o bituminosas entre base de edificaciones y plataforma del *Metro*. La efectividad de este sistema se hará más evidente cuando la discontinuidad conseguida cubra un área de separación mayor.

Medio biótico

A continuación se presenta en líneas generales una síntesis, de la evaluación de impactos ambientales del componente biótico, los cuales serán generados en el desarrollo de la construcción y operación de la primera línea del metro para Bogotá (PLMB).

El proyecto, PLMB, se encuentra inmerso en el ámbito urbano, por lo que la línea base se construyó tomando como referencia lo reportado en el Plan de Ordenamiento Territorial – POT de Bogotá (Decreto 619 de 2000), en relación a la Estructura Ecológica Principal (EEP), dentro del Área de Influencia Directa (AID) del proyecto.

Como tal, la evaluación de impactos ambientales en el escenario sin proyecto, será el resultado de todo lo atinente al desarrollo urbano, en este sentido las actividades cotidianas que van desde la recuperación de la malla vial, el crecimiento de infraestructura habitacional, el transporte urbano, el comercio, entre otros, le imprimen una dinámica propia de impactos, al entorno urbano. Estos impactos de una u otra forma serán acumulativos y sinérgicos, con los que se presentaran en desarrollo de la construcción y operación de la primera línea del metro para Bogotá (PLMB).

Para el caso del componente biótico, en la línea base ambiental se identificaron los sistemas urbanos de importancia ecológica, que también se integran como parte de las áreas de influencia directa del trazado, para la primera línea del metro de Bogotá (PLMB), estos son:

- Elementos conectores complementarios
- Parques urbanos
- Parques zonales

<u>Valoración afectación estructura ecológica principal</u>

Tabla 3-12. Calificación impacto Afectación a la Estructura Ecológica

Impacto : Afectación a la Estructura Ecológica	I	Tipo de Impacto

Impacto : Afectación a la Estructura Ecológica	I	Tipo de Impacto
Adecuación y uso de instalaciones auxiliares	-16	Irrelevante
Demoliciones	-17	Irrelevante
Descapotes y remoción cobertura vegetal	-26	Moderado
Excavaciones con pantalladora	-17	Irrelevante
Excavaciones con tuneladora	-16	Irrelevante
Excavaciones restantes	-16	Irrelevante
Obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller	-17	Irrelevante

Fuente: IVICSA, IDU, 2015

Como lo señala I.V. Consultores en su documento de evaluación de impacto la PLMB. la Estructura Ecológica Principal, para la ciudad de Bogotá es el eje estructural del Ordenamiento Territorial del Distrito Capital, la cual contiene un sistema espacial, estructural y funcionalmente interrelacionado que define corredores ambientales de sustentación, que son de vital importancia para el mantenimiento del equilibrio ecosistémico del territorio, consolidando un conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables.

Atendiendo a lo establecido en el Artículo 75 del Decreto 190 de 2004; Artículo 10 del Decreto 619 de 2000, modificado por el artículo 74 del Decreto 469 de 2003 y citado en el Artículo 13 del Acuerdo 248 de 2006, la Estructura Ecológica Principal se define también como la base ambiental que soporta el territorio, que selecciona y delimita la región para su protección y apropiación sostenible, a partir de los principales elementos naturales y construidos que determinan la oferta ambiental, conformando la plataforma estructurante a partir del cual se articulan los sistemas urbanos y rurales.

De acuerdo con la identificación, la valoración y la calificación de impactos ambientales, se puede concluir en referencia a los impactos sobre el factor estructura ecológica principal, en el caso de la construcción, que presentan grados de importancia que van desde los irrelevantes a moderados. Las actividades de: Excavaciones por apantallamiento; excavaciones con tuneladora y excavaciones restantes, resultan irrelevantes.

Si bien el proyecto de la PLMB intercepta algunos elementos conectores de la Estructura Ecológica Principal de la ciudad los efectos no tendrán una relevancia significativa. Para el caso de la actividad: Descapotes y remoción cobertura vegetal la importancia es moderada, salvo en el caso de la construcción del ramal técnico en la actividad: Montaje de la subestructura (pilas y estribos) y superestructura de vía (vigas y placas), la importancia del impacto resulta severa, básicamente esto obedece a que pese a ser

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

vegetación herbácea, pionera, introducida y heterogénea en su disposición, forma parte del entorno y como tal, su intervención genera impactos.

La magnitud del impacto por los descapotes y remoción cobertura vegetal sobre la estructura ecológica principal, es alta, pues se da en todo el sector intervenido, así mismo la posibilidad de reconstrucción del componente afectado es relevante, y la reversibilidad del efecto o impacto, pude verse como irreversible.

Para el caso de la fase de operación en el factor estructura ecológica principal, no se identificaron impactos relevantes. La implementación de un diseño paisajístico en el área de influencia de La PLMB generara nuevos espacios que servirán como conectores de la estructura ecológica principal del ciudad de Bogotá.

Valoración del impacto perdida de la cobertura vegetal

Tabla 3-13. Calificación impacto pérdida cobertura vegetal

Impacto: Perdida de la Cobertura Vegetal	I	Tipo de Impacto
Adecuación y uso de instalaciones auxiliares	-16	Irrelevante
Demoliciones	-20	Irrelevante
Descapotes y remoción cobertura vegetal	-34	Moderado
Obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller	-25	Moderado
Retirada equipos, maquinaria y limpieza y restauración	-16	Irrelevante
Demoliciones	-20	Irrelevante
Descapotes y remoción cobertura vegetal	-25	Moderado

Fuente: IVICSA, IDU, 2015

De acuerdo con la identificación, la valoración y la calificación de impactos ambientales, para la construcción se puede concluir que sobre el factor cobertura vegetal, se presentan impactos con importancias de irrelevantes a moderadas. Las actividades constructivas de: Descapotes y remoción cobertura vegetal (tanto en el proyecto general PLMB, como en el ramal técnico) y obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller), en el impacto: Afectación de la cobertura vegetal (pérdida o preservación), presenta una importancia moderada.

Esto básicamente ocurre porque la magnitud del impacto es de moderada a media, al respecto se precisa que en esta actividad la vegetación es removida completamente, por lo que la probabilidad de ocurrencia es cierta y la posibilidad de reconstrucción del componente afectado, es media mitigable.

Es importante dar precisión en el sentido de que si bien estos impactos tienen una importancia moderada, se generaran las respectivas medidas para el adecuado manejo y

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

protección de la cobertura vegetal. También es necesario recordar que la vegetación afectada en un alto porcentaje, es exótica conformada por especies arbóreas foráneas y en los estratos bajos por especies herbáceas propias de zonas urbanas, que como tal tienen tanto gran capacidad de adaptación, como abundancia en su representación en todo el entorno urbano.

Para el caso de las actividades de: Adecuación y uso de instalaciones auxiliares y demoliciones presenta este impacto presenta una importancia irrelevante. La magnitud de este impacto es baja, la valoración del resto de criterios permiten calificar el valor de esta importancia.

En la fase de operación todas las actividades tienen una importancia irrelevante en cuanto al impacto mencionado.

Valoración de afectación a fauna silvestre.

Tabla 3-14. Calificación impacto Afectación Fauna silvestre

Impacto: Afectación a fauna silvestre.	I	Tipo de Impacto
Descapotes y remoción cobertura vegetal	-32	Moderado
Obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller	-17	Irrelevante
Adecuación y uso de instalaciones auxiliares	-16	Irrelevante
Demoliciones	-19	Irrelevante

Fuente: IVICSA, IDU, 2015

De acuerdo con la identificación, la valoración y la calificación de impactos ambientales, para la construcción se puede concluir en referencia factor fauna silvestre, que se presentan impactos con grado de importancia, irrelevantes, y moderados. La actividad constructiva de descapotes y remoción cobertura vegetal en impacto: Afectación a fauna asociada, tiene una importancia considera moderada.

Esto básicamente porque pese a tener una magnitud media, en esta actividad la vegetación es removida completamente, por lo que la pérdida de los hábitats para la fauna silvestre, tiene una probabilidad ocurrencia cierta y la posibilidad de reconstrucción del componente afectado, es media mitigable.

Sin embargo es importante dar precisión en el sentido de que si bien estos impactos tienen una importancia de moderado, se generaran las respectivas medidas para el adecuado manejo y protección de la fauna silvestre. También es necesario recordar que las especies registradas en la línea base ambiental, son especies cosmopolitas (de amplia distribución), oportunistas, generalistas, comunes y que se han adaptado a las condiciones cambiantes del entorno urbano. Adicionalmente es de esperar que en las

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

primeras actividades como el descapote la fauna se desplace a lugares similares que se encuentran cerca de los lugares de intervención de la obra.

Las actividades constructivas de: Adecuación y uso de instalaciones auxiliares; obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller importancias irrelevantes. Este impacto ejercido por las actividades citadas, tiene poca expresión para el componente fauna silvestre.

Medio socioeconómico

El proceso de identificación de impactos socioeconómicos para la Primera Línea del Metro de Bogotá tiene como punto de partida información primaria referente a la caracterización desarrollada por el equipo desde las Mesas de diálogo social e información secundaria tomada de los diagnósticos institucionales del orden distrital y nacional. En la caracterización fue necesaria la definición del área de influencia entre indirecta y directa; la primera considerada para las localidades por las cuales pasará la PLMB y la segunda conformada por un polígono producto del trabajo adelantado en los recorridos del Equipo Social Metro con la comunidad.

A partir de la definición y valoración de los mismos, se organizaron en los siguientes factores sociales: demográficos, físico espacial, económico, organizativo y cultural, acorde a las actividades a desarrollar valorando dos escenarios posibles: uno con proyecto y otro sin proyecto.

Dado que el capítulo socioeconómico se realizó a través del IDU y este se armoniza con la consultoría 2226 de 2013, quien fue el encargado de la realización del “Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de la Primera Línea del Metro de Bogotá, de las estaciones y patio taller, en el marco del sistema Integrado de transporte público –SITP para La ciudad de Bogotá D.C.,”, específicamente en los componentes biótico y abiótico; se realizó la evaluación de impactos bajo los parámetros metodológicos establecidos por el consultor IVICSA, en los que se utilizó la metodología de Vicente Conesa.

En el proceso de descripción, se hace una breve introducción en la que se menciona a que hace referencia el impacto, normas jurídicas que lo sustentan (si aplica) y la intención de medir el impacto, según la fase en la que se encuentre. Posteriormente, la descripción se subdivide en dos escenarios: una parte en la que se hace referencia al estado actual del impacto, a la que se le ha nombrado como escenario sin proyecto, aquí se toman fragmentos del capítulo de caracterización socioeconómica y se describe la situación actual. La segunda parte es escenario con proyecto, en la que se menciona el resultado de la evaluación y se describen las situaciones asociadas a la evaluación. Al final se escribe una conclusión respecto al análisis de cada impacto evaluado.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

En la etapa sin proyecto se identificaron los impactos de: Cambios de las expectativas frente a las oportunidades e incidencias del proyecto, cambios en la cultura ciudadana y cambios en la participación social. Estos impactos se califican como moderados debido a que aún no ha iniciado la obra civil y la ciudadanía se encuentra en un proceso de fortalecimiento social a fin de prepararse para la etapa de construcción.

Para la etapa de construcción con calificación moderada encontramos los impactos de: Intrusión paisajística, cambios en la participación social, suspensión de servicios públicos domiciliarios, obstrucción a equipamientos sociales, de servicios y garajes, deterioro de las vías locales e intermedias, cambio de la accidentalidad peatonal, alteración del espacio público y zonas verdes, disminución de ingresos a las actividades económicas formales, obstrucción a locales comerciales de servicios y garajes, afectación del entorno paisajístico e identidad, perdida del patrimonio material e inmaterial y aumento en los tiempos de desplazamientos motorizados y no motorizados. Con calificación severa encontramos el aumento de la percepción de inseguridad y el desplazamiento por obra pública.

Es importante destacar que estos impactos se mitigaran a través de los programas contemplados en el Plan de Manejo, el cual fue construido a partir de la Guía de Gestión Social del IDU y las recomendaciones hechas por la comunidad en las Mesas de Diálogo Social. Es preciso decir, que para la formulación del plan de manejo fueron considerados los componentes de un proyecto urbano integral-PUI y los elementos del Desarrollo Orientado al Transporte-DOTS

Con calificación positiva media y positiva alta se encuentran los impactos de cambios de expectativas frente a las oportunidades e incidencias del proyecto, cambios en la cultura ciudadana, aumento de la densidad poblacional, aumento en el valor comercial de los inmuebles y aumento en la mano de obra no calificado. Lo anterior justificado en el inicio de las obras civiles de la PLMB.

Para la etapa de operación y mantenimiento todos los impactos fueron calificados entre positivo medio y positivo alto (disminución de los tiempos de desplazamiento motorizado y no motorizado, mejoramiento de vías locales intermedias, incremento del uso de medios de transporte no motorizados, generación de espacio público y zonas verdes, aumento en el valor comercial de los inmuebles, aumento de ingresos de actividades formal, cambios en la participación social, cambios en la cultura ciudadana, cambios en las expectativas

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

frente a las oportunidades e incidencias del proyecto, intrusión paisajística y cambios en la accidentalidad peatonal) debido a que durante esta fase del proyecto se espera que la ciudadanía en general sea la principal beneficiaria con la puesta en marcha del proyecto, la re apertura de algunos sectores de la malla vial y la construcción de obras complementarias.

Finalmente y a fin generar acciones de inspección y adaptación, se diseñó un plan de manejo socioeconómico para la Primera Línea del Metro de Bogotá, que es el conjunto de programas y acciones necesarias a implementar a fin de prevenir, minimizar, mitigar alteraciones negativas que se generen en la obra y potencializar los impactos positivos, motivando la vinculación de organizaciones sociales, comunitaria e institucionales del área de influencia.

Para conocer el detalle la evaluación socioeconómica del proyecto, se puede consultar el documento “ESTUDIO DE IMPACTO SOCIOECONÓMICO PARA LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ”.

Pérdida o alteración del Patrimonio Arqueológico

Tabla 3-15. Calificación impacto Pérdida de patrimonio arqueológico

Impacto: Perdida o alteración del Patrimonio Arqueológico por remoción del suelo y el subsuelo	I	Tipo de Impacto
Descapotes y remoción cobertura vegetal	-35	Moderado
Demoliciones	-33	Moderado
Adecuación y uso de instalaciones auxiliares	-26	Moderado
Desvío de servicios afectados	-32	Moderado
Desvío de cauces interceptados	-45	Severo
Excavaciones con pantalladora	-47	Severo
Excavaciones restantes	-47	Severo
Rellenos	-28	Moderado
Ejecución elementos estructurales de concreto	-45	Severo
Obras civiles (arquitectura) estaciones y patio taller	-31	Moderado
Reposición de firme y pavimentaciones	-29	Moderado
Excavaciones con tuneladora	-44	Severo

Fuente: IVICSA, IDU, 2015

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Según la información de la Línea Base la cual contiene el documento "Programa de Arqueología Preventiva para el Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de la primera línea del Metro de Bogotá, de las estaciones, patios y talleres, en el marco del sistema integrado de transporte público –SITP– para la ciudad de Bogotá D.C., Fase de prospección arqueológica", el cual permitió generar una Zonificación Arqueológica del área de influencia directa del proyecto, para comprender la característica del potencial arqueológico y estructurar unas medidas de manejo arqueológico para el área de intervención del proyecto con el fin de evitar el impacto negativo de las obras de infraestructura sobre el patrimonio arqueológico.

Según el documento antes mencionado en el área de influencia directa de la PLMB se identificaron tres zonas donde existe un alto potencial arqueológico, estas son:

- Ámbito Estación Portal de las Américas (entre las abscisas K0+610 y K1+230 del Tramo 1).
- Subtramo comprendido entre la Estación NQS (abscisa K3+054,18 del Tramo 2) y la abscisa K6+166,14 del Tramo 3 (posterior a Estación Lourdes y coincidente con el final del Tramo 3). En este subtramo se encuentra incluido el Parque Tercer Milenio.
- Ámbito Usaquén-Calle 127 (entre las abscisas K4+393,92 y K6+902,40 del Tramo 4).

Las demás zonas del área de influencia de la PLMB se identificaron como zonas entre bajo y medio potencial arqueológico.

De acuerdo con lo anterior e integrando las actividades que se llevaran a cabo en la fase de construcción de la PLMB, se pueden determinar que todas las actividades que impliquen excavaciones en las áreas de potencial alto arqueológico tendrán un impacto significativo si no se plantean las medidas necesarias.

Teniendo en cuenta los resultados del documento Programa de Arqueología Preventiva para el Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de la primera línea del Metro de Bogotá, de las estaciones, patios y talleres, en el marco del sistema integrado de transporte público –SITP– para la ciudad de Bogotá D.C., Fase de prospección arqueológica" a continuación se extrae el planteamiento sobre la necesidad de implementar un Plan de Manejo Arqueológico.

"Atendiendo a la necesidad de recatar las evidencias arqueológicas presentes en el área del Parque Tercer Milenio y la posibilidad de posibles hallazgos fortuitos durante el desarrollo de las obras civiles en las demás áreas intervenidas. Según el Manual de Procedimientos del ICANH (ICANH, 2001), el Plan de Manejo trata del diseño de un conjunto de medidas que permitan mitigar o compensar los impactos negativos generados por el proyecto sobre el patrimonio arqueológico. El Plan de Manejo debe ser claro en definir las actividades a realizarse para la menor afectación del patrimonio arqueológico a

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

partir de la propuesta de implementación de una serie de medidas basadas en los hallazgos arqueológicos y la zonificación arqueológica propuesta (previo a la intervención y construcción de las obras civiles en el área del proyecto).

En tal sentido, como resultado del presente Programa de Arqueología Preventiva, y basado en los resultados de la aplicación de los distintos tipos de técnicas de intervención arqueológica derivados de las actividades de reconocimiento y prospección, se pudo constatar que **se evidenció la presencia de vestigios arqueológicos en el área de la Estación San Victorino,** a nivel sub–superficial, derivando en una **zonificación de alto potencial arqueológico**. En el área de patios y Talleres se observó los posibles restos de un camellón prehispánico en mal estado de conservación, por lo que el área se determinó como **Medio Potencial Arqueológico**. En las Estaciones Rosario, Callejas y Usaquén, **no se hallaron restos arqueológicos**, por lo que su zonificación arqueológica deriva en **Bajo Potencial Arqueológico.**

Respecto de las demás actividades o medidas de manejo arqueológico a desarrollar, se propone llevar a cabo actividades complementarias para el debido cuidado y protección de los restos arqueológicos, por medio de la implementación de un **Rescate Arqueológico en la Estación San Victorino**, un **Subprograma de Monitoreo Arqueológico de Obras Civiles** y un **SubPrograma de Educación y Capacitación para el Manejo y Protección del Patrimonio Arqueológico**. Este último, contempla la realización de actividades de sensibilización y educación dirigidas a la interventoría y contratistas de las obras civiles a fin de que conozcan las medidas y acciones a seguir en caso del hallazgo fortuito de vestigios arqueológicos no registrados en desarrollo del presente estudio y que pudiesen ser afectados en desarrollo de la operación. Esto, con el fin de salvaguardar todas las evidencias arqueológicas que pudieran encontrarse a nivel de subsuelo".

3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA EX ANTE DEL PROYECTO

A continuación se exponen las conclusiones de la Evaluación Socio Económica Ex-ante para la PLMB.

Para el caso de la línea base del proyecto se evidencia que la mayoría de las estimaciones de impactos sociales asociadas a modos de transporte en Colombia, tienen una perspectiva eminentemente ex post. En general, nos enteramos de las variaciones de bienestar generadas por este tipo de proyectos, una vez se han materializado sus efectos con la consabida mejora o deterioro en la calidad de vida de la sociedad incidida. En aras de diseñar proyectos más rentables socialmente, es necesario entender de forma precisa, la manera en la que este tipo de intervenciones afecta a las personas y sobre todo la verdadera magnitud de esta afectación. La línea de base que se construyó para la PLMB aporta información relacionada con los patrones de uso del suelo urbano en los últimos tiempos, con el propósito de que pasados 5 años luego de la entrada en operación del

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

proyecto, pueda determinarse si estos procesos de desarrollo urbano tuvieron un cambio estructural determinado por la existencia del metro en la cuidad. Adicionalmente, los indicadores procedentes del levantamiento de información primaria, podrán ser comparados con un nuevo levantamiento para determinar, si el proyecto incidió de manera real sobre las condiciones poblacionales más representativas de la ciudad. Sobre la Disponibilidad A Pagar (DAP) y su relación con el sistema de transporte actual: la información cuantitativa levantada, sugiere una mala calidad en el actual sistema de transporte, mientras el análisis cualitativo desarrollado, evidencia una experiencia de carácter traumático asociada al uso frecuente de Transmilenio. Para las personas indagadas, la experiencia completamente negativa asociada al actual sistema de transporte, compromete de manera drástica su percepción con respecto a que un nuevo proyecto que tenga patrones de implementación y operación similares, les proporcione mejoras en bienestar reales. Todos estos elementos reducen la Disponibilidad A Pagar (DAP) de las personas indagadas por tener un proyecto como la PLMB en la ciudad.

Sobre los beneficios para la ciudad asociados a costos evitados y transferencia de beneficios: un proyecto como la PLMB, tiene efectos positivos y negativos notables sobre el bienestar de los habitantes de la cuidad de Bogotá. El principal impacto encontrado en el estudio, tiene que ver con el mejoramiento de la calidad del servicio de transporte, en el marco de un entorno traumático diario, al que se exponen buena parte de los ciudadanos. El alto valor económico de las reducciones en tiempos de viaje, está explicado por el diseño del metro actual y por la perspectiva de transporte que se tiene planeada para Bogotá hasta el 2050. Al tratarse de un metro por entero subterráneo, se está poniendo en operación una nueva vía en la ciudad con alta capacidad y altos niveles de servicio. Este efecto no se lograría con modos de trasporte alternos en cuyo diseño se acaparen vías en actual uso o se aumente el número de automotores en las vías existentes. Sobre la relación entre la DAP y aproximación de costos evitados y transferencia de beneficios: Las diferencias entre las estimaciones de los valores económicos de la DAP, los costos evitados y la transferencia de beneficios; se explican por la miopía en la percepción de los indagados, con respecto a las mejoras reales en bienestar que puede aportar un proyecto como la PLMB. No hay que olvidar que se trata de un desarrollo nuevo, solamente comparable para ellos, con experiencias como Transmilenio, un proyecto que desde su perspectiva, no ha cumplido las expectativas de la ciudad en materia de transporte. Sobre las implicaciones de la DAP y el financiamiento del proyecto: desde la perspectiva de lo dicho anteriormente, vale la pena considerar instrumentos de financiamiento para la PLMB que no incluyan mecanismos de captura de valor basados en medidas monetarias de variación de bienestar y además se sugiere, la definición de un esquema de construcción y operación que separe a la PLMB de los patrones de sobre costo y deterioro en la calidad del servicio, de los que adolece el sistema actual. En esencia las personas estarán sistemáticamente en desacuerdo con financiar un proyecto que no cumpla de manera contundente todas sus expectativas en el largo plazo. Sobre la viabilidad social del proyecto: la conclusión del equipo evaluador es que se trata de un

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

proyecto con una alta rentabilidad social. Considerando las condiciones negativas actuales en materia de transporte y movilidad de la ciudad, las variaciones netas positivas en bienestar generadas por el proyecto, son tan altas, que ningún análisis de sensibilidad reportaría conclusiones contundentes para negar su viabilidad. Sobre la estructuración jurídica y financiera: luego de analizar la disponibilidad a pagar de la ciudad por el proyecto, no se considera aconsejable el financiamiento público de la iniciativa, mediante la implementación de mecanismo de captura de valor, basados en cambios positivos de bienestar. Lo que sugieren las cifras, es que quienes podrían pagar estos desarrollos no están dispuestos a cubrir la totalidad de los costos del proyecto en todos los escenarios planteados. En este sentido, se recomienda la estructuración de una Alianza Público Privada (APP), que financie la totalidad del proyecto. Para que esta iniciativa sea viable, es necesario que esta instancia se estructure como una autoridad, que administre la totalidad de modos de transporte para que pueda ejercer una gerencia de transporte completamente sistémica. Lo que sugieren las cifras del estudio, es que con una tarifa mayor, menores costos de transacción, mayor productividad y el aprovechamiento de otros ingresos asociados a desarrollos inmobiliarios, publicidad, comercio etc., el proyecto puede ser viable también desde una perspectiva financiera.

3.3 CONCLUSIONES

Como se expuso anteriormente la construcción y operación de la PLMB genera diferentes tipos de impactos a los componentes ambientales (abiótico, biótico y social), sin embargo, estos impactos no generan un efecto significativo en el medio ya sea por las condiciones actuales del área de influencia del proyecto o por la implementación de medidas enmarcadas en las buenas prácticas de ingeniería que mitigan y corrigen los impactos ambientales.

Las actividades que se desarrollan en la fase de construcción asociadas al movimiento de tierras y las excavaciones por pantallas son las actividades que tienen una mayor incidencia en la generación de los impactos ambientales. Por lo anterior es importante que estas actividades tengan un seguimiento especial en la etapa de construcción de la PLMB.

La PLMB no ejerce impactos críticos sobre el medio que hagan inviable el desarrollo del proyecto, ni en fase de construcción ni en fase de operación. Los impactos ambientales con mayor relevancia se generan en la etapa de construcción del proyecto, siendo las actividades relacionadas con el movimiento de tierras las que generan mayor afectación; las excavaciones mediante método de pantallas tiene una mayor afectación que las excavaciones a realizar con tuneladora, siendo los impactos más representativos la generación de movimientos de construcciones por subsidencia, alteración de la red de drenaje, afectación al medio por emisiones acústicas y vibraciones; también es

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

importante mencionar que la mayoría de los impactos identificados y evaluados tienen carácter irrelevante o moderado.

Los movimientos en construcciones por asentamientos, es un impacto habitual en la construcción de una línea de metro, tanto en la fase de construcción como en la de operación, y es mitigable mediante la aplicación de las correspondientes medidas correctivas. De igual manera se establecen medidas de control y monitoreo, que permiten evidenciar antes, durante y después de la obra cualquier anomalía. Al inicio del proyecto se levantas las respectivas actas de vecindad, donde se elabora una descripción detallada del estado inicial de las edificaciones aledañas al proyecto, y por lo menos un mes antes de iniciar las excavación se instalan puntos de control topográfico, instrumentación en vías (ej. inclinómetros) y se realiza la toma de medidas iniciales, las mediciones se continúan realizando durante la obra y durante la operación. Es importante resaltar que con base en los estudios geotécnicos realizados en la etapa de ingeniería básica, se establecieron los tratamientos específicos a implementar en las zonas donde se prevé la generación de asentamientos, dichos tratamientos se integran al diseño de la obra y en general corresponde a la inyección de concreto mediante el método de jet-grouting, por lo cual el control y mitigación de los impactos por subsidencia han sido considerados en el diseño estructural de la PLMB.

El descapote y la remoción de cobertura vegetal que debe realizarse en el marco de las obras, afecta el medio biótico por la tala de individuos forestales y eliminación de zonas verdes, sin embargo el impacto será compensado de acuerdo a la normatividad definida en la ciudad. Los aspectos identificados en la caracterización ambiental del área de influencia de la PLMB, se evidenció que la mayoría de la cobertura vegetal presente es exótica y tiene un bajo nivel de representatividad ecosistémica. Adicionalmente en el diseño paisajístico se crearán nuevos espacios públicos en los cuales se integra de una manera armónica especies vegetales nativas con elementos urbanísticos que elevan la calidad escénica de las áreas intervenidas.

A su vez el proyecto, origina impactos positivos de gran importancia en fase de operación, derivados de la presencia de la línea y su funcionamiento, con repercusión directa en la mejora de la calidad de vida de los habitantes de Bogotá, que tendrán acceso a un modo de transporte nuevo, rápido y eficaz, y en el ámbito del mismo podrán beneficiarse de un espacio urbano más atractivo, con abundante presencia de arbolado y en el que los medios no motorizados gozarán de un protagonismo mayor, acorde a los estándares y criterios actuales de calidad urbana.

En relación con el componente de hidrogeología, se identifican impactos como remoción de lentes de arenas y gravas y descenso de los niveles piezométricos por efecto barrera, estos impactos son de carácter moderado, los impactos por alteración de la calidad del agua subterránea obtienen un carácter irrelevante para todas las acciones consideradas.

En este sentido, respecto del efecto barrera que puede ejercer la excavación del túnel sobre el flujo de las aguas subterráneas con los consiguientes efectos de alteraciones en los niveles piezométricos aguas arriba y aguas abajo del túnel, las acciones preventivas se basan en medidas incorporadas en el diseño de las pantallas proyectadas por el proyecto de diseño de la PLMB. Estas pantallas deberán ser permeables, permitiendo la circulación del flujo de las aguas subterráneas. Esta permeabilidad puede ser conseguida mediante sistemas de tuberías que conectan ambos lados del túnel o mediante apreturas de portillos en el pie de las pantallas.

Se propone la ejecución de ventanas/portillos en muros pantalla que se instalarán a la armadura de la estructura de concreto armado un encofrado rectangular cuyas dimensiones longitudinales coincidan exactamente con la anchura del muro. De esta manera, una vez se procede al hormigonado del muro y evacuación de lodos bentoníticos, el espacio confinado por el encofrado perdido queda hueco, permitiendo así el flujo de agua subterránea generada por el nivel freático.

Adicionalmente se ha proyectado la instalación de una red de piezómetros asociada a la PLMB para el monitoreo de niveles freáticos y calidad de aguas subterráneas.

Con relación al impacto por afectación a la calidad del aire ocasionado por la emisión de material particulado, en el estudio realizado se estableció un nivel base existente y una tendencia de concentraciones de material particulado altas, asociadas al transporte vehicular o a la actividad industrial. Al evaluar el escenario con proyecto en fase de construcción, se destaca un incremento en las concentraciones asociada a las actividades de movimiento de tierra y demoliciones, alcanzando niveles de impacto severo. Si bien, se destaca su temporalidad y concentración, estos efectos son mitigados mediante la aplicación de buenas prácticas en la ejecución de la obra. Por otra el impacto sobre la calidad del aire (material particulado) en fase de operación de la línea es valorado como positivo, por la implementación de un sistema de transporte masivo eléctrico y el efecto potencial en la reducción de viajes realizados en vehículos particulares y la disminución de la frecuencia de servicios de transporte público.

Otro impacto a considerar es el importante volumen de residuos de construcción demolición generados en las diferentes etapas de la construcción de la PLMB, para su manejo se está diseñando un modelo de gestión integral el cual integre el aprovechamiento, la reutilización y disposición final de estos residuos. A partir del aprovechamiento y la reutilización de los residuos se reducirá la demanda de recursos naturales como agregados pétreos y agregados finos, que actualmente son extraídos del medio, ocasionando una presión a la estructura ecológica principal y aportando de manera significativa a la reducción de gases de efecto invernadero generados en las actividades extractivas.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Si bien en la fase de construcción de la PLMB se evidencia la generación de la mayor cantidad de impactos ambientales a los diferentes componentes, en la fase de operación se manifiestan los impactos positivos que hacen que este proyecto tenga una importancia en el desarrollo integral de la ciudad.

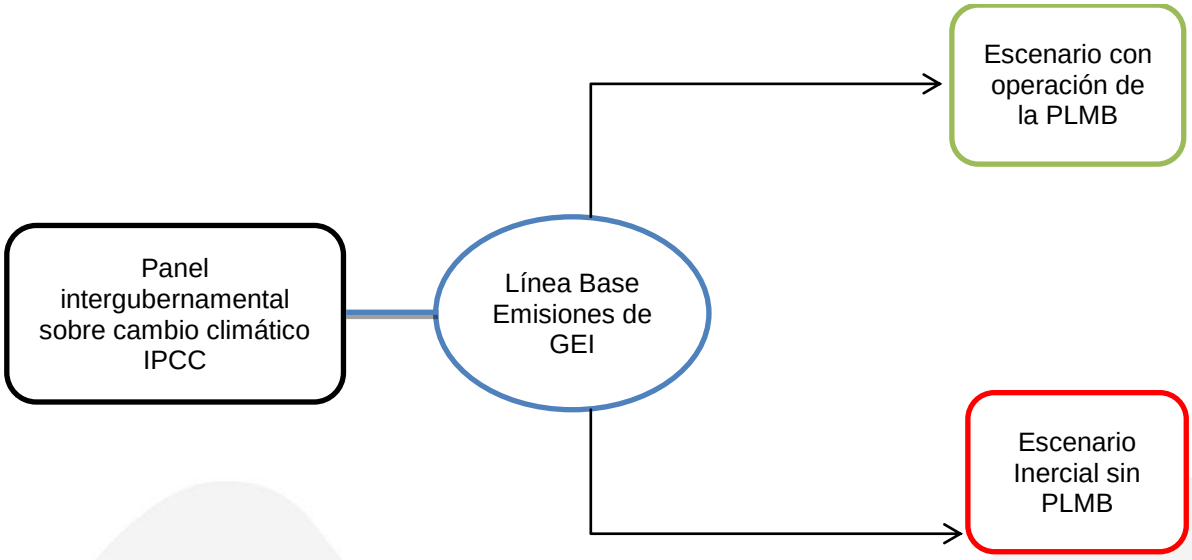
idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

4. METODOLOGÍA

4.1. SELECCIÓN DE METODOLOGÍA

Para determinar la reducción de GEI que se plantea con la operación de la PLMB se tendrán en cuenta los siguientes escenarios; una línea base que presenta las emisiones de GEI que se generan actualmente en la ciudad de Bogotá y se realizarán proyecciones al año 2050 para determinar cómo serían las condiciones del Distrito respecto a emisiones de GEI de no construirse la PLMB (Escenario inercial) y cómo serían estas emisiones con la puesta en marcha de la PLMB en caso de que si sea construida. Figura 4-1.

Figura 4-1. Escenarios de emisiones

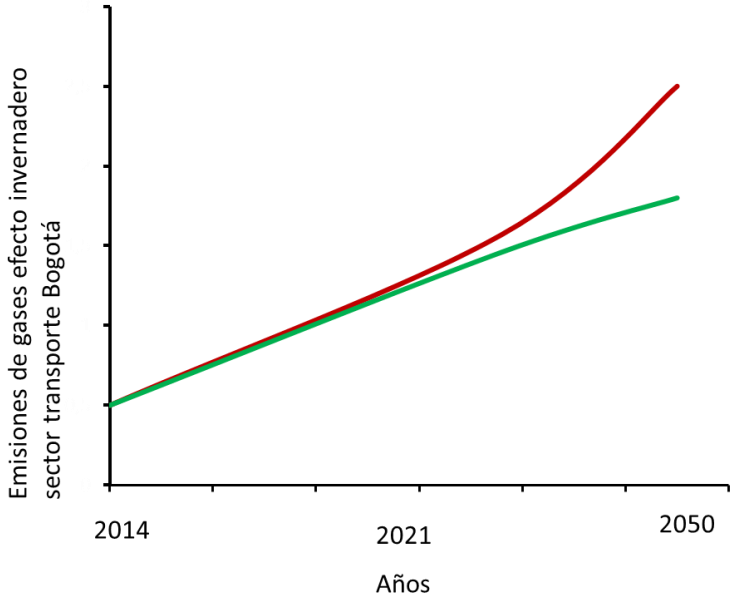


Fuente: Equipo Metro, 2015

La definición y análisis de los escenarios servirá para comprobar que, en materia de reducción de emisiones de GEI la operación de la PLMB en el modelo de movilidad de Bogotá contribuirá a la mitigación de los gases de efecto invernadero en el sector transporte y se reflejaría en las metas de propuestas para minimizar los efectos del cambio climático. Figura 4-2 y 4-3.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 4-2. Tendencia de las proyecciones



Fuente: Equipo Metro, 2015

Figura 4-3. Escenarios de emisiones

Escenario Inercial

- Condiciones de GEI de la ciudad al año 2021-2050 en caso de no construirse la PLMB

Escenario con la PLMB

- Reducción de GEI
- El metro de Bogotá funciona como alternativa eficiente y limpia para el desplazamiento en la ciudad por lo que los ciudadanos se trasladan de sus medios de transporte convencionales y reducen la adquisición de nuevos vehículos

Fuente: Equipo Metro, 2015

4.1.1 EMISIONES SIN PROYECTO- Línea Base

La línea base de este estudio consiste en determinar cuáles son las condiciones actuales de la ciudad en términos de emisiones de GEI causadas por el sector transporte sin la construcción y puesta en marcha de la PLMB; estas emisiones serán calculadas para el

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

año 2014, ya que para este año se tiene la información más actualizada en cuanto a movilidad en la ciudad de Bogotá.

Para el cálculo de emisiones se seleccionó la primera versión de la Herramienta Metodológica No. 18 para Línea Base de Emisiones por Medidas de cambio de Modalidad de Transporte Urbano de Pasajeros en el marco de la cuarta versión de la Metodología consolidada a gran escala para Proyectos masivos de Transito Rápido o Mass Rapid Transit Projects (MRTP) ACM0016, propuesta por Grütter Consulting AG, en Suiza y estandarizada para Mecanismos de Desarrollo Limpio desde el 24 de Julio de 2015. (CDM, 2015)

El tipo de acción de mitigación en que se fundamenta esta metodología es la eficiencia energética, que consiste en desplazar el transporte convencional que usa en su mayoría combustibles fósiles, con la operación de sistemas unificados que reduzcan las emisiones de GEI. El alcance de la metodología consiste en la implementación de sistemas de transporte basados en rieles como la propuesta de la PLMB, en el territorio urbano de una Ciudad (CDM, 2015).

A continuación se muestra la Tabla 4-1, la cual permite evaluar las condiciones de aplicabilidad de la metodología propuesta basada en los criterios de construcción y operación del proyecto de la PLMB.

Tabla 4-1. Aplicabilidad de la metodología seleccionada a la PLMB

CONDICIÓN DE APLICABILIDAD (CDM, 2015)	**SITUACIÓN DEL PROYECTO (IDU, 2015)**
El proyecto construye una infraestructura nueva para un Sistema de transporte urbano colectivo con vías segregadas. Para sistemas de rieles, el proyecto requiere implementar la construcción de nueva infraestructura (vías férreas)	Para la construcción de la PLMB se creará una infraestructura completamente nueva y exclusiva.
El proyecto está planeado para reemplazar y/o modificar rutas actualmente operadas en condiciones de tráfico mixtas (público, público individual, particular, público BTR)	La PLMB está planteada para mejorar el desempeño de la movilidad de la ciudad, reduciendo los tiempos de viaje en una extensión de 27km en la que se modificarán las rutas del transporte público convencional que operan en el área donde se realizará el proyecto, ya que la PLMB será el eje estructurante del sistema de transporte público de Bogotá.
Combustibles gaseosos, biodiesel, mezclas y energía eléctrica pueden ser usados para la línea base.	La PLMB utilizará energía eléctrica para la movilización de los trenes.
El proyecto tiene como alcance el transporte urbano y suburbano. La metodología no es aplicable para viajes interurbanos.	La PLMB se construirá dentro del perímetro del Distrito capital.
La metodología aplica si el escenario más plausible	De no construirse el metro, Bogotá tiende

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

CONDICIÓN DE APLICABILIDAD (CDM, 2015)	SITUACIÓN DEL PROYECTO (IDU, 2015)
de línea base es la continuación de los modos de transporte actuales	a mantener las mismas condiciones planteadas línea base, proyectadas al incremento de la población en el tiempo
La metodología no aplica para mejoras operacionales de un sistema existente y en operación.	La PLMB es un proyecto nuevo, que no ha operado anteriormente en la ciudad
Las vías afectadas por el proyecto son vías con grandes volúmenes de tráfico que se ven influenciadas por el metro; aquellas dentro de un radio de mínimo 1km de distancia paralelo a la línea del metro**.**	La PLMB pasa por vías principales de la ciudad con alto volumen de tráfico, sin embargo, los métodos constructivos harán que el tráfico en la etapa constructiva se vea lo menos afectado posible.

Fuente: Equipo Metro, 2015 con información de (CDM, 2015) e (IDU, 2015)

Esta metodología será aplicada para los GEI, CO_2 y CH_4 en la línea base y la actividad del proyecto. A continuación se muestra la Tabla 4-2 que relaciona los distintos gases que producen para los escenarios y la justificación para su inclusión.

Tabla 4-2. Inclusión de emisiones en la metodología

Fuente		Gas	Incluido
Linea base	Transporte convencional	CO_2	SI
		CH_4	SI
		N_2O	NO
Operación del proyecto	Puesta en marcha del metro	CO_2	SI
		CH_4	SI
		N_2O	NO
	Transporte convencional + Metro	CO_2	SI
		CH_4	SI
		N_2O	NO
Gas	**Justificación**		
CO_2	Mayores emisiones		
CH_4	Incluido únicamente si se usan combustibles gaseosos, excluido en combustibles líquidos		
N_2O	N_2O representa una fuente mínima de emisiones totales de CO_2eq		

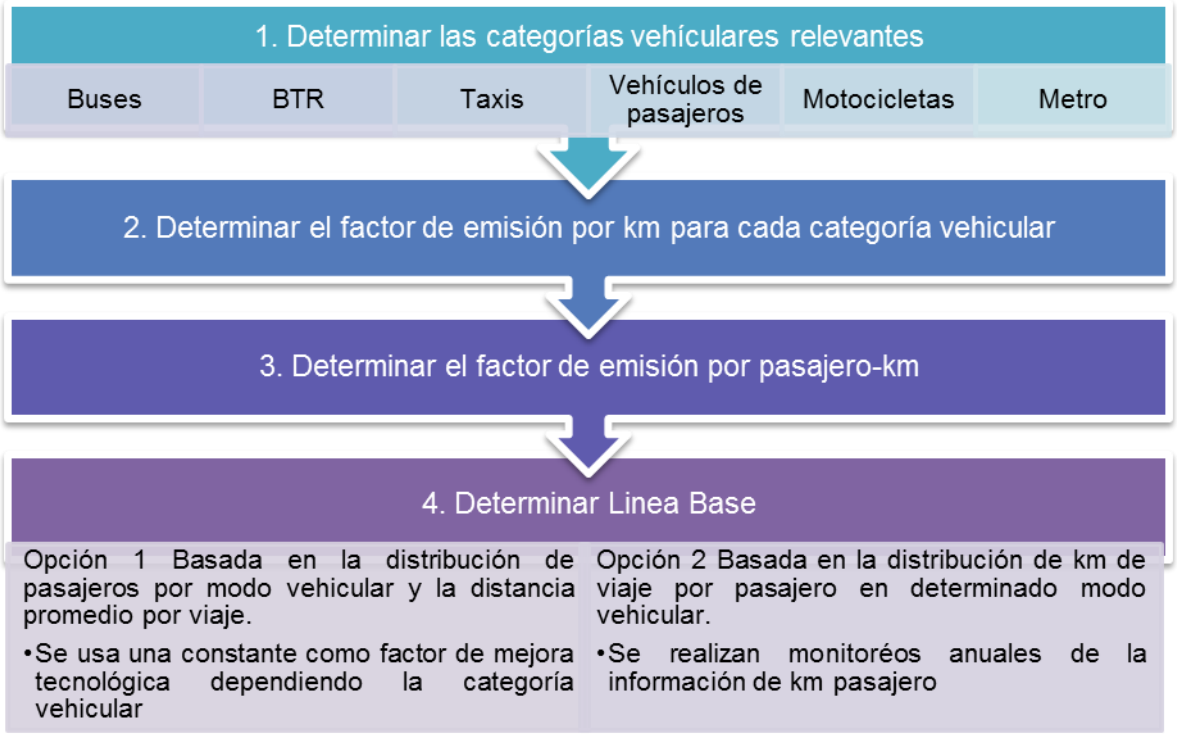
Fuente: Traducido y ajustado de (CDM, 2015)

La línea base corresponde al cálculo de emisiones de GEI generadas sin la implementación del proyecto, para lo que se tienen en cuenta los distintos medios de transporte convencional (Buses, BRT, taxis, Automóviles y motocicletas).

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Según la herramienta de línea base para la medida del cambio en modos de transporte urbano por pasajero encuestado, las emisiones son calculadas de acuerdo a los siguientes pasos:

Figura 4-4. Pasos para el cálculo de Línea Base de emisiones



Fuente: Equipo Metro, 2015 con información de (CDM, 2015)

1. *Determinar las categorías vehiculares relevantes*

Categorías *i*	Buses
	Buses BRT (TransMilenio)
	Taxis
	Vehículos de pasajeros
	Motocicletas

2. *Determinar el factor de emisión por km para cada categoría vehicular*

   Esta ecuación consiste en establecer por cada kilómetro recorrido de determinado modo de transporte, cuánto CO_2 se genera en unidades de volumen o masa, lo que

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

sirve para identificar dentro de las categorías vehiculares relevantes cuál genera mayores emisiones sin tener en cuenta la variable de los usuarios que utilizan el servicio.

Factor de emisión por km categoría i

$$EF_{KM,i,y} = \sum_{x} \left[SFC_{x,i} \times NCV_x \times EF_{CO2,x} \times \frac{N_{x,i}}{N_i} \right] \times IR_i^{+yt}$$

Donde:

$EF_{KM,I,y}$	Factor de emisión por km de categoría vehicular i en año *y*(g CO_2/km)
$SFC_{i,x}$	Consumo de combustible *x* por categoría vehicular *i* (g/km)
NCV_x	Valor calorífico del combustible *x* usado por categoría vehicular i (MJ/Unidad de masa o volumen de combustible)
$EF_{CO2,n}$	Factor de emisión por combustible (g CO2/MJ)
N_i	Número de vehículos de categoría *i* antes del proyecto (Unidades)
$N_{i,x}$	Número de vehículos en categoría *i* usando combustible *x* antes del proyecto(Unidades)
IR_i^{t+y}	Factor de mejora tecnológica para el vehículo *i* por año “t+y"
T	años de mejora (depende de la categoría)
I	Categorías vehiculares

Fuente: Ajustado y traducido de (CDM, 2015)

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

3. *Determinar el factor de emisión por pasajero-km*

   Una vez definido el factor de emisión por km para cada categoría se añade la variable de los usuarios que utilizan el servicio para establecer la distribución general de los pasajeros en los diferentes modos vehiculares, por lo que se determina cuánto CO_2 es generado por los vehículos con respecto a la cantidad de usuarios que transportan.

Factor de emisión pasajero km

$$EF_{PKM,i,y} = \frac{EF_{KM,i,y}}{OC_i}$$

Donde:

$EF_{PKM,i}$	Factor de emisión por pasajero.km de categoría vehicular i en año *y* (g CO_2/pkm)
$EF_{KM,i}$	Factor de emisión por km de categoría vehicular i en año *y*(g CO_2/km)
OC_B	Promedio de ocupación de los buses antes del proyecto (# de pasajeros)

Fuente: Ajustado y traducido de (CDM, 2015)

La tasa de ocupación promedio de los buses puede ser calculada usando el total de pasajeros y la distancia recorrida:

Tasa de ocupación

$$OC_B = \frac{PBL_B \times TDBL_{P,B}}{DD_B}$$

Donde:

OC_B	Promedio de ocupación de los buses antes del proyecto (# de pasajeros)
PBL_B	Pasajeros transportados por buses antes del proyecto (# de pasajeros)
$TDBL_{P,B}$	Distancia promedio de viaje por pasajero que usa bus antes del proyecto (km)
DD_B	Distancia total recorrida por todos los buses antes del proyecto (km)

$EF_{PKM,i,y} = \frac{EF_{KM,i,y}}{OC_i}$

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Fuente: Ajustado y traducido de (CDM, 2015)

4. Determinar Línea Base

Para el cálculo de línea base se seleccionó la opción 1 (Recomendada para MDL) ya que no requiere monitoreo anual y se actualiza de acuerdo a cambios y/o mejoras en los vehículos de las diferentes categorías.

Línea base

$$BE_{PS,y} = \sum_{i} BTD_{PS,i,y} \times EF_{PKM,i,y}$$

Donde:

$BE_{PS,y}$	Línea base de emisiones por pasajero encuestado en el año *y* (gCO_2)
$EF_{PKM,i}$	Factor de emisión por pasajero km del modo *i* en el año *y* (gCO_2/Pkm)
$BTD_{PS,i,y}$	Distancia de viaje por pasajero encuestado del modo i en el año y (km)

Fuente: Ajustado y traducido de (CDM, 2015)

4.1.2 ESCENARIO INERCIAL-Proyección al año 2050

La primera proyección a realizar es un escenario inercial, el cual consiste en determinar cuáles serán las condiciones de la ciudad al año 2050 en términos de emisiones de GEI del sector transporte en caso de no construirse la PLMB para lo cual se usará la Herramienta Metodológica No. 18 para Emisiones por Medidas de cambio de Modalidad de Transporte Urbano de Pasajeros para proyección definida en el Numeral 4.1.1 y la ecuación de proyección general de emisiones del Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico, 2005. Ver figura 4-5.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 4-5. Ecuación adicional para proyección inercial

Periodo anual:

$$E_{proy} = E_{base} \times \left(1 + \frac{\%_{anl}}{100}\right)$$

Períodos multianuales:

$$E_{proy} = E_{base} \times \left(1 + \frac{\%_{per}}{100}\right)^{y}$$

Proyecciones de un inventario de emisiones

Donde:

E_{proy} = Emisiones proyectadas para un periodo de uno año o varios años (Mg/año)

E_{base} = Emisiones del año base (Mg/año)

$\%_{anl}$ = Crecimiento anual (%)

y = Número de años entre el año base y el año proyectado

$\%_{per}$ = Crecimiento anual promedio en el periodo

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico, 2005

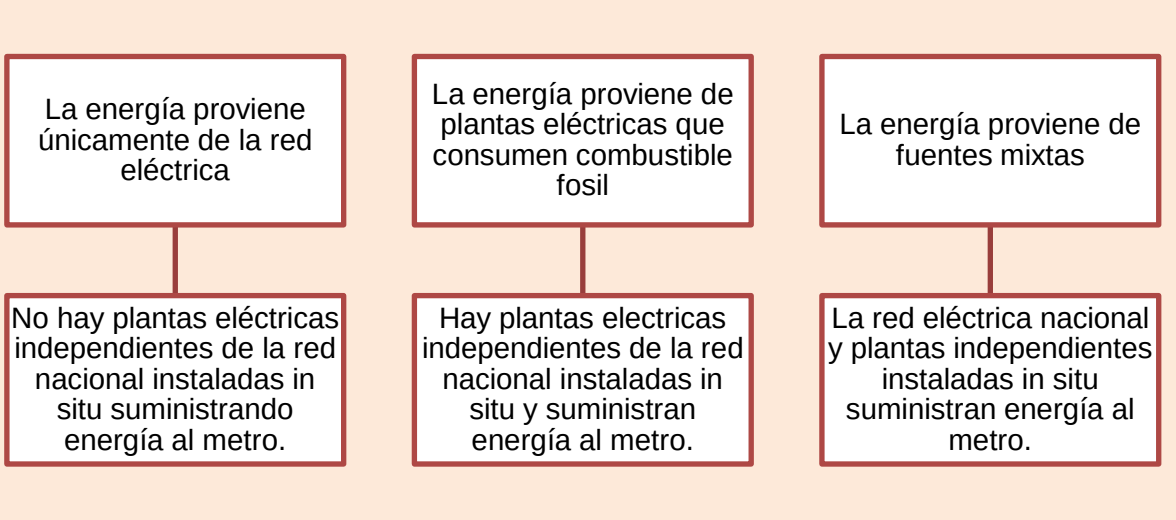
4.1.3 EMISIONES CON PROYECTO- Proyección del año 2021 al 2050

Las siguientes proyecciones a saber son los escenarios con proyecto, que se dividen en 2 rutas; la primera consiste en determinar los niveles de emisiones de GEI del Distrito Capital causados por el sector transporte incluyendo el metro a los modos de transporte que operarán en la ciudad al año 2050. Este escenario se fundamenta en la premisa de que con la implementación del proyecto Metro, las emisiones de GEI disminuirán y no se tendrán en cuenta, otras acciones de mitigación para el sector, lo que sería algo negativo dada la urgente necesidad de minimizar los impactos generados por las emisiones de GEI en un contexto local, nacional y global.

El segundo escenario presentará un enfoque optimista y se refiere a que la PLMB será efectiva en la reducción de emisiones de GEI, considerando que los viajes que en la actualidad se realizan usando los medios de transporte convencionales, se trasladarán al metro y dado que este utiliza energía eléctrica, será una opción potencialmente libre de emisiones, además de incluir la implementación de otras acciones de mitigación como buses híbridos y vehículos eléctricos por lo que se identificará una reducción significativa de GEI en la ciudad de Bogotá.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 4-6. Posibles fuentes de energía eléctrica para el metro



Fuente: Equipo Metro, 2015 con información de (CDM, 2015)

4.1.4 INSUMOS GENERALES

Para el desarrollo de las metodologías se contará con los siguientes insumos:

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 4-7. Fuentes de los insumos generales

Información de encuestas:

- La información referente a los modos de viaje y distancias recorridas por los pasajeros y para la linea base y las proyecciones con el metro serán tomadas de la Evaluación Socio-Económica Ex-Ante del proyecto Primera linea del metro de Bogotá IDU, 2015.

Información de población:

- El número total de habitantes y pasajeros por modo vehicular para el calculo de la linea base y para los escenarios al 2025 serán tomados del Boletín Técnico de Transporte Urbano de Pasajeros, DANE, 2015 y el último censo del DANE, 2005, utilizando las proyecciones de los años 2015 al 2021.

Información de la flota vehicular:

- La cantidad de vehículos, su distribución por modos, distancia recorrida y número de pasajeros transportados al año, serán tomados de los informes de Movilidad en Cifras de la Secretaría Distrital de Movilidad, 2012 y 2014, los indicadores de movilidad sostenible de la página web del Observatorio Ambiental de Bogotá, 2014 y la Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles de la ciudad de fuentes móviles de la ciudad de Bogotá, UANDES, 2009 y la encuesta Bogotá cómo vámos, 2015.

Información de Ocupación de los vehículos

- Parte de esta información será tomada de la Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia, UPME, 2014

Información referente a combustibles

- Los factores de emisión y valores caloríficos correspondientes a los combustibles utilizados en el transporte de Bogotá serán tomados de la Calculadora de Carbono de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2015. El consumo por combustible sera tomada del anexo del documento PRODUCTOS ANALÍTICOS PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES SOBRE ACCIONES DE MITIGACIÓN A NIVEL SECTORIAL de UANDES, 2014

Datos estándar para los cálculos:

- Aquellas constantes que dependen de las fuentes de energía se tomarán de los lineamientos de la metodología y herramientas correspondientes para el cálculo de emisiones en proyectos masivos de transporte definidos para MDL, 2015 y se tomará como referente el cálculo realizado para Metro Delhi y Transmilenio.

Fuente: Equipo Metro, 2015

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

5. CÁLCULO PRELIMINAR DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

5.1. LÍNEA BASE

De acuerdo a los parámetros metodológicos expuestos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático en la herramienta No. 18 para Línea Base de emisiones por medidas de cambio de modalidad de transporte urbano, se realizó el siguiente procedimiento para el cálculo de la línea base de emisiones del sector transporte por pasajero al año 2014 para la ciudad de Bogotá:

1. Categorías vehiculares relevantes:

   - Buses: incluye buses, busetas, colectivos, buses del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)
   - BTR: Transmilenio, buses articulados y biarticulados
   - Taxis
   - Vehículos de pasajeros: Incluye automóviles, camionetas y camperos.
   - Motocicletas

2. Factor de emisión por km para cada categoría vehicular

Para realizar este cálculo se utilizó información del La Secretaría Distrital de Movilidad en el año 2014, junto con otras fuentes oficiales como el IPCC y la UPME, entre otras. Se definieron las siguientes variables:

- $SFC_{i,x}$

Tabla 5-1. Descripción de variable SFC

Variable	Descripción	Fuente	Ajuste para el cálculo
$SFC_{i,x}$	Consumo de combustible x por categoría vehicular i (g/km)	Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial. Uandes, 2014	Se realizó ajuste de unidades utilizando el rendimiento de combustibles por categoría vehicular y las densidades correspondientes a dichos combustibles

Fuente: Equipo Metro, 2016

Los combustibles relevantes y sus respectivas densidades son:

Tabla 5-2. Combustibles relevantes y sus densidades

COMBUSTIBLE	DENSIDAD g/L
ACPM	840
GAS	0,72
GAS-GASOLINA*	370,36

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

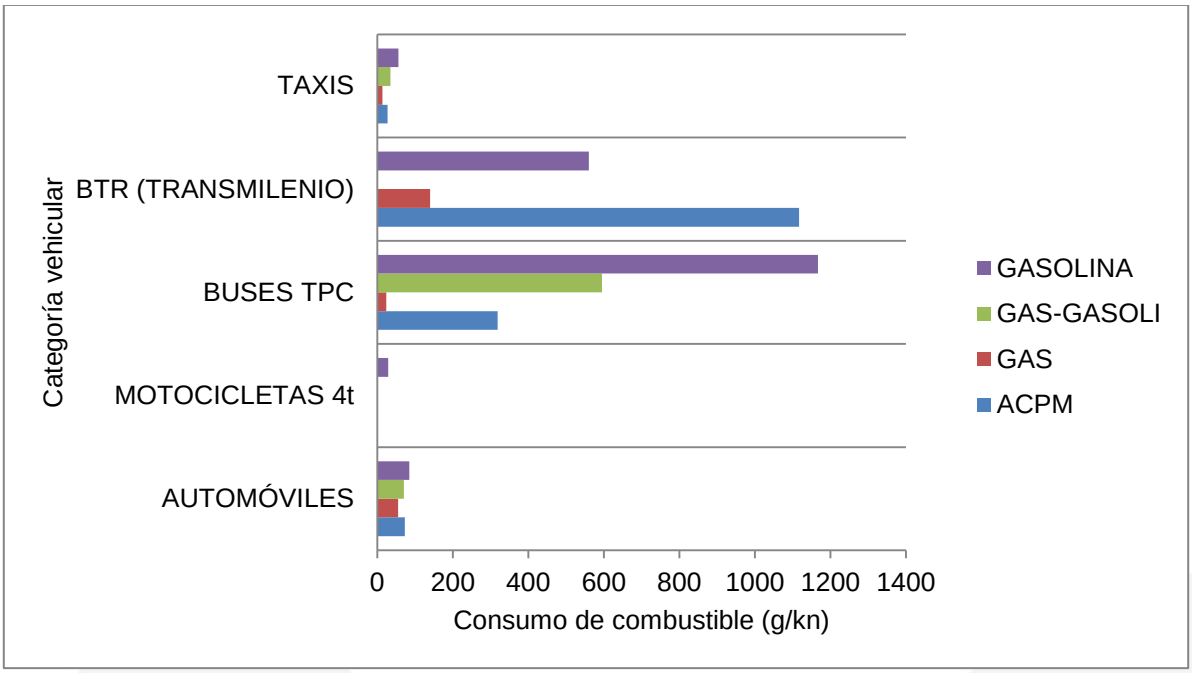
GASOLINA	740

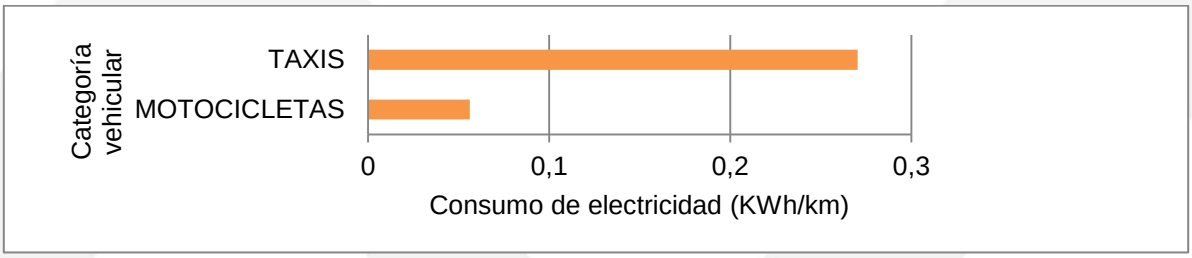
Fuente: Equipo Metro, 2016 con información de (Grütter Consulting AG , 2015)

**Para el caso de combustible dual (Gas-gasolina) se tomó una proporción del 50% para cada combustible y los datos usados para todos los cálculos de esta Línea base se fundamentan en un promedio de la información disponible para gas y gasolina respectivamente.*

Para el caso de Bogotá, se evidencia que el combustible que más se consume por km es la gasolina y que la categoría vehicular que hace mayor uso de este combustible son los buses de transporte público colectivo. En cuanto al consumo eléctrico se contemplaron para el estudio motocicletas y taxis, estos últimos presentan un mayor consumo. Gráfica 5-1.

Gráfica 5-1. Consumo de combustibles por categoría vehicular





Fuente: Equipo Metro, 2016

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

- NCV_x y $EF_{CO2,n}$

Tabla 5-3. Descripción de variables NCV y EF

Variable	Descripción	Fuente	Ajuste para el cálculo
NCV_x	Valor calorífico del combustible x usado por categoría vehicular i (MJ/Unidad de masa o volumen de combustible)	Calculadora de Carbono, (UPME)	Conversión de unidades
$EF_{CO2,n}$	Factor de emisión por combustible (g CO2/MJ)		

Fuente: Equipo Metro, 2016

Para la variable del valor calorífico por combustible se utilizó el promedio entre su valor más bajo y más alto; se utilizaron los siguientes datos:

Tabla 5-4. Factores de emisión y poder calorífico por combustible

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN	PODER CALORÍFICO		
	CO2	BAJO	ALTO	PROMEDIO
	g CO2/MJ (KWh)	MJ/g	MJ/g	MJ/g
ACPM	74,8931	0,0424	0,0453	0,0438
GAS	55,1031	0,0338	0,0375	0,0356
GAS-GASOLINA	64,8488	0,0381	0,0415	0,0398
GASOLINA	74,5945	0,0424	0,0454	0,0439
ELECTRICIDAD	166	-	-	-

Fuente: Equipo Metro, 2016

- N_i y $N_{i,x}$

Tabla 5-5. Descripción de variables Ni y Ni,x

Variable	Descripción	Fuente	Ajuste para el cálculo
N_i	Número de vehículos de categoría i antes del proyecto (Unidades)	Movilidad en cifras, (SDM, 2014)	No se requirió ajuste
$N_{i,x}$	Número de vehículos en categoría i usando combustible x antes del proyecto(Unidades)	Movilidad en cifras 2012, (SDM, 2012), Movilidad en cifras, (SDM, 2014) **Evaluación socioeconómica Ex-ante de la PLMB, IDU 2014**	Se utilizó la distribución (%) de combustibles por categoría de vehículo de SDM, 2012 y se ajustó a las cifras actualizadas del número de vehículos proporcionado por SDM, 2014

Fuente: Equipo Metro, 2016

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

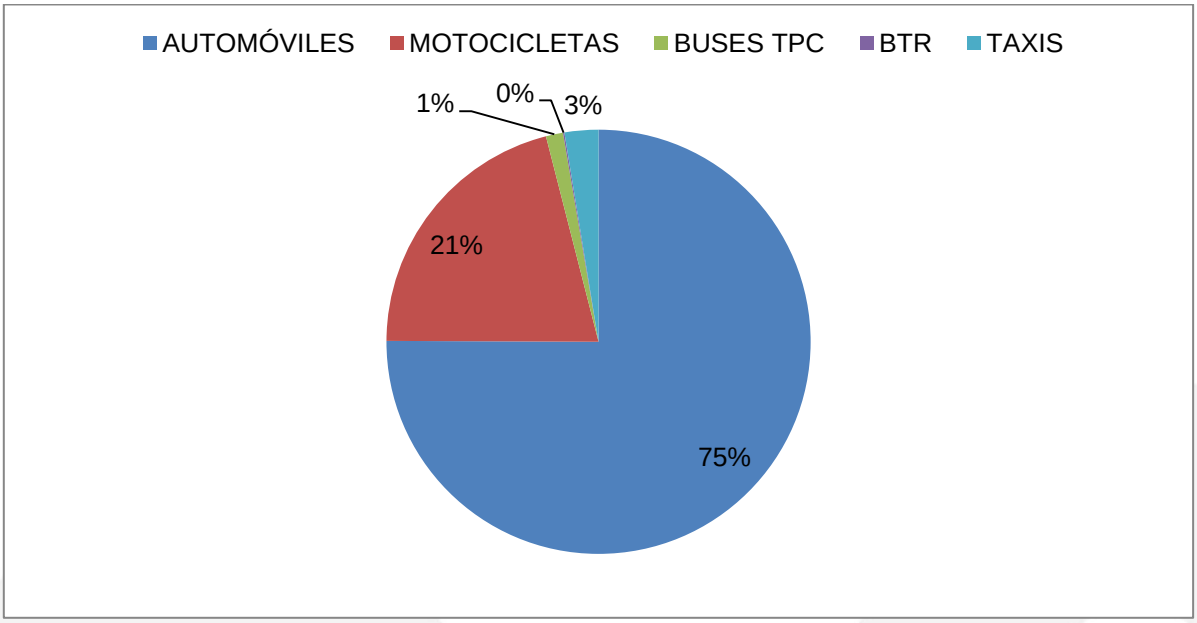
En el año 2014, Bogotá contó con una flota vehicular de cerca de 1’999.755 de vehículos que se componen en su mayoría de carros de pasajeros y motocicletas; se evidencia que la mayoría de vehículos en la ciudad utilizan como combustible la gasolina, seguida por el ACPM y el gas natural respectivamente. Tabla 5-6 y Gráfica 5-2 y 5-3.

Tabla 5-6. Cantidad de vehículos por combustible y categoría

Año 2014	CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR COMBUSTIBLE				
CATEGORÍA i	**ACPM**	**GAS**	**GAS-GASOLI**	**GASOLINA**	**ELECTRICIDAD**
AUTOMÓVILES	51010	306	8742	1441066	
MOTOCICLETA	4			418722	118
BUSES TPC	17785	17	108	8183	
BTR (TRANSMILENIO	2178	1		5	
TAXIS	69	6	6934	44459	42

Fuente: Equipo Metro, 2016

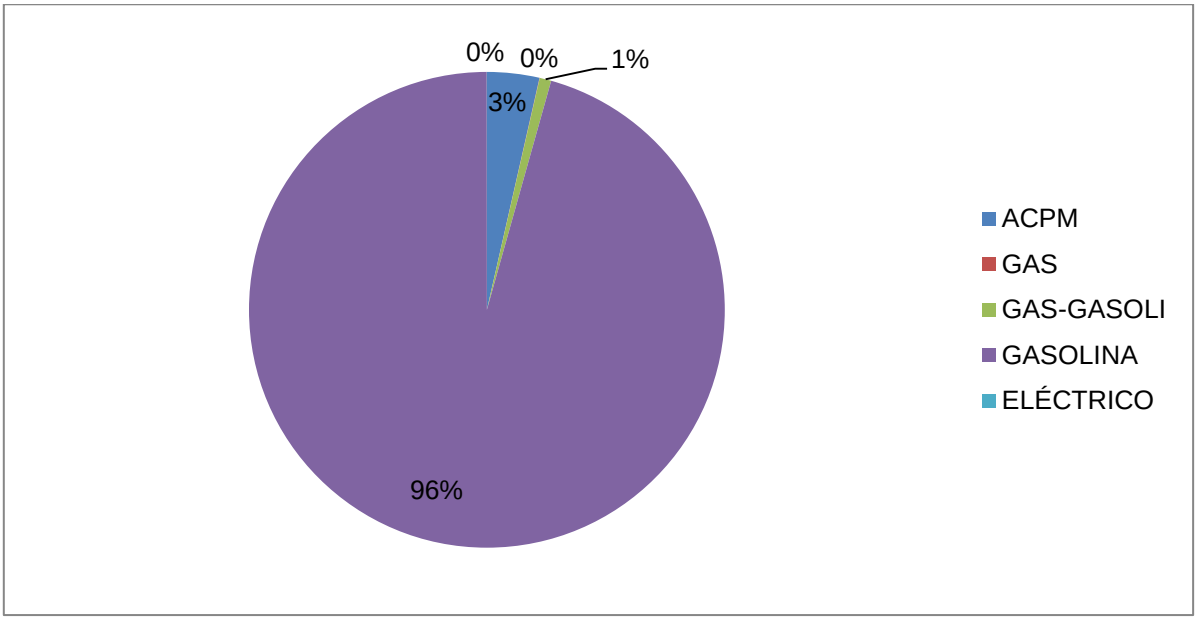
Gráfica 5-2. % de vehículos por categoría



Fuente: Equipo Metro, 2016

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Gráfica 5-3. % de vehículos por tipo de combustible



Fuente: Equipo Metro, 2016

- IR_i^{t+y}

Tabla 5-7. Descripción de variable IR

Variable	Descripción	Fuente	Ajuste para el cálculo
IR_i^{t+y}	Factor de mejora tecnológica para el vehículo i por año "t+y (años de mejora)"	Baseline emissions for modal shift measures in urban passenger transport, CDM, 2015	No se requirió ajuste

Fuente: Equipo Metro, 2016

El factor de mejora (IR) utilizado fue la constante definida en la herramienta metodológica para el cálculo de la línea base y la cantidad de años de mejora fue tomada de los cálculos para Transmilenio.

IR=0,99

y=2

Al emplear la fórmula descrita en la metodología se obtuvieron los siguientes resultados de los factores de emisión por km de categoría vehicular en el año 2014 en g CO2/km.

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tabla 5-8. Factores de emisión por km de categoría vehicular en el año 2014

AUTOMÓVILES	MOTOCICLETAS	BUSES TPC	BTR (TRANSMILENIO)	TAXIS
272	90,84	1880,9	3589,1	167,22

Fuente: Equipo Metro, 2016

3. Factor de emisión por pasajero km

Para este cálculo se utilizó el factor de emisión por categoría definido anteriormente y el Promedio de ocupación de los buses antes del proyecto, información tomada de la Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia de la UPME, 2014 y la Evaluación socioeconómica Ex –ante de la PLMB realizada por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en el año 2014, junto con información del DANE, 2015 y la Universidad de los Andes, 2009. Se definieron las siguientes variables:

- PBL_B $TDBL_{P,B}$ y DD_B

Tabla 5-9. Descripción de variables PBL, TDBL, DD

Variable	Descripción	Fuente
PBL_B	Pasajeros transportados por buses antes del proyecto (# de pasajeros)	Boletín Técnico de Transporte Urbano de Pasajeros, (DANE, 2015)
$TDBL_{P,B}$	Distancia promedio de viaje por pasajero categoría antes del proyecto (km)	**Evaluación socioeconómica Ex-ante de la PLMB, (IDU, 2014)**
DD_B	Distancia total recorrida por todos los buses antes del proyecto (km)	Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles de la ciudad de fuentes móviles de la ciudad de Bogotá, (UANDES, 2009)

Fuente: Equipo Metro, 2016

El promedio de ocupación para cada categoría vehicular fue:

Tabla 5-10. Promedio de ocupación por categoría vehicular

AUTOMÓVILES	MOTOCICLETAS	BUSES TPC	BTR (TRANSMILENIO)	TAXIS
1,58	1,17	20,86	52,86	1,16

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Al emplear la fórmula descrita en la metodología se obtuvieron los siguientes resultados de los factores de emisión por pasajero km de categoría vehicular en el año 2014 en g CO2/pasajero.km.

Tabla 5-11. Factores de emisión por pasajero km de cada categoría vehicular

AUTOMÓVILES	MOTOCICLETAS	BUSES TPC	BTR (TRANSMILENIO)	TAXIS
172,14	77,64	90,17	67,90	144,15

Fuente: Equipo Metro, 2015

4. Línea base de emisiones

Se seleccionó la opción 1 que se basa en la distribución de pasajeros por modo vehicular y distancia promedio por viaje dado que no requiere monitoreo anual. Adicionalmente, para esta opción se pueden tomar 2 rutas; se puede calcular la relación entre cantidad total de vehículos (Nxi/Ni) o el porcentaje de participación de la categoría por combustible. Para este cálculo se utilizaron los factores de emisión definidos anteriormente y la distancia de viaje por pasajero por categoría tomada de la Evaluación socioeconómica Ex –ante de la PLMB realizada por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en el año 2014. Al realizar ambos cálculos se puede identificar una diferencia mínima en los resultados, no obstante la primera opción presenta mayor precisión por lo que es la que se tomará para los siguientes cálculos. Los resultados se muestran a continuación en gramos de Dioxido de Carbono equivalente por pasajero (gCO_2 / pasajero):

Tabla 5-12. Resultados del cálculo de línea base para el año 2014 (gCO2 por pasajero)

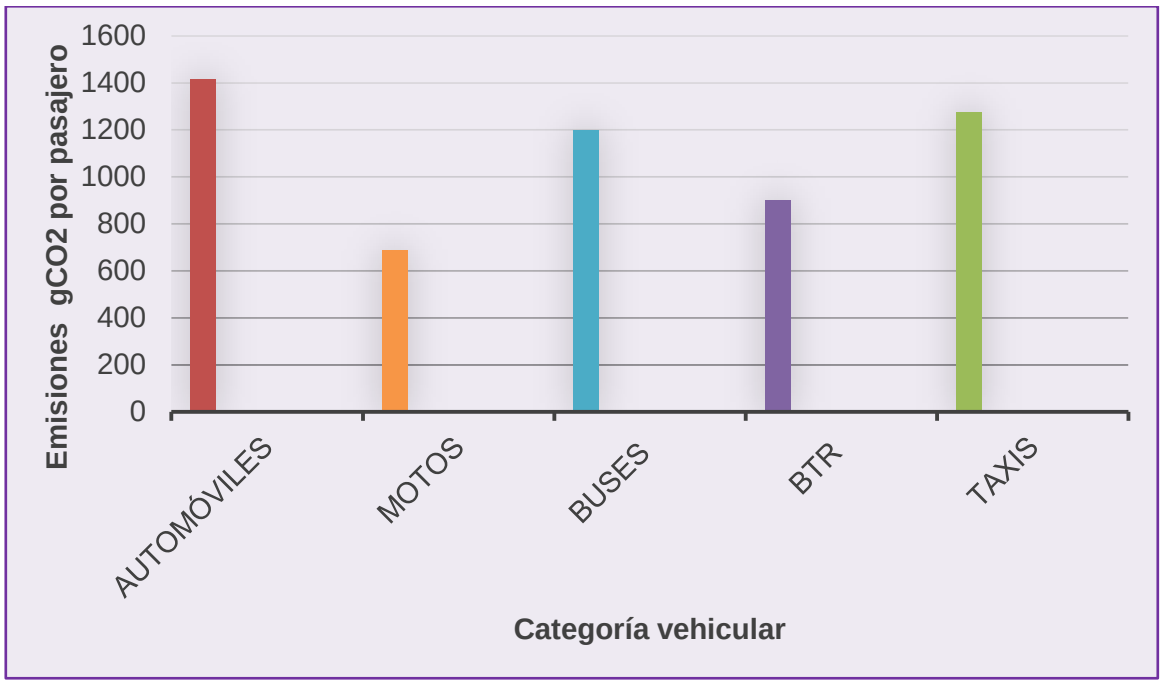
OPCIONES	AUTOMÓVILES	MOTOS	BUSES	BTR	TAXIS	TOTAL
Opción 1 (Usando Nix/Ni)	1415,00	687,90	1197,40	901,69	1277,21	5479,2

Fuente: Equipo Metro, 2015

De estos resultados se identifica que en el caso de que cada pasajero utilice los distintos modos de transporte en la misma proporción, éste genera en promedio cerca de **5479,2 gramos de CO_2** al año de línea base, sin embargo, es necesario aclarar que las emisiones generadas varían de acuerdo al modo preferido por el usuario. El uso de automóviles genera el porcentaje más alto de emisiones en el año 2014, seguidos del servicio de taxis, los buses de transporte público colectivo, Transmilenio y finalmente las motocicletas. Gráfica 5-4.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Gráfica 5-4. Emisiones por categoría en el año 2014



Fuente: Equipo Metro, 2015

Una vez calculado el promedio de emisiones por pasajero se procede a establecer, de acuerdo a la demanda de pasajeros, cuáles son las emisiones generadas por modo en el año de línea base. Tabla 5-13 y 5-14. Se evidencia que, en el año 2014 se emitieron cerca de 163.735 toneladas de CO_2 de acuerdo con la distribución de la demanda en los diferentes modos de transporte.

Tabla 5-13. Emisiones de Línea Base por cada 100 pasajeros

Año	2014				
CATEGORÍA	**AUTOS**	**MOTOS**	**TPC**	**BTR**	**TAXIS**
gCO2 por pasajero por modo	1415	688	1197,4	901,7	1277,21
%Distribución de pasajeros por modo	16	7	35	37	5
gCO2 por cada 100 pasajeros	22.640	4.815,33	41.909	33.362,4	6.386,1

Fuente: Equipo Metro, 2016

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tabla 5-14. Emisiones totales de Línea Base

AÑO	CATEGORÍA	gCO2 por pasajero por modo	Total demanda de pasajeros	Demanda de pasajeros por modo	ton CO2 al año por modo	TOTAL (ton CO2) año
2014	AUTOS	1415,00	150.060.848	24009735,77	33973,74	163,735
	MOTOS	687,90		10504259,40	7225,92	
	TPC	1197,40		52521296,99	62888,99	
	BTR	901,69		55522513,96	50063,84	
	TAXIS	1277,21		7503042,43	9582,98	

Fuente: Equipo Metro, 2016

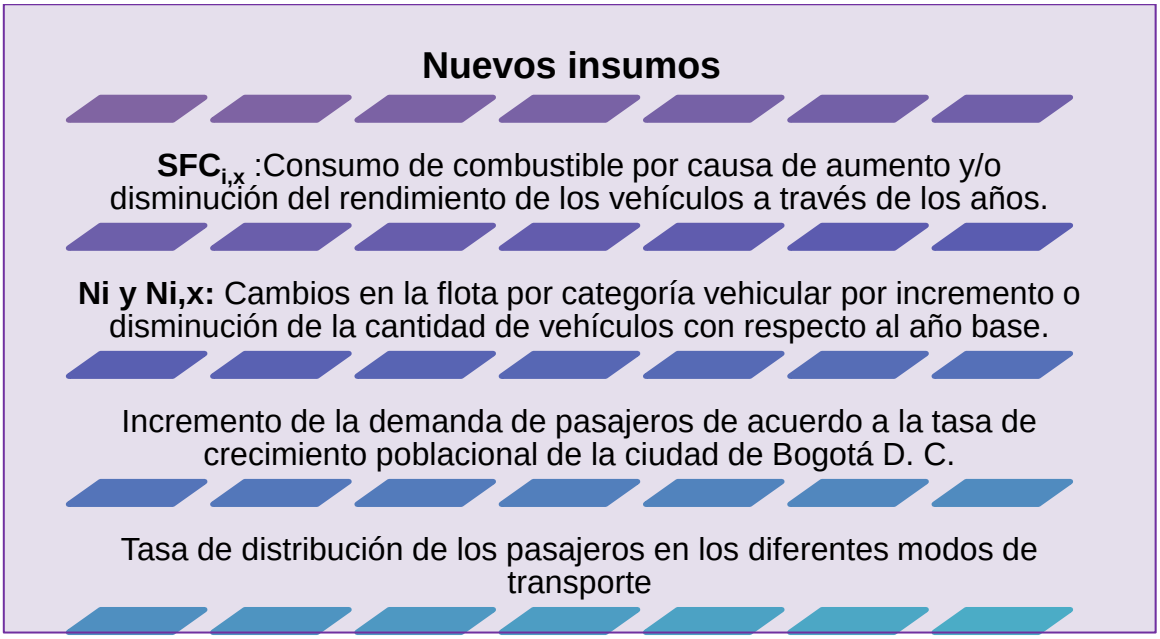
5.2. PROYECCIÓN DEL ESCENARIO INERCIAL

De acuerdo a la herramienta metodológica descrita en el Numeral 4.1.1, se realizó la primera proyección inercial preliminar (Sin metro) para cada año hasta el 2050 teniendo en cuenta las variables que alteran los resultados del cálculo a través de los años y representan un cambio en las emisiones totales generadas por el sector.

La primera variable a saber es el consumo de combustible, ya que este depende de la eficiencia del mismo y dado que la industria automotriz busca mejorar los modelos que sacan al mercado con un rendimiento de combustible más eficiente, que se traduce en una mayor distancia recorrida a menor volumen de combustible utilizado. La siguiente variable que se consideró fue el cambio en la demanda y número de vehículos por categoría ya que a mayor población, mayor es la demanda de los vehículos disponibles para transportar a los usuarios. Figura 5-1 y tabla 5-15.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Figura 5-1. Cambio en los insumos para las proyecciones



Fuente: Equipo Metro, 2016

Tabla 5-15. Descripción de variables para proyección

Variable	Descripción	Fuente	Ajuste para el cálculo
$SFC_{i,x}$	Consumo de combustible x por categoría vehicular i (g/km)	Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia (UPME, 2015)	Se usó la tasa anual de eficiencia del combustible y disminución del rendimiento vehicular del 0,1% aplicados a los valores del año base. Esto quiere decir que los vehículos nuevos consumen 0,1% menos combustible desde el año 2013, y a través de los años, los vehículos viejos comienzan a consumir 0,1% más combustible
N_i	Número de vehículos de categoría i (Unidades)	Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia, (UPME, 2015) y CDM Project Bus Rapid Transit (BRT) TransMilenio 2nd Crediting Period (Grutter, 2012)	Se usaron los factores de crecimiento anuales por categoría vehicular de Colombia, para determinar el cambio en la flota con respecto al año base. Tabla 5-16. Para el caso de Transmilenio se tuvo en cuenta el crecimiento anual presentado por la empresa en el año 2012.
$N_{i,x}$	Número de vehículos en categoría i usando combustible x (Unidades)		
Py	Demanda anual de pasajeros	Estudios de factibilidad de la PLMB, (IDU, 2015) con tasa de crecimiento del (DANE, 2015)	Se aplicó la tasa de crecimiento poblacional anual del 0,9%

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Variable	Descripción	Fuente	Ajuste para el cálculo
Dy	Distribución general de pasajeros	Encuesta de Percepción Ciudadana (Bogotá Cómo Vamos, 2015)	Los porcentajes fueron ajustados únicamente para medios de transporte motorizado y para este documento, las proporciones permanecieron constantes para el cálculo. Tabla 5-17.

Fuente: Equipo Metro, 2016

Tabla 5-16. Proyección de crecimiento de la flota vehicular

	Histórica		Proyección
	1980-2012	2007-2012	2013-2030
Automóviles	6%	7%	4%
Taxis	9%	7%	3%
Camperos	6%	7%	4%
Camionetas	4%	5%	3%
Motocicletas	12%	14%	7%
Buses	3%	3%	2%
Busetas	5%	2%	3%
Microbuses	9%	5%	1%
Camiones	3%	5%	2%
Tractocamiones	5%	8%	3%
Total flota	**7%**	**10%**	**5%**

Fuente: (UPME, 2015)

Tabla 5-17. Distribución modal de pasajeros en Bogotá

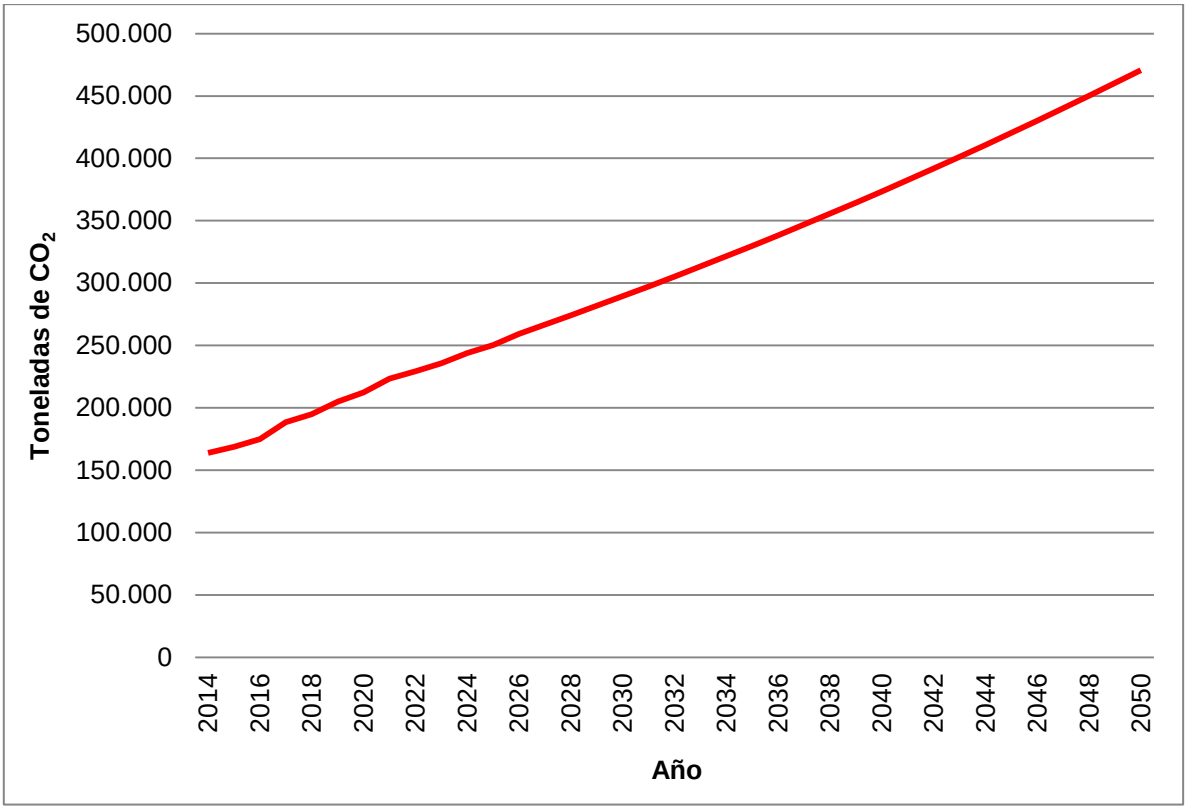
CATEGORÍA	AUTOS	MOTOS	TPC	BTR	TAXIS
%Distribución de pasajeros por modo	16	7	35	37	5

Fuente: Equipo Metro, 2016 con datos de (Bogotá Cómo Vamos, 2015)

Una vez se ajustaron los insumos para el cálculo de la proyección del escenario inercial, se procedió a realizar los cálculos anuales de emisiones por pasajero, lo que arrojó como resultado 470.683 Toneladas de CO_2 al año 2050 lo que equivale a un incremento de 306.947,82 Toneladas de CO_2 , cifra que está cerca de triplicar las emisiones totales de línea base año 2014 (163,735 ton /año) sólo en el sector transporte. (Anexo 1 y Gráfica 5-5).

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Gráfica 5-5. Tendencia de emisiones escenario inercial



Fuente: Equipo Metro, 2016

De esta misma forma se puede deducir que entre los años 2014 a 2050 sin la implementación de un sistema de transporte masivo tipo Metro se generara en el sector de transporte en Bogotá 10.157.532 de toneladas de CO2 equivalentes.

Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

5.3. PROYECCIONES CON LA PLMB

Para realizar las proyecciones con la puesta en marcha de la PLMB se tomó como base el año 2021, fecha en la cual se estima que este sistema de trasporte masivo entre en funcionamiento.

Adicionalmente se tomó en cuenta la modelación del estudio de Evaluación socioeconómica Ex-ante de la PLMB, (IDU, 2014) sobre la trasferencia de los diferentes modos de viaje. Ya que al entrar en funcionamiento la PLMB se espera que exista una redistribución potencial en la forma en que la población utilizara los diferentes modos de transporte. Con lo anterior se asignó un traslado de viajes a la PLMB del 3,58 Tabla 5-18.

Tabla 5-18. Viajes trasladados al metro

Modo de transporte	Escenario sin proyecto	Escenario con proyecto	
	Número de viajes 2050	Traslado de viajes a PLMB	Nuevo número de viajes 2050
Autos, camionetas, camperos	6.573.176	235.836	6.337.340
Taxi	2.234.307	80.164	2.154.144
Bus, busetas y microbuses	12.996.424	466.293	12.530.131
Transmilenio	5.761.258	206.706	5.554.552
Transporte escolar	1.689.823	60.628	1.629.195
Transporte informal	552.981	19.840	533.140
Motocicletas, motocarros, motociclos	1.485.704	53.305	1.432.399
Transporte a pie	12.192.472	437.448	11.755.023
Nuevos viajes en Metro			1.560.220
Totales	**43.486.144**	**1.560.220**	**43.486.144**

Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría distrital de Movilidad y proyecto Metro.

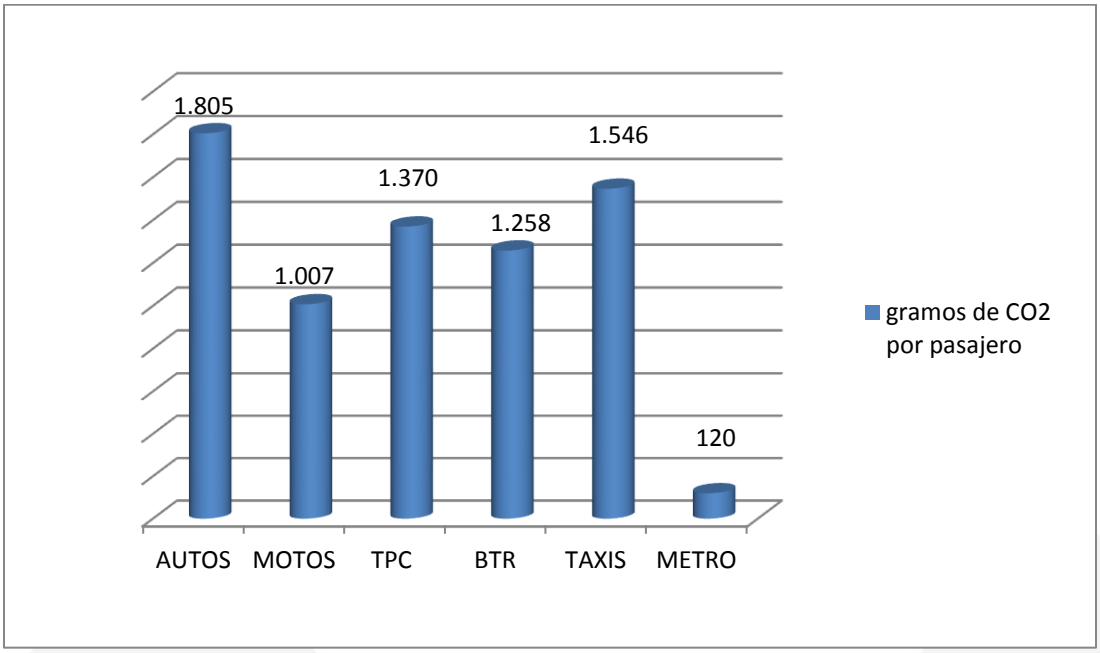
Es importante tener en cuenta que para el cálculo de referencia de los gramos de CO2 por pasajero que se transporta en el metro se tomó el valor de 0.60 KWh/ pajarero información tomada del Metro de Santiago de Chile. Posteriormente utilizando la calculadora de la UPME se realizó la conversión correspondiente del número de

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

KWh/pasajero a gramos de CO2 equivalente lo cual arrojo como resultado 120 gramos de CO2 equivalente por pasajero.

Con lo anterior y como se muestra en la Grafica 5-6, desde este punto, se puede observar como la influencia de un sistema de tracción eléctrica como el Metro genera por pasajero 120 gramos de CO2 por pasajero contrarrestando con los demás modos de trasporte como los automóviles (1.805 gCo2/pasajero). De esta forma es posible predecir la importancia de un sistema de tracción eléctrica en la generación de gases de efecto invernadero.

Gráfica 5-6. Gramos de CO2 por pasajero por modo de transporte para el año 2021.



Fuente: Equipo Metro, 2016

Posteriormente se realizó la proyección referente a los años 2021 hasta el 2050, teniendo en cuenta los parámetros de crecimiento y diferentes tasas de mejoras expuestas para la proyección inercial, incluyendo la información anterior referente al Metro.

De esta forma y como se evidencia en la gráfica 5-7 cuando se realiza la proyección del año base 2021 hasta el año 2050 con la inclusión de la Primera Línea del Metro de

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Bogotá se observa que se generan 8.331.025 Toneladas de CO2 equivalente acumulados en esos 30 años de funcionamiento.

Así mismo, al realizar la comparación del escenario inercial y el escenario con la puesta en marcha de la PLMB se evidencia una reducción acumulada en el tiempo de 1.826.507 toneladas de CO2 equivalente que representan el 18% en reducción de CO2. Grafica 5-7.

Si bien este valor se le atribuye a todo el sistema de trasporte de la ciudad de Bogotá la reducción se le asume a la PLMB ya que esta tendrá un mayor número de pasajeros por recorrido y cada pasajero que se movilice en este sistema tendrá un aporte mínimo de CO2 al ambiente.

Gráfica 5-6 . Escenario PLMB y escenario inercial

Fuente: Equipo Metro, 2016

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

6. APLICABILIDAD DE LA INICIATIVA RELACIONADA AL PROTOCOLO DE KIOTO POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ.

Como se mencionó anteriormente, el protocolo de Kioto estableció unas metas en cuanto a la reducción de gases de efecto invernadero (5 y 10%) entre los años 2008 a 2012. Para cumplir con estas metas de reducción se generaron diferentes mecanismos que permiten que los países que adoptaron el protocolo puedan hacer esta reducción y un control de sus emisiones

Una de los mecanismos señalados en el protocolo de Kioto son los denominados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) el cual tienen como fundamento generar que los países en vías en desarrollo formulen y ejecuten proyecto sostenibles, los cuales permitan certificar la reducción de emisiones de CO2. Estas certificación de reducción de carbono (CER siglas en inglés) podrán ser comercializadas a países desarrollados para contribuir al cumplimiento de las metas de reducción.

Este mercado de certificaciones de reducciones de carbono ha sido un mercado variable a través del tiempo en el año 2008 alcanzo un precio 30 dólares por tonelada de CO2 reducida (o un CER) y ha descendido hasta 0.53 dólares a Mayo del 2016. Lo anterior ha generado que los proyectos no estén buscando la financiación por medio de los Mecanismos de Desarrollo limpio ya que no rentabiliza la inversión. Estos bajos precios de los CER puede sustentarse en alguna medida en la crisis económica Europea, así como la sobre oferta de estas certificaciones de reducción. Sin embargo con el acuerdo de Paris COP21 de 2015 que fue ratificado por 185 países y con la obligación de los países participantes a informar sobre sus emisiones de gases de efecto invernadero sumado a los compromisos vigentes del apoyo financiero de los países desarrollados a los no desarrollados se espera que el precio delo CER pueda tener un incremento.

Para el caso da PLMB, este proyecto no pretende financiar su construcción por medio de los mecanismos de desarrollo limpio. Sin embargo si es importante que este proyecto en su fase de operación pueda participar en este mercado, ya que como se evidencio en los cálculos existe la posibilidad de hacer una reducción anual de 60.884 toneladas CO2, de 1.826.507 toneladas de CO2 en sus primeros 30 años.

Para tener un referente económico y conociendo la tasa actual (0.53 dólares) en que se comercializan los Certificados de Reducción de Carbono (CER por sus siglas en inglés) se realiza el cálculo a costo de 2016 como se evidencia en la tabla 6.1.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Tabla 6.1 **Valor en el mercado de la reducción de toneladas de CO2**

		Valor en dólares en el mercado de la reducción de toneladas de CO2
Total de Toneladas Reducidas de CO2 con el Metro en la proyección a 2050.	1.826.507	$ 968.048,67
Promedio Toneladas Reducidas de CO2 Anuales proyección 2021-2050.	60.884	$ 32.268,29

Si bien como se evidencia en la Tabla 6.1 el valor en el mercado de comercializar las certificaciones de reducción no es representativo. Sin embargo este ingreso puede ser incluido para programas de conservación y mantenimiento de áreas verdes propias de la PLMB, así como la implementación de campañas de cultura ambiental que no solo beneficiaran al PLMB sino a la ciudad en general.

Adicionalmente el hecho que el proyecto esté incluido como proyecto de Mecanismos de Desarrollo Limpio genera un estatus ambiental y una visibilidad del compromiso del proyecto ante el desarrollo sostenible de la ciudad ante la comunidad en generar.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

7. CONCLUCIONES

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

8. BIBLIOGRAFÍA

APTA. (2008). Using Public Transportation Reduces Greenhouse Gases and Conserves Energy.

ASOCIACIÓN GESAMBCONSULT – EVREN. (2014). *ESTUDIO DE IMPACTO Y PLAN DE MANEJO DE LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE QUITO.* Quito: Metro de Quito, Empresa Pública Metropolitana.

Ballesteros, H. O., & Aristizabal, G. E. (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto invernadero y Cambio Climático.* Bogotá: IDEAM.

Bogotá Cómo Vamos. (2015). *Encuesta de Percepción Ciudadana .* Bogotá.

CDM. (2015). *ACM0016: Mass Rapid Transit Projects - Version 4.0*. Obtenido de https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/FXQBDV16UML49NJN03U1QQTEY9J90E

CDM WATCH. (2010). MDL – el mercado del billón de dólares. En *Manual de los Mecanismos de Desarrollo Limpio* (pág. 6).

CMNUCC. (2014 B). *La Convención del Cambio Climático.* Obtenido de http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/items/6196.php

CMNUCC. (2014). *Un poco de historia - De la ratificación al cumplimiento.* Obtenido de http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/historia/items/6216.php

CMNUCC. (2015). *21° conferencia de las partes.* París.

Coghlan, J. C. (2012). El Cambio Climático en las noticias de la televisión española y sus implicaciones desde los puntos de vista económico, ambiental y comunicativo. *Departamento de Sociología IV, Grupo de investigación MDCS*.

DANE. (2015). *ESTIMACIONES DE POBLACIÓN 1985 - 2005 Y PROYECCIONES DE POBLACIÓN 2005 - 2020 TOTAL DEPARTAMENTAL POR ÁREA.* Bogotá.

DANE. (2015). Proyección de Crecimiento Poblacional. Bogotá.

D'Elia, D. (2014). *Emisiones de GEI 2011*. Obtenido de http://www.ictsd.org/bridges-news/puentes/news/cu%C3%A1nto-qui%C3%A9nes-y-c%C3%B3mo-preguntas-claves-del-nuevo-acuerdo-clim%C3%A1tico

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Limitada. (2014). *Informe Corporativo de Gestión .* Obtenido de https://www.metrodemedellin.gov.co/Portals/4/archivos_metro/quienes-somos/INFORMES-CORP/Memoria%20de%20Sostenibilidad%202014.pdf

EPA. (2015). *MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator)*. Obtenido de http://www3.epa.gov/otaq/models/moves/

FEDESARROLLO. (2014). *Prospectiva Económica.* Bogotá.

FLORES-VELAZQUEZ, R., & MUNOZ LEDO-CARRANZA, R. y.-V. (2010). Inventario de emisiones en 2005 de gases de efecto invernadero por el sector energético mexicano. Ingeniería, investigación y tecnología. *Scielo.org, XI*, 37.

Gonzales, C. (2010). *Movilidad Urbana Sostenible, Un reto energético y ambiental.* Madrid.

Grütter Consulting AG . (2015). *CDM Project Monitoring Spreadsheet. Metro Delhi, India, CDM project number 4463.* New Delhi.

Grutter, J. (2012). *CDM Project Bus Rapid Transit (BRT) TransMilenio 2nd Crediting Period.*

IDEAM. (2009). *NVENTARIO NACIONAL DE FUENTES Y SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 2000-2004.* Bogotá: Segunda Comunicacion Nacional de Colombia.

IDEAM. (2009). *Tabla de Módulos y actividades 2004.* Obtenido de SEGUNDA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO: https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Segunda_comunicacion/2._2ª_Comunicación_Resumen_Ejecutivo.pdf

IDEAM. (2012). *INVENTARIO DE EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO PARA LA REGIÓN BOGOTÁ – CUNDINAMARCA.* Bogotá: Plan Regional Integral de Cambio Climático.

IDEAM. (2012). *INVENTARIO DE EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO PARA LA REGIÓN BOGOTÁ – CUNDINAMARCA.* Bogotá.

IDU. (2015). *Estudios de factibilidad de la PLMB.* Bogotá.

International Association of Public Transport. (2014). *Climate Action an Public Transport.* Obtenido de

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

https://www.stm.info/sites/default/files/affairespubliques/Nouvelles/ap_uitp_climat_transport.pdf

International Sustainable Systems Research Center. (2008). *Manual del Usuario del Modelo IVE.*

IPCC. (2001). *Informe de sintesis - Cambio Climático. Anexo B - Glosario de términos.* Recuperado el 14 de octubre de 2015, de https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf

IPCC. (2006). *Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.* Internacional : Volumen 2: Energía. Capítulo 3: Combustión móvil .

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis.* Recuperado el 22 de octubre de 2015, de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html

IPCC. (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change*. Recuperado el 14 de octubre de 2015, de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/annexessglossary-e-i.html

Jaramillo, R. A., & Giret, M. (Diciembre de 2013). Movilidad sostenible en Bogotá D.C. – caso metro Bogotá. Bogotá: Revista de Tecnología ¦ Journal Technology ¦ Volumen 12.

Lacis, A. A., Schmidt, G. A., Rind, D., & Ruedy, a. R. (2010). Atmospheric co2: principal control knob governing earth's temperature. *Science, 330*(6002), 356-359.

MADS. (2015). *Historia de Colombia Frente al Cambio Climático*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/460-plantilla-cambio-climatico-16

Metro de Madrid. (2014). *Metro*. Obtenido de Los viajeros de Metro generan tres veces menos CO2 que los que usan su coche: https://www.metromadrid.es/es/conocenos/responsabilidad_corporativa/Huella_carbono/

METROPOLITAN TRANSPORT AUTHORITY. (2012). *An average MTA trip saves over 10 pounds of greenhouse gas emissions.* Obtenido de http://web.mta.info/sustainability/pdf/2012Report.pdf

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2005). *Combustibles y vehículos alternativos.* Madrid: IDAE.

MINTRANSPORTE. (2014). Plan de Acción Sectorial de Mitigación. Bogotá.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

NASA . (2015). *Global Climate Change. Vital Signs of the Planet.* Recuperado el 14 de octubre de 2015, de http://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/

Ochoa, F. (2012). Análisis Costo Beneficio de la Línea 3 del Sistema de Transporte Colectivo Metrorey. Monterrey.

OMM. (2013). BOLETÍN SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO. *Global Atmosphere Watch, IX*, 2-3.

Ríos, R. A., Arango, F., Vicentini, V. L., & Daunas, R. A. (2013). Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases efecto invernadero. En T. r. Banco Interamericano de Desarrollo. Nueva York.

SDA. (2015). *Bogotá Humana presentó el Plan de Mitigación y Adaptación al cambio climático.* Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/archivo-de-noticias/-/asset_publisher/5PPa/content/bogota-humana-presento-el-plan-de-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico?redi

The Pechan-Avanti Group a unit of E.H. Pechan & Associates, Inc. for EPA. (1999). *Emission projections.* Springfield, Virginia.

The World Bank Group. (2014). *World Development Indicators: Carbon dioxide emissions by sector*. Obtenido de http://wdi.worldbank.org/table/3.10

U.S. Department of Transportation. (2010). *Public Transportation's Role in responding to Climate Change.* Obtenido de http://www.fta.dot.gov/documents/PublicTransportationsRoleInRespondingToClimateChange2010.pdf

UNFCCC. (2014). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Obtenido de Clean Development Mechanism: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php

UPME. (2015). *Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia.* Bogotá.

idu Instituto de DESARROLLO URBANO
Calle 22 No. 6 - 27 o Calle 20 No. 9 - 20
Bogotá D.C., Colombia
Código Postal: 110311 • PBX: 3386660 - 3445000
Línea: 195 • www.idu.gov.co

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS