



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE MOVILIDAD

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED DE TRANSPORTE MASIVO  
METRO Y DISEÑO OPERACIONAL, DIMENSIONAMIENTO LEGAL Y  
FINANCIERO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN EL MARCO DEL  
SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PUBLICO-SITP- PARA LA  
CIUDAD DE BOGOTÁ**

**NOTA TÉCNICA**

**Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP**

**Nota 1 de 5**

MB-GC-NT-0032

Rev.0. Abril de 2010





TITULO DEL DOCUMENTO: NOTA TÉCNICA:

Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP - Nota 1 de 5

DOCUMENTO N°: MB-GC-NT-0032

Referencia: P210C25

Fichero: MB-GC-NT032 - DOC COMPLEMENTARIO ASPECTOS TÉCNICOS\_VR5\_ENTREGA1

Revisión: Rev.0.

Fecha revisión : Abril de 2010

	Nombre	Firma	Fecha
<b>Realizado por</b>	Fernando de Lucas		Abril de 2010
	Françoise Guillerault		
	Galo Santamaría		
	Johanna Mª. Lobo Gutiérrez		
	Juan Camilo Pantoja	 JUAN CAMILO PANTOJA	
	Juan David Gómez		
	Mario Noriega		
	Marta Navarro		
	Susana Domingo		
<b>Verificado por</b>	Isa Cano Tarruella Juli Barceló	 	Abril de 2010
	Luis M. San Martín Esteban Rodríguez	 	Abril de 2010



### REGISTRO DE CAMBIOS

<b>REV.</b>	<b>FECHA</b>	<b>SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO</b>	<b>INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO</b>
0	Abril de 2010	TODOS	DOCUMENTO INICIAL

## ÍNDICE

<b>0</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>SELECCIÓN DE RED, SELECCIÓN DE PLM Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
1.1	Criterios para la definición de las alternativas de Red .....	8
1.1.1	Análisis de la situación actual del transporte público (TP) .....	8
1.1.2	Análisis de la movilidad .....	9
1.1.3	Potenciales corredores .....	12
1.1.4	Aspectos territoriales y urbanos que inciden en la definición de las redes propuestas	13
1.1.5	Proyectos de renovación Urbana .....	14
1.1.6	Premisas de diseño .....	15
1.1.7	Alternativas de Redes de Corredores .....	16
<b>2</b>	<b>ANÁLISIS DE DEMANDA DE PASAJEROS .....</b>	<b>29</b>
	(Este capítulo se completa con la nota técnica MB-GC-NT-033).....	29
2.1	Análisis de sensibilidad de la demanda de pasajeros.....	30
2.2	Análisis variable confort.....	32
2.3	Análisis arcos de transbordo .....	32
2.4	32	
2.5	Expansión de demanda diaria a demanda anual .....	33
2.6	Revisión factor $\mu$ .....	35
2.6.1	Planteamiento Metodológico .....	35
2.6.2	Aplicación de la metodología al modelo de predicción de la elección modal. ....	36
2.7	Afectación de la velocidad sobre demanda.....	37
2.8	Análisis del impacto del taxi y las motos en la demanda .....	39
2.8.1	Taxis .....	39
2.8.2	Motos .....	41
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DE TARIFA .....</b>	<b>49</b>
3.1	49	
3.2	49	
3.3	Revisión concepto tarifa técnica.....	49
3.3.1	Antecedentes y generalidades .....	49
3.3.2	La Tarifa Técnica .....	50
3.3.3	Similitudes y diferencias de las tarifas técnicas .....	55
3.4	57	
3.5	Revisión del periodo de evaluación tarifaria.....	57
3.5.1	Generalidades .....	57



---

3.5.2	Supuestos utilizados en la evaluación.....	57
3.5.3	Comentarios finales .....	60
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>61</b>



## 0 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de ampliar los criterios de definición de las alternativas de red de metro analizadas, de complementar los resultados obtenidos en la selección de la Red y de la PLM (Productos 15 y 17) y de hacer más consistentes los cálculos obtenidos a lo largo del estudio **“DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED DE TRANSPORTE MASIVO METRO Y DISEÑO OPERACIONAL, DIMENSIONAMIENTO LEGAL Y FINANCIERO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PUBLICO-SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ”** el Grupo Consultor (GC) ha elaborado este documento, el cual incluye entre otros un análisis multicriterio de la red de Metro seleccionada, así como de las líneas que la conforman, un análisis detallado de las cifras de demanda y de algunos aspectos que son relevantes para su estimación dentro del modelo de transporte así como sus efectos sobre la definición de la tarifa técnica del metro dentro del SITP.

La estructura del presente documento se articula en una introducción preliminar de los alcances de los trabajos realizados, de acuerdo con las peticiones a transmitidas al Distrito y al GC por parte del equipo de Validadores del DNP- en adelante GV-, para luego desarrollar cada uno de los aspectos mencionados en la comunicación GEINF-20102840163391 del pasado 10 de marzo de 2010.

Concretamente, se desarrollan tres bloques

- Selección de Red, selección de la PLM y metodología
- Análisis de la demanda de pasajeros
- Análisis de Tarifa

Primeramente, se realiza una descripción de los criterios empleados para la definición de los corredores de transporte masivo que han permitido configurar las alternativas de Red evaluadas mediante la metodología propuesta en el producto 14 y cuyos resultados han sido presentados en el producto 15 de la presente consultoría.

A continuación, se realiza la medición y cálculo de los 27 indicadores definidos en la metodología de análisis multicriterio para las alternativas de red seleccionadas, incluyendo la red *A prima*, que ha sido la red seleccionada y evaluada posteriormente en los productos de la etapa 3 del Estudio.

Así mismo se aplica la metodología de evaluación de la PLM presentada en el producto 16 de la consultoría para el corredor de transporte masivo localizado en parte del recorrido de la Av. Ciudad de Cali identificado en el gráfico adjunto con el color morado, para lo cual se ha hecho necesario el cálculo de los respectivos indicadores que sirven de insumo a dicha metodología.

El análisis de demanda se realiza mediante la herramienta EMME del Modelo de Transporte ajustado y calibrado para el presente estudio el cual incluye los diferentes escenarios modelizados para la estimación de la demanda de la PLM en el año base 2018 y que sirven de input para el análisis de sensibilidad de las tarifas mencionado anteriormente.

En cuanto al análisis de la tarifa, es necesario realizar los cálculos y estimaciones previas de demanda para poder llevar a cabo los análisis y sensibilidades solicitadas por el Equipo de Validadores. Por tanto este bloque se presenta en un capítulo posterior al del análisis de demanda.

Finalmente, se presentan los resultados y conclusiones derivados de los análisis realizados en los tres bloques enunciados.



Cabe anotar que en la documentación desarrollada por el GC a lo largo del Estudio, se han analizado tanto la situación territorial de Bogotá y su entorno, como los sistemas de transporte actuales y los previstos, así como el estado de los instrumentos de planeación vigentes y en desarrollo, la demografía proyectada, así como los diversos escenarios económicos probables. En el presente documento, se considera que esta información ya es conocida, y cualquier mención se hace con un ánimo de simple recordatorio, por lo que no debe considerarse como descriptivo.



## 1 SELECCIÓN DE RED, SELECCIÓN DE PLM Y METODOLOGÍA

### Selección de Red, selección de PLM y metodología:

- Aclarar los criterios de selección de red. Se han identificado las restricciones para la selección de corredores, pero los criterios de elegibilidad y de definición para seleccionar una red no han sido suficientemente soportados.
- Para la red seleccionada, denominada A' (A prima), se deberá correr el análisis multicriterio para establecer su puntuación y evaluación dentro de este proceso.
- Realizar un análisis costo beneficio de las líneas que conforman la red seleccionada, A'.
- Estimar el costo generalizado de viaje suponiendo cada una de las líneas de la Red A' como la primera línea de metro.

### 1.1 Criterios para la definición de las alternativas de Red

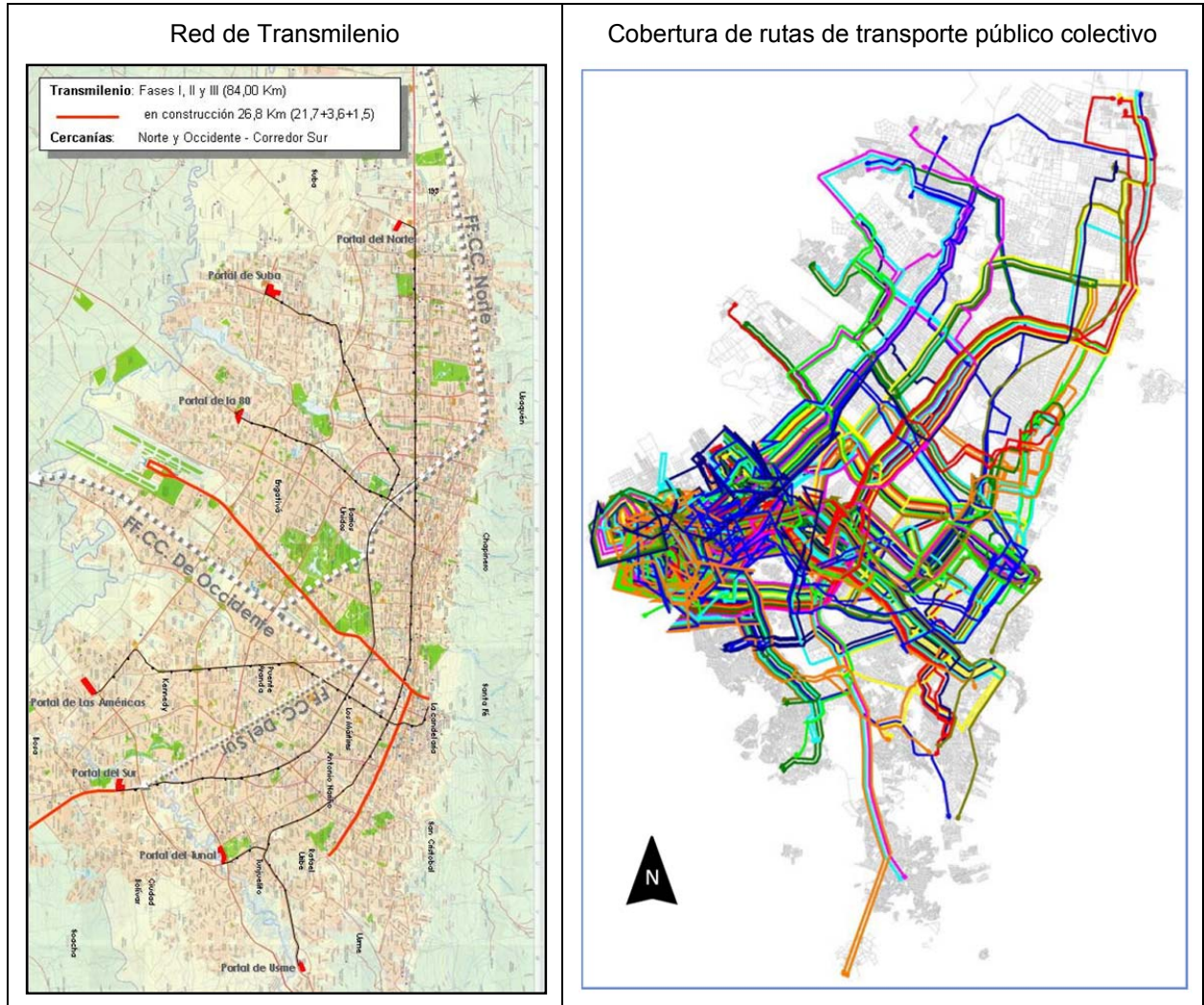
#### 1.1.1 Análisis de la situación actual del transporte público (TP)

Como punto de partida el GC realizó el análisis de la situación actual de la ciudad de Bogotá obteniendo los siguientes resultados.

- En la actualidad una parte del Transporte público de Bogotá se compone de la red de Transporte masivo TransMilenio con una longitud de vías troncales en operación de 84,0Km y 26,8Km de troncales adicionales en construcción.
- Esta Red se estructura por dos corredores en sentido Norte-Sur pasando por el centro y próximos a la cordillera (Portal del Sur con Portal de Suba y Portal Usme-Tunal con Portal del Norte) y tres corredores Oeste-Este (Portal de las Américas, Portal Aeropuerto en construcción y Portal de la 80) que conectan la periferia con el centro.
- Por otro lado el transporte colectivo de la ciudad se encuentra distribuido tal y como se aprecia en el esquema siguiente. En la figura siguiente se observa que existe una concentración importante de rutas en la zona Suroeste de la ciudad. En la dirección Norte-Sur se observa que las rutas siguen las vías principales de la red vial vehicular.
- Se observa que en la zona de Las Américas, El Tintal y hacia Soacha existe una gran cantidad de rutas que favorecen la congestión y el caos circulatorio.



**Figura 1-1. Situación de la Red de Transporte público a Junio de 2009**

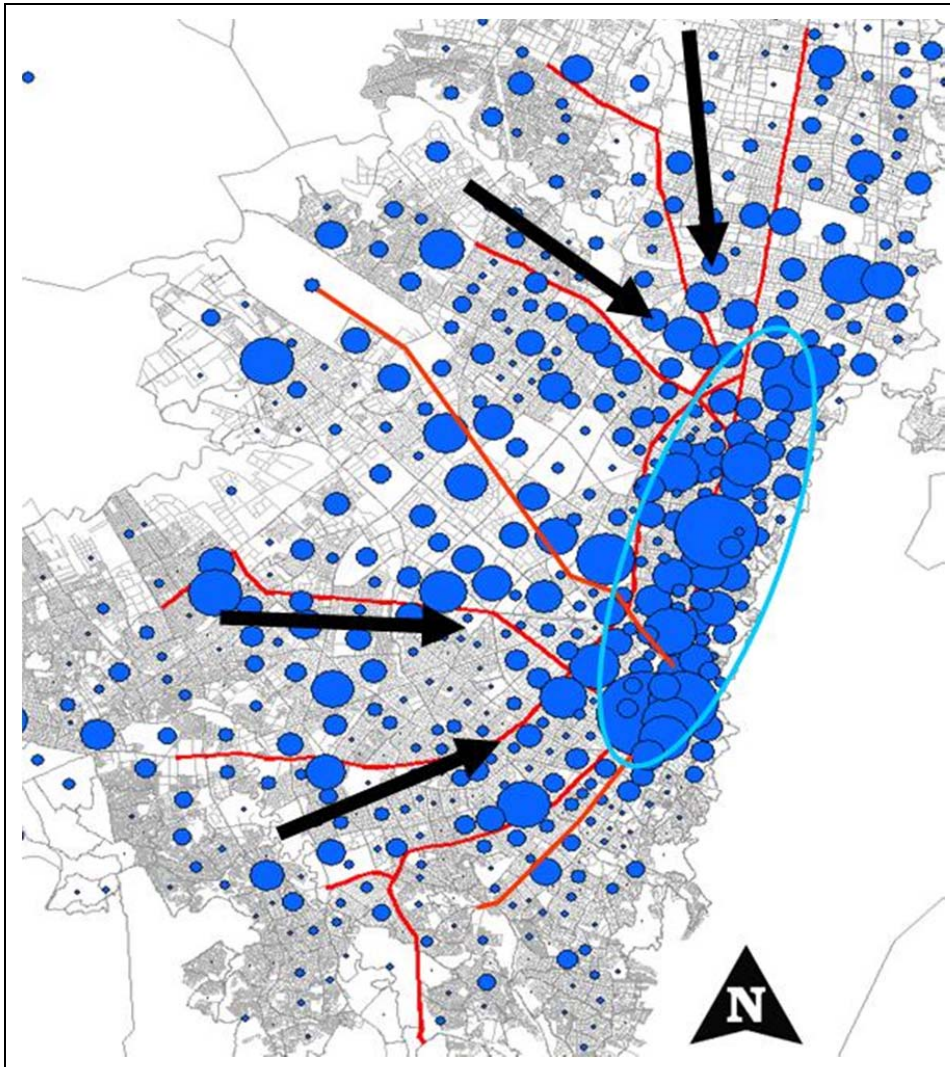


Fuente: Elaboración propia

### 1.1.2 Análisis de la movilidad

En relación con la demanda y apoyados en estudios anteriores, realizados por TransMilenio y por el grupo para el SITP, se estudiaron los corredores que respondían mejor al comportamiento Origen-Destino de los viajes en la ciudad, así como la existencia de las troncales de TransMilenio existentes, en construcción y proyectadas, de modo a completar la Red del SITP.

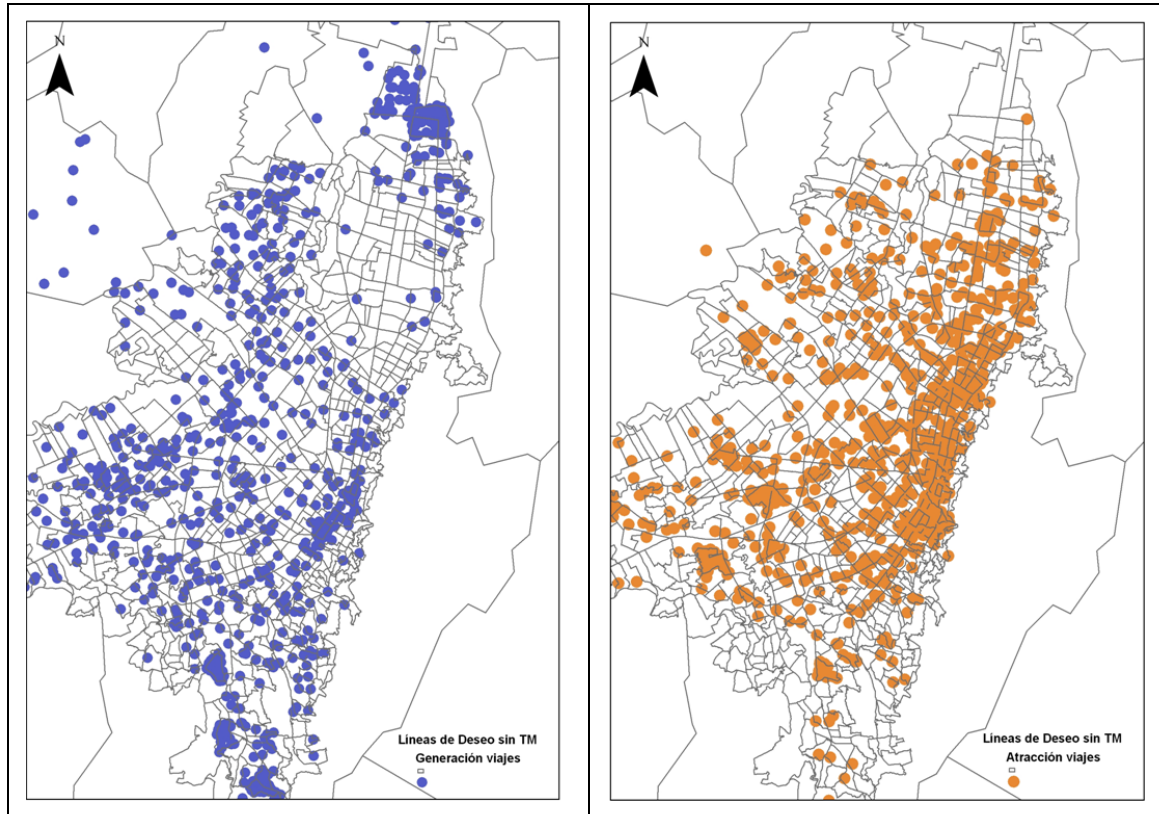
**Figura 1-2–Origen - Destino de los viajes de la ciudad de Bogotá. 2009**



*Fuente: Elaboración propia a partir de la EDM05*

Tomando como herramienta el modelo de transporte calibrado y una vez realizada la estimación de demanda para el año 2018, se asigna la matriz de demanda en dicho escenario, para determinar el comportamiento de la población en términos de movilidad. Los resultados gráficos de esas pautas de movilidad se pueden observar en las siguientes figuras.

**Figura 1-3. Generación – Atracción de viajes**



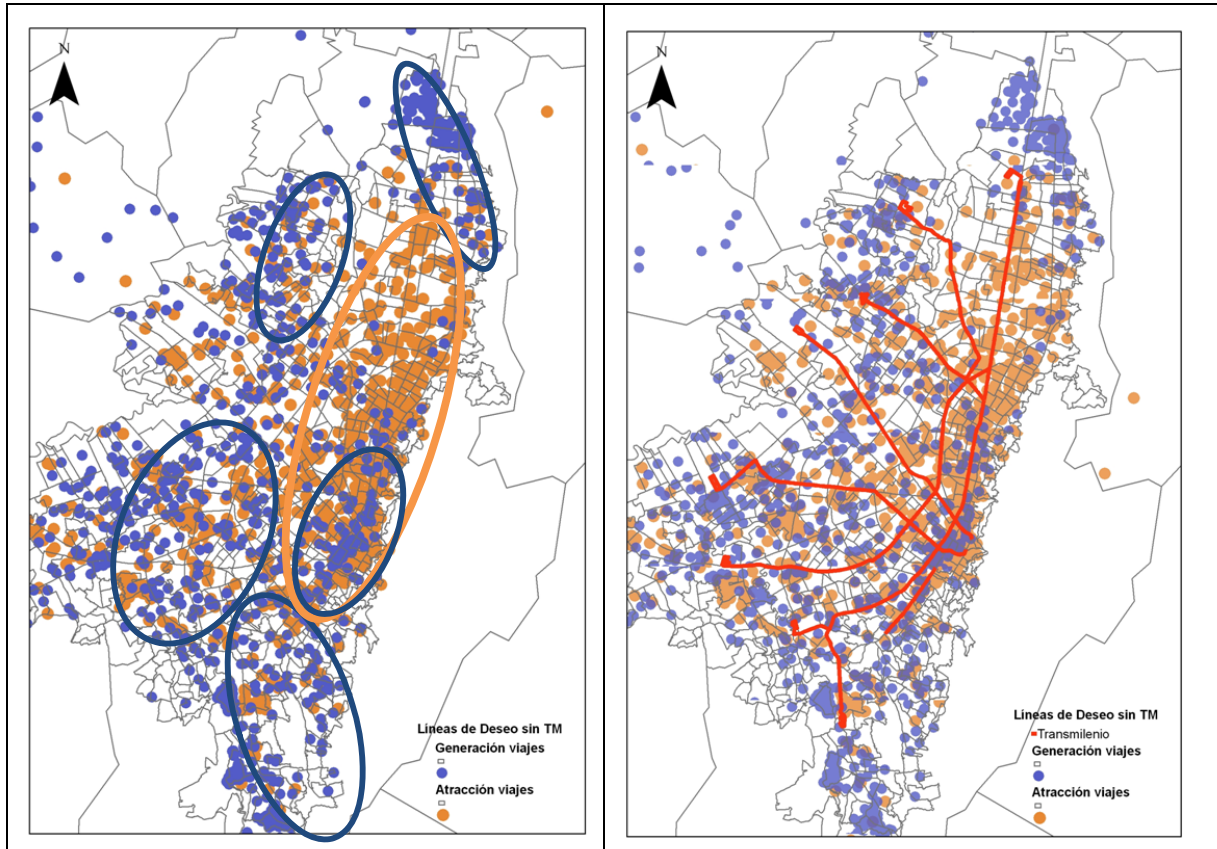
Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo de EMME

Como se puede apreciar, se diferencia claramente que los grandes centros de generación de viajes se distribuyen de forma dispersa por la ciudad, encontrando importantes sectores como los situados en el sur occidente, el centro expandido y en localidades del noroccidente como Suba. La atracción de viajes por su parte está localizada en los sectores del centro expandido, el centro internacional, y la parte norte de la ciudad, principalmente en el área de influencia de la autopista norte.

Si se superponen los viajes origen y los viajes destino se obtiene una nueva figura, donde se observa que la mayor demanda se localiza al Sur-Oeste de la ciudad, sin menospreciar los viajes que se generan al Norte. Los destinos, por otro lado se concentran al Este de Bogotá, en la zona centro.

Tal y como se presenta en la figura adjunta, los corredores de TM cubren parte de los grandes centros de generación - atracción de la demanda, pero existen otros grandes centros concentradores de viajes que deben ser considerados.

**Figura 1-4. Generación- Atracción Vs Corredores de TM**



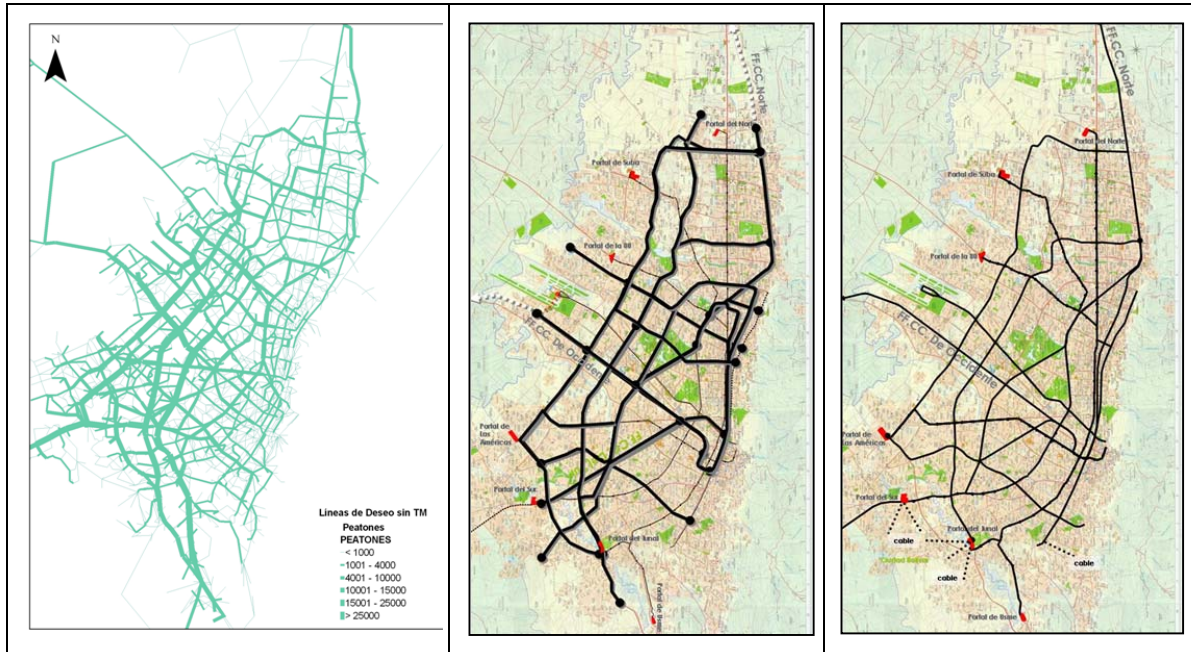
Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo de EMME

El gráfico de la izquierda representa de manera conjunta las pautas de movilidad de la población concentradas principalmente hacia el centro expandido y siguiendo un eje longitudinal de norte a sur. Esto se debe a la existencia de una infraestructura ya consolidada como lo es el Sistema Transmilenio. A la derecha se puede observar cómo se superponen las líneas del sistema masivo a los ya señalados centros de Origen y destino de la demanda.

### 1.1.3 Potenciales corredores

Para definir sistemas alternativos y complementarios a Transmilenio, se asigna sobre la red vial existente la demanda no atendida por el sistema TM. Una vez analizada la situación actual de la ciudad y tomando en cuenta la infraestructura vial existente y el posible desarrollo de vías futuras, así como las líneas de deseo generadas por las intenciones de viaje, se identificaron los potenciales corredores de transporte que fueran capaces de albergar una línea de transporte masivo (Metro, Transmilenio, autobuses, tranvía).

Figura 1-5. – Líneas de deseo, Corredores analizados y Corredores seleccionados



Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo de EMME

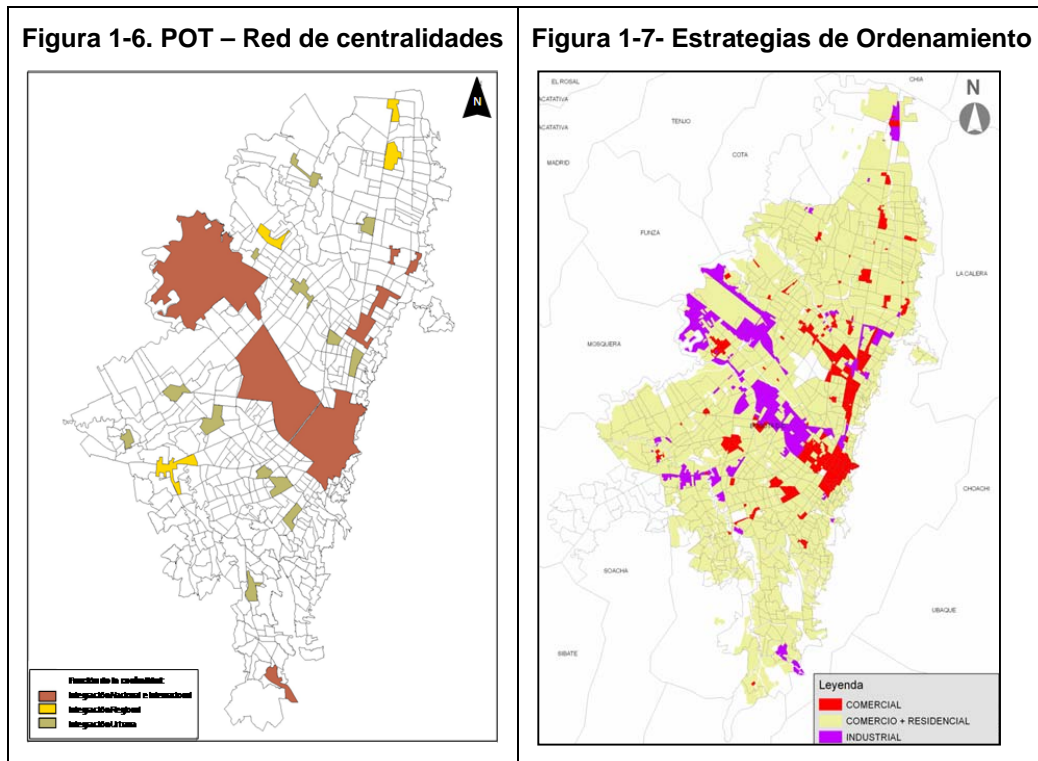
Detectados los posibles corredores se seleccionaron aquellos que mejor cumplían con los requisitos para un sistema masivo Metro haciendo alguna modificación en aquellas zonas de la ciudad donde la topografía era más accidentada (al Sur de Bogotá) y sustituyendo el posible corredor de metro por un sistema de cable tal y como se puede apreciar en la Figura. A partir de esta selección se propusieron 10 alternativas de red las cuales se detallan más adelante.

#### 1.1.4 Aspectos territoriales y urbanos que inciden en la definición de las redes propuestas

Se parte de la concepción en donde se concibe el sistema de movilidad como el elemento articulador del desarrollo urbanístico y económico de la región, por lo que es determinante que la propuesta de Metro que se desarrolle quede inserta en los lineamientos que define el Plan Maestro de Movilidad (PMM) y que se articule coherentemente con el Plan de Ordenamiento de Territorio (POT). El SITP, y por lo tanto el Metro, se consideran parte del sistema de movilidad, y por ello como una herramienta necesaria para alcanzar los niveles de equilibrio y crecimiento urbano esperados. En este sentido, su relación con los otros sectores, sistemas y estructuras del POT debe ser tal que la propuesta de PLM que se desarrolle debe colaborar en la consolidación de la actual estructura urbana y optimizar el uso y aprovechamiento del territorio.

Para ello, se establecen los siguientes objetivos:

- Establecer la coherencia con los instrumentos de planificación urbana
- Impactar y coadyuvar positivamente sobre la funcionalidad urbana
- Favorecer las oportunidades que da el planeamiento con nuevos desarrollos



Fuente: POT

El modelo del POT fortalece las zonas de la ciudad que significan mayor actividad económica como áreas con gran potencial para consolidar la vivienda y los servicios para la población que más los requiere.

Las zonas estructurantes de la ciudad deben contemplar la implementación de sistemas de movilidad como Proyectos Urbanos Integrales

### 1.1.5 Proyectos de renovación Urbana

Se analizaron los proyectos de mayor repercusión en renovación urbana y de influencia en la selección de la Red y el trazado seleccionado para ser la Primera Línea del Metro de Bogotá. La tabla adjunta muestra una parte de los proyectos que se consideraron en el análisis.

Figura 1-8 Proyectos de Renovación urbana

	PROYECTO DE RENOVACIÓN URBANA	LOCALIDAD	AREA DE PLANIFICACIÓN
1	ALMIRANTE COLON	CHAPINERO	5.1 Ha
2	CONQUISTADOR	CHAPINERO	8.6 Ha
3	NODO NORTE CALLE 72	CHAPINERO	3.4 Ha
4	PROSCENIO	CHAPINERO	7.9 Ha
5	SAN BERNARDO	SANTA FE	33.2 Ha
6	SAN VICTORINO	SANTA FE	14.5 Ha
7	ALAMEDA-ESTACION CENTRAL	SAN DIEGO	6.4 Ha

Fuente: POT

### 1.1.6 Premisas de diseño

El GC planteó que la red de metro debía fundamentarse conceptualmente en los siguientes aspectos:

- Aspectos funcionales
  - La red de metro se constituye como un elemento más del SITP de la ciudad y como tal responde, en términos de complementariedad, a la integración deseada entre modos de transporte público.
  - La red de metro responde a un esquema en MALLA, en el cual se tejen de modo complementario los trazados de las líneas del metro con los propios de Transmilenio y resto del TP que opera en la ciudad, de manera de ampliar la cobertura y versatilidad del sistema en función de las características de transporte de cada uno de los modos integrados.
  - La red de metro aprovecha la localización de los corredores viales a la fecha no ocupados por Transmilenio los cuales son de gran utilidad para interconectar los poli-centros urbanos sin necesidad de pasar por el centro tradicional de la ciudad.
  - La red de metro se desarrolla, desde su inicio, integrando las rutas de TransMilenio y líneas de Cercanías, con la finalidad de cumplir con el principio de complementariedad deseado.
  - La red de metro contribuye desde su inicio a reducir la sobre saturación de TransMilenio en sus trayectos por el centro de la ciudad de manera de ofrecer un mejor servicio a los usuarios de ambos modos de transporte.
  - La red de metro no debe utilizar, en la medida de lo posible, los corredores ya utilizados por el sistema TransMilenio.
- Aspectos urbanísticos
  - La red de metro contribuye desde su inicio a la **mejora de la calidad de vida**, introduciendo planes y proyectos de recuperación urbanística en el entorno directo de influencia.
  - La red de metro responde al **concepto de pluri-centralidad** previsto en los planes de desarrollo urbano de la ciudad, estableciendo conexiones de transporte público fuertes y directas entre dichos pluri-centros.
  - La red de metro responde a la existencia, o la planificación a futuro, de **Nodos de intercambio de transporte público**, como los ya existentes al norte y sur del área central, en Escuela Militar y La Candelaria, o los CIM previstos (Centros de Intercambio Modal).
- Aspectos temporales
  - La red de metro se desarrolla **por etapas de longitud de entre 10 y 20km** suficientes para que despierten el interés internacional en su ejecución, al tiempo lo suficientemente cortas para facilitar los procesos de diseño, licitación y financiación, y siempre con la dimensión adecuada y oportuna para responder a las necesidades de transporte y a la evolución de la movilidad en la ciudad.
- Aspectos medioambientales
  - La red de metro contribuye desde su inicio a **reducir la contaminación ambiental** en la ciudad promoviendo cambios en los hábitos de movilidad e introduciendo planes y proyectos de recuperación medioambiental.

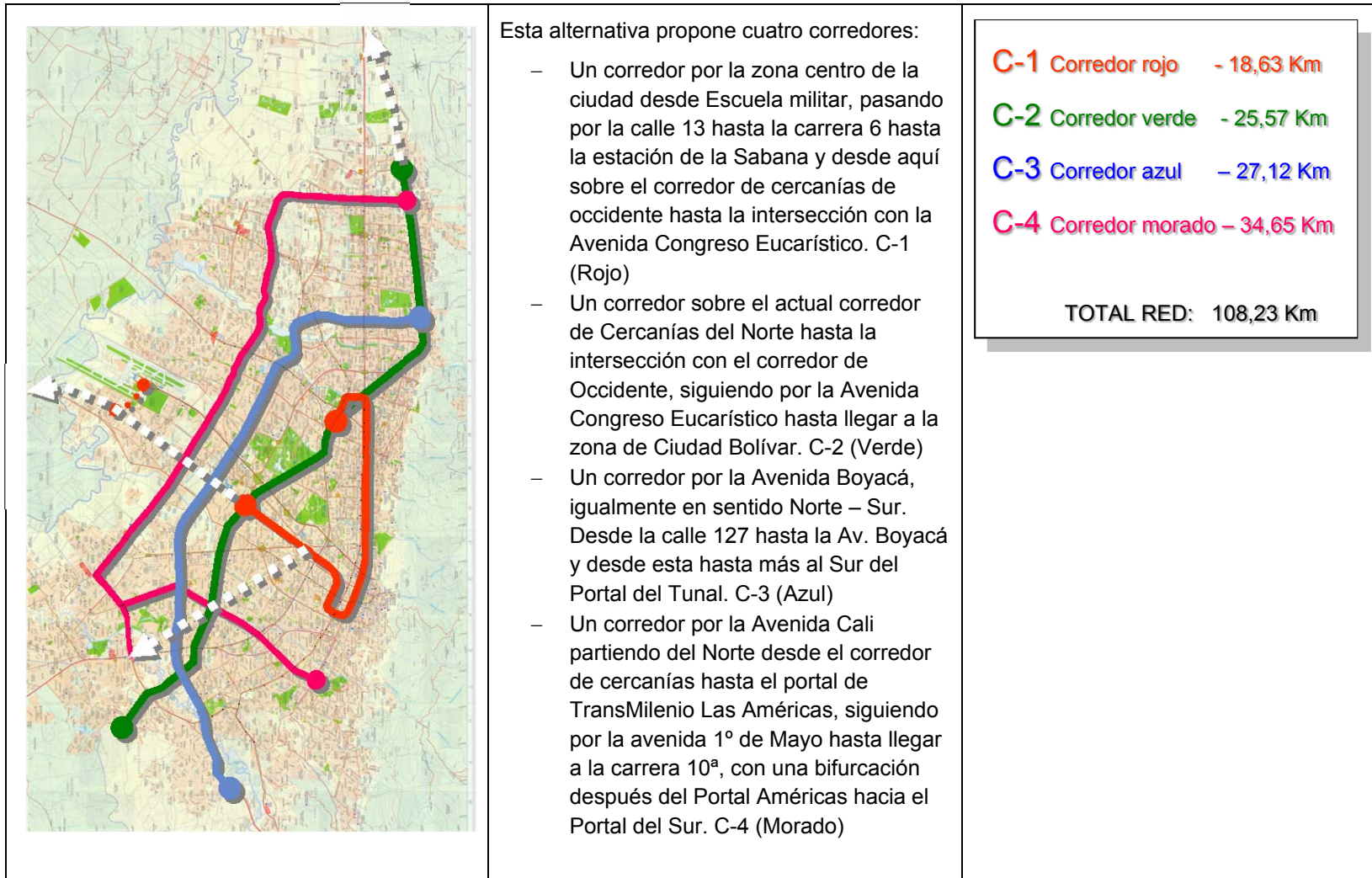
- Tipologías constructivas y trazado.
  - Desde un punto de vista urbano y tecnológico, la definición de los corredores tuvo como pies forzados consideraciones geológicas y de las construcciones existentes. De las tres tipologías posibles para recibir un trazado de Metro, (túnel, en superficie y en viaducto), se consideró el túnel y en superficie, desestimando el sistema de viaducto, por el impacto urbano (visual y acústico) y el elevado coste de las cimentaciones.
  - El trazado en superficie se propuso exclusivamente en aquellas zonas donde ya existe un trazado ferroviario antiguo, de modo de no producir un nuevo impacto en la trama urbana. El resto del trazado propuesto se desplaza en túnel.
  - En general el suelo de Bogotá se basa en un antiguo gran lago con islas y penínsulas, rodeado de montañas en cuyo fondo se acumularon sedimentos de arena, gravilla y arcilla provenientes de la erosión de las montañas circundantes, así como ciertos restos de carbón. El desecamiento del Gran Lago dio paso a la formación del sistema fluvial del Río Bogotá. Los humedales bogotanos son remanentes del Gran Lago, perpetuados por las inundaciones cíclicas del río Bogotá y sus afluentes. Otros movimientos tectónicos esporádicos de compresión plegaron los sedimentos, formando los cerros bajos de Bogotá. En síntesis, puede decirse que en el subsuelo de Bogotá no es posible contar con un sustrato rocoso a una profundidad accesible, que sirva como base de sustentación a edificaciones u obras de ingeniería importantes. En la costra de suelo superficial, de un espesor medio de unos 5 m. es donde se cimentaron las edificaciones primeras de la ciudad. Pero las construcciones más ambiciosas desarrolladas a partir de la 2ª mitad del s. XX, donde normalmente se ha excavado para obtener sótanos, destruyendo la costra citada, los sistemas de cimentación se han basado en pilotes de concreto u hormigón que trabajan, no a compresión como los típicos que están en contacto con rocas capaces de recibir solicitaciones, sino por rozamiento. Estos elementos tienen una longitud de unos 30 m., llegando en algunos casos a tener alrededor de 50 m. Esto significa que en el subsuelo de las zonas edificables no se puede considerar la disposición de túneles a una profundidad típica de metro, lo que hace recomendable que el trazado de túneles se haga bajo los viales, para no comprometer tanto los pilotajes actuales como los futuros. El sistema de túnel posible de construir en un suelo como el descrito, es el construido mediante tuneladoras. Existe un exitoso ejemplo del uso de esta tecnología en el reciente túnel sanitario del Tinjuelo. Pero en la zona de Piedemonte, es decir en la intersección de la cordillera con el plano de la ciudad, es posible la afloración de macizos de areniscas, que interrumpirían el trabajo de estas máquinas. Por ello, en general, no es recomendable el trazado en estas zonas.
  -

### 1.1.7 Alternativas de Redes de Corredores

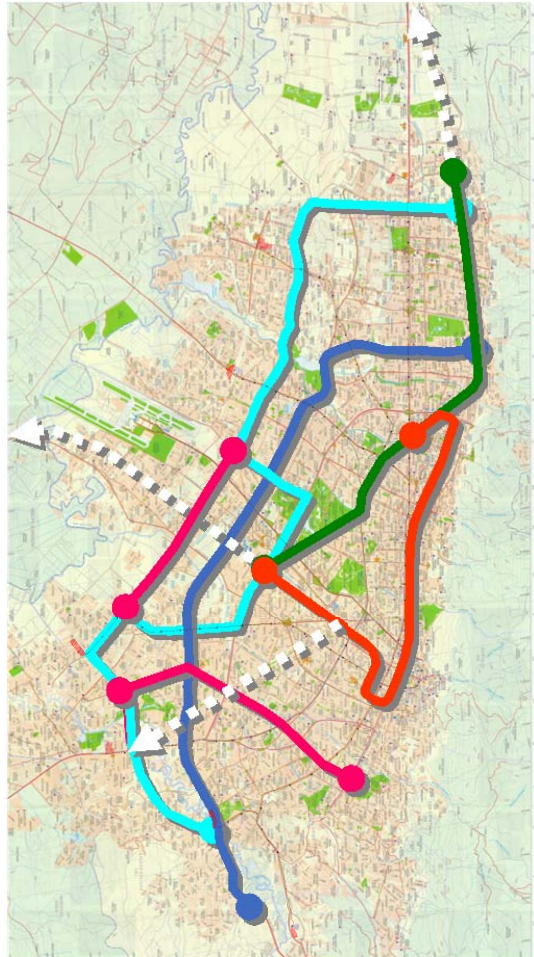
A continuación se analizaron diferentes esquemas de Red capaces de admitir corredores para un trazado de metro y se plantearon las diez (10) alternativas de Red que se escriben a continuación.



Figura 1-9 Alternativa 1

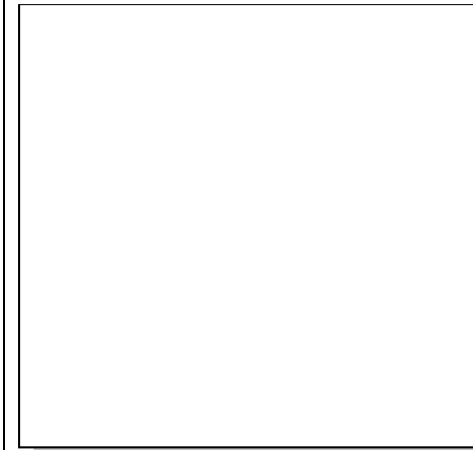


**Figura 1-10 Alternativa 2**

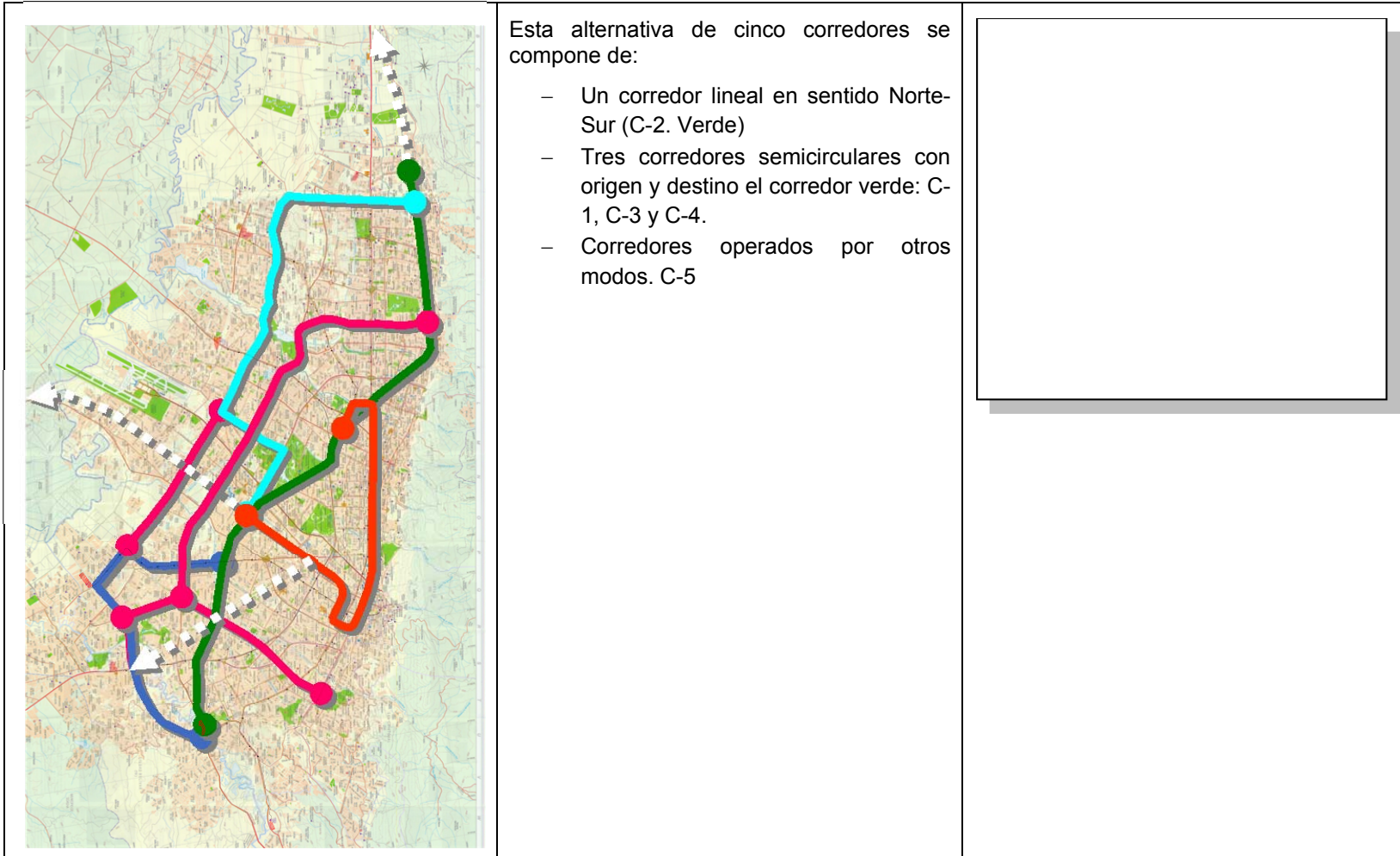


Esta alternativa con cinco corredores es una variante de la alternativa anterior donde:

- Se mantiene el mismo corredor rojo por el centro de la ciudad. C-1.
- El corredor verde en este caso termina en la intersección con el corredor de occidente de cercanías. C-2
- El corredor azul por la Boyacá se mantiene. C-3.
- El corredor por la Av. Cali se ha modificado para tener un punto de conexión con los corredores rojo y verde en el punto conocido como K5. Desde el Portal de Las Américas el corredor continúa por la Av Villavicencio hasta el Portal del Tunal pasando muy cerca del Portal del Sur. C-4.
- El último corredor se plantea ser operado por otro modo diferente al de metro pesado. C-5



**Figura 1-11 Alternativa 3**



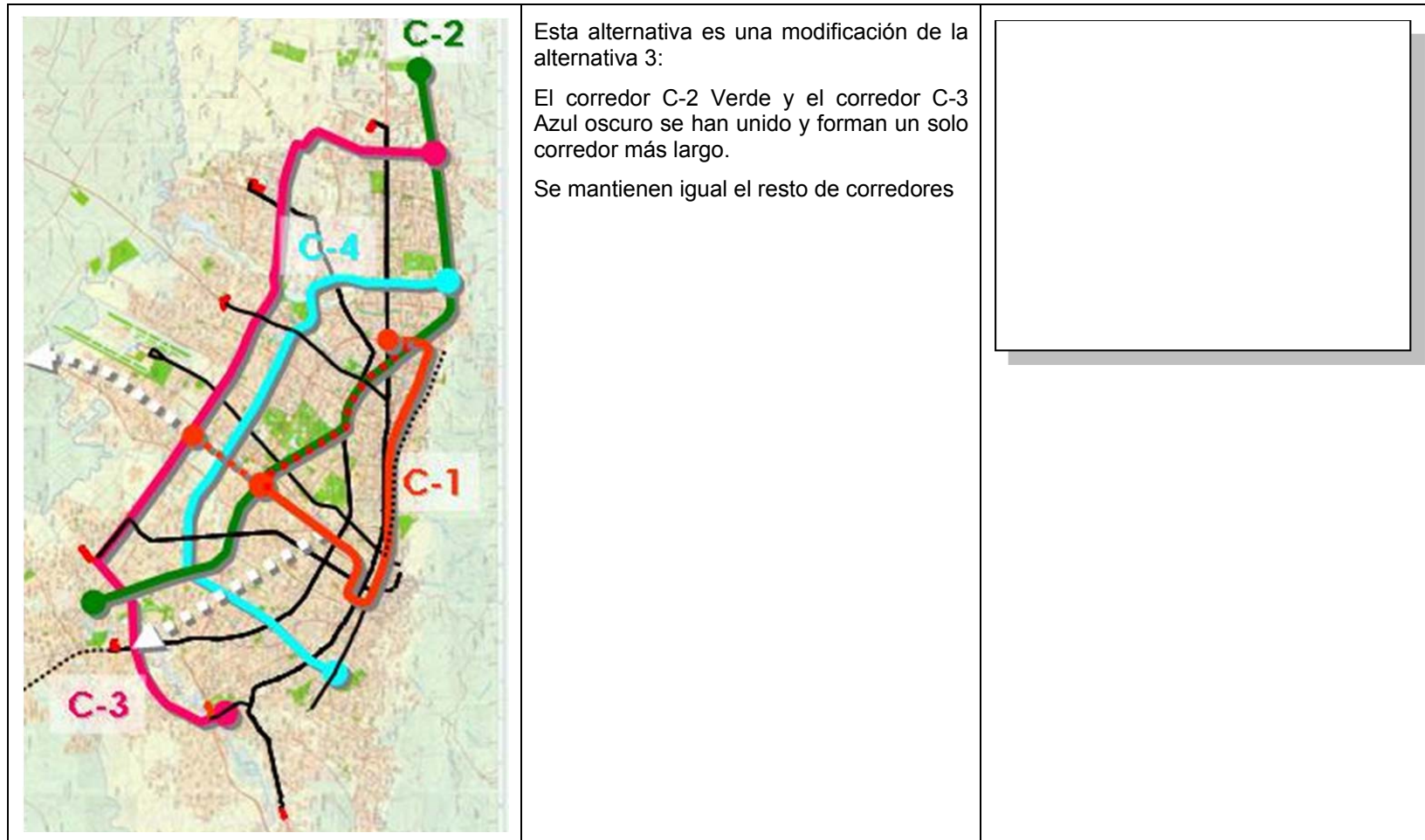
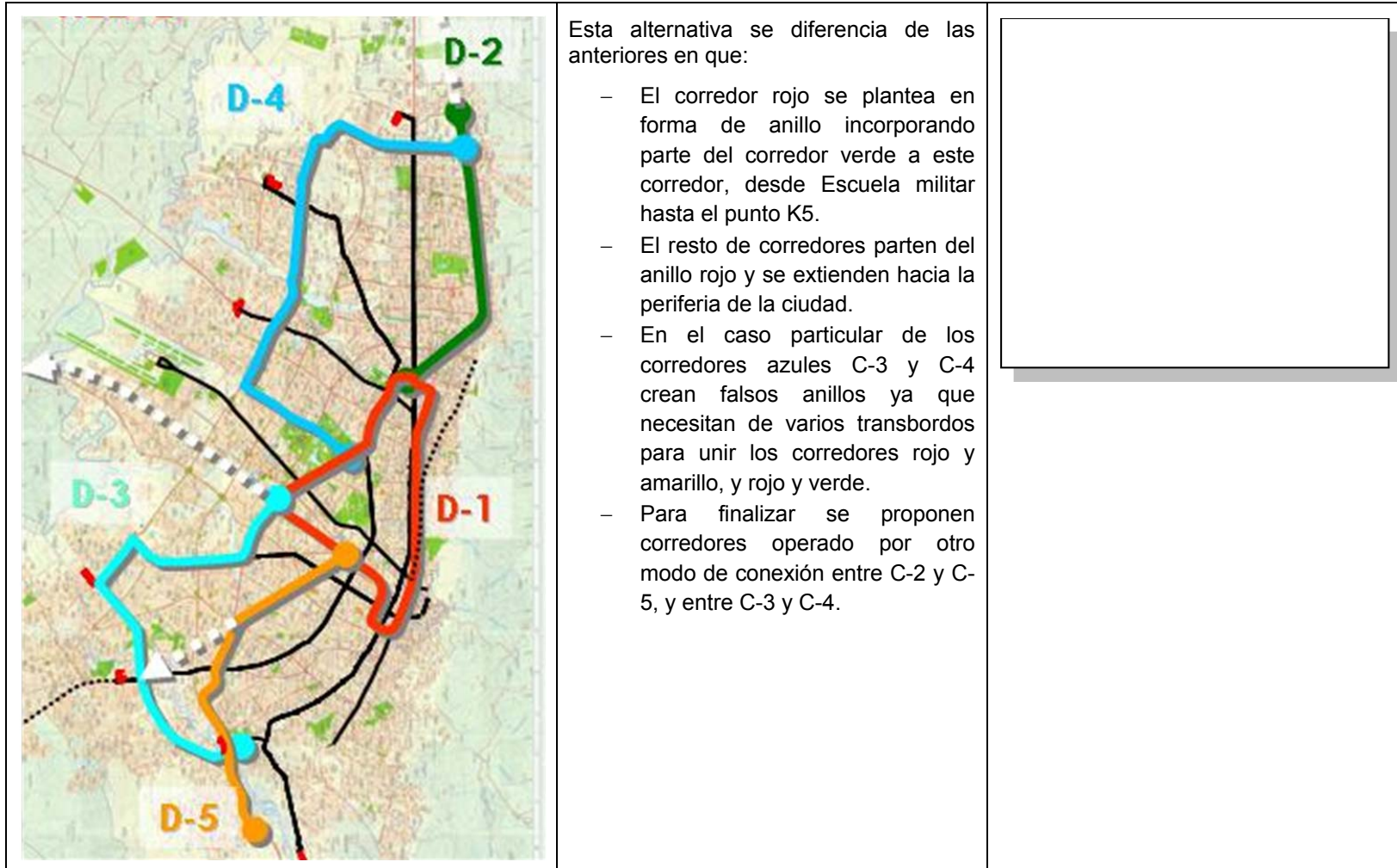
**Figura 1-12 Alternativa 4**

Figura 1-13 Alternativa 5



**Figura 1-14 Alternativa 6**

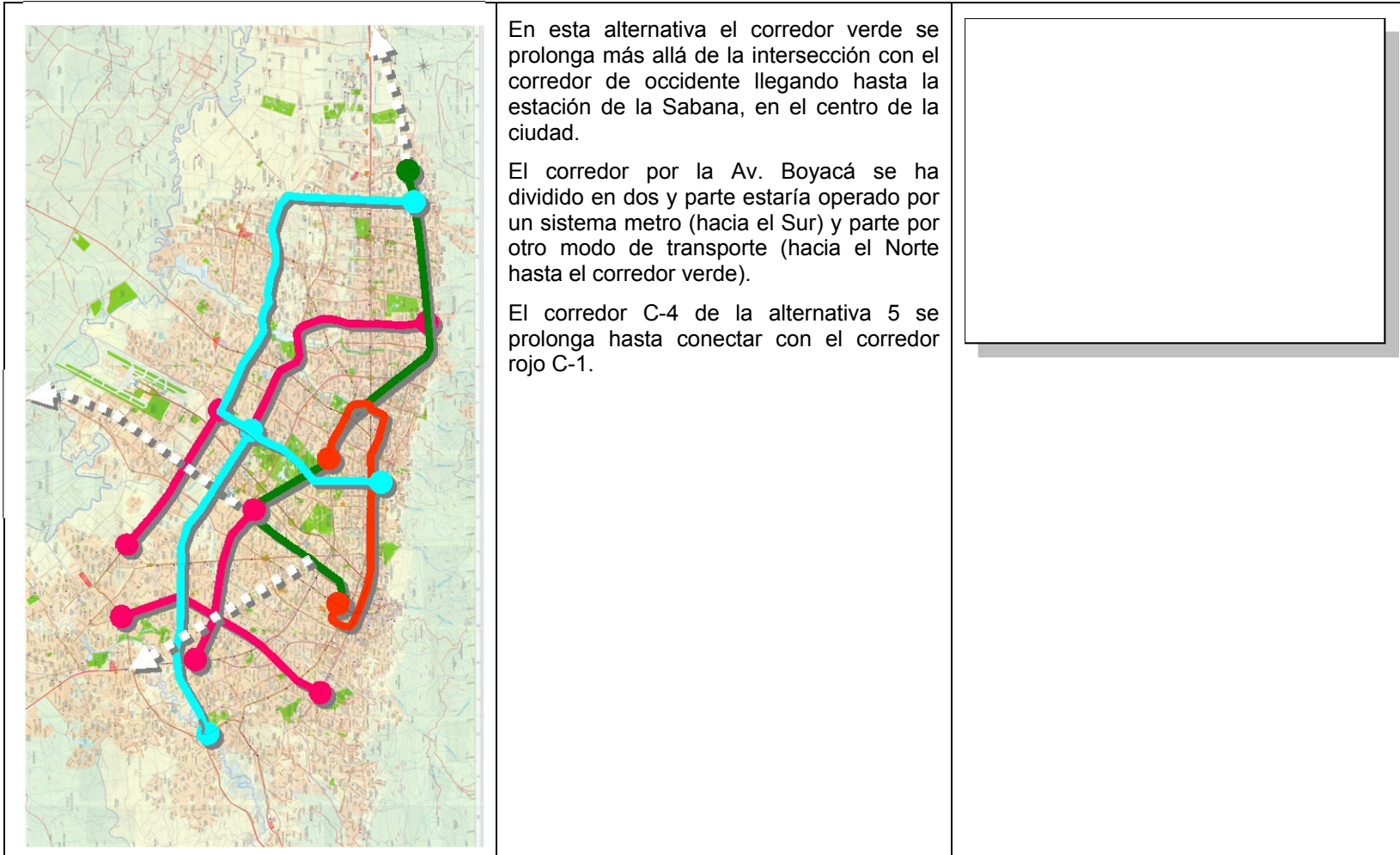
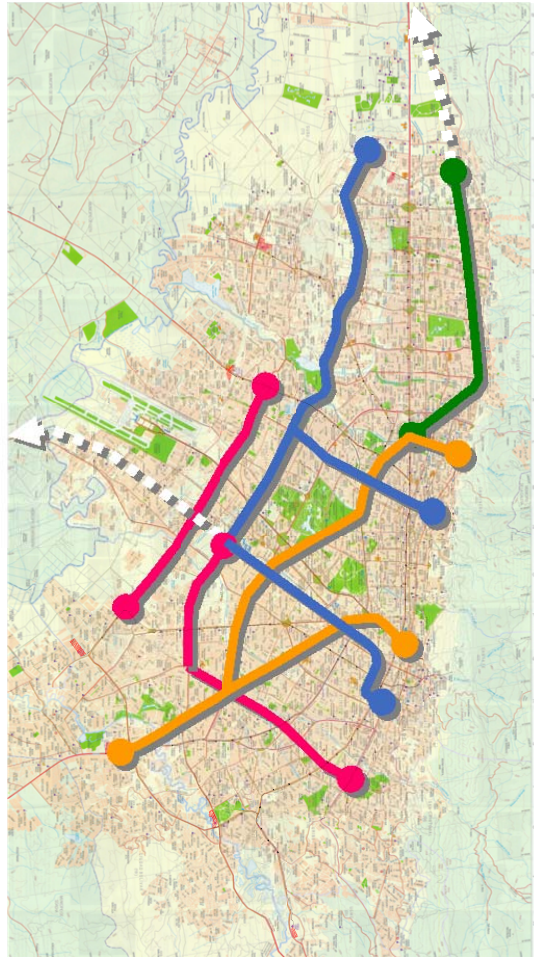


Figura 1-15 Alternativa 7



Esta alternativa se compone de cuatro corredores y el esquema que se sigue es el denominado “en forma de peine” (ver corredores C-2 y C-3) que parten de la zona Este de la ciudad y discurren en sentido Este-Oeste y posteriormente en sentido Norte-Sur.

Se trata de un esquema similar al actual de Transmilenio pero en sentido simétrico.

Este esquema se basa en la idea de un cambio de centralidad administrativa en la ciudad de Bogotá, trasladando el centro hacia la zona del aeropuerto actualmente en desarrollo

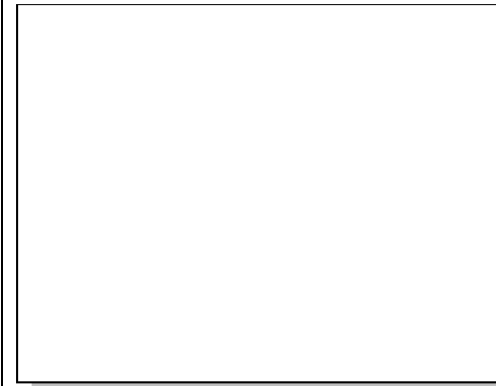


Figura 1-16 Alternativa 8

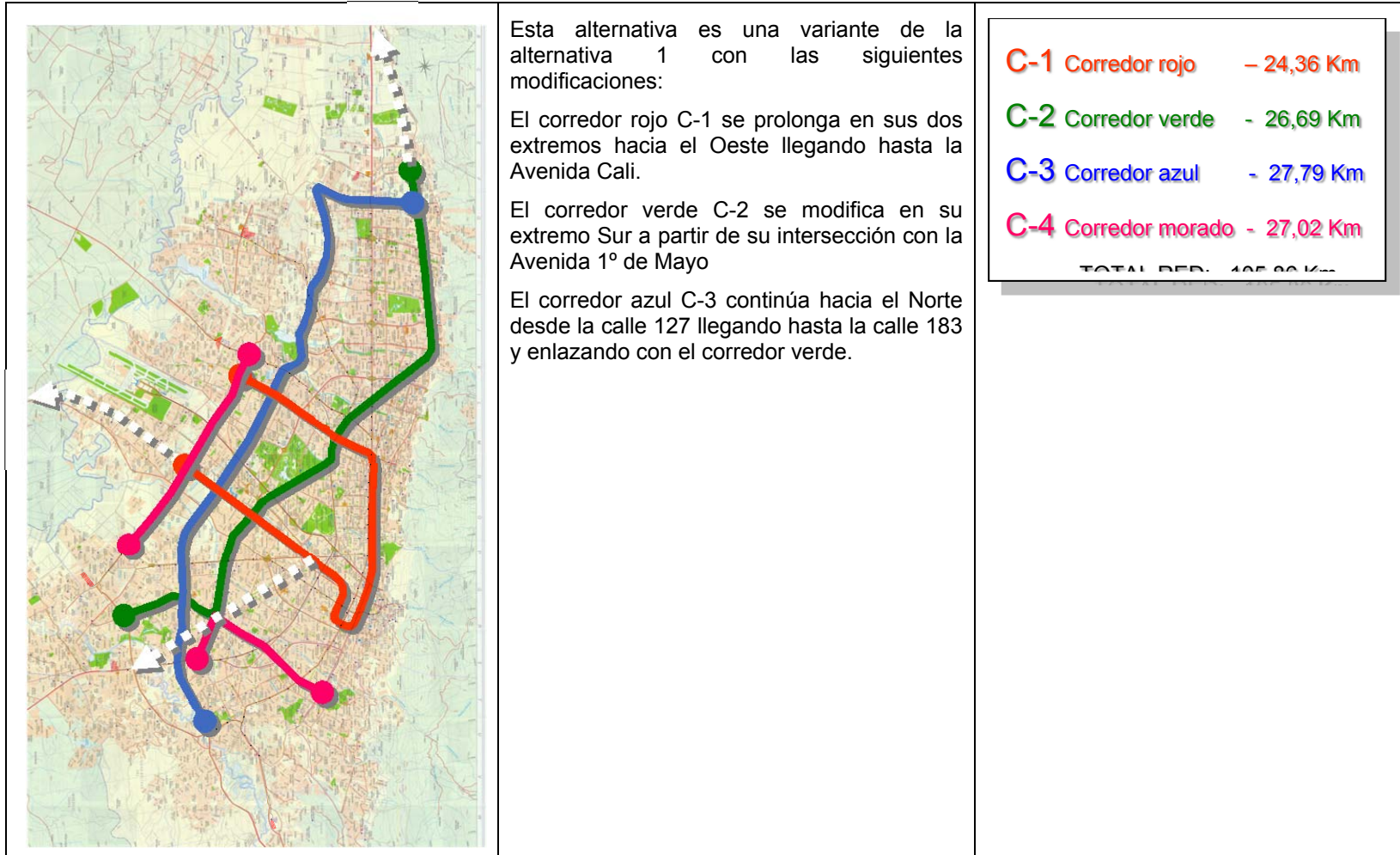




Figura 1-17 Alternativa 9

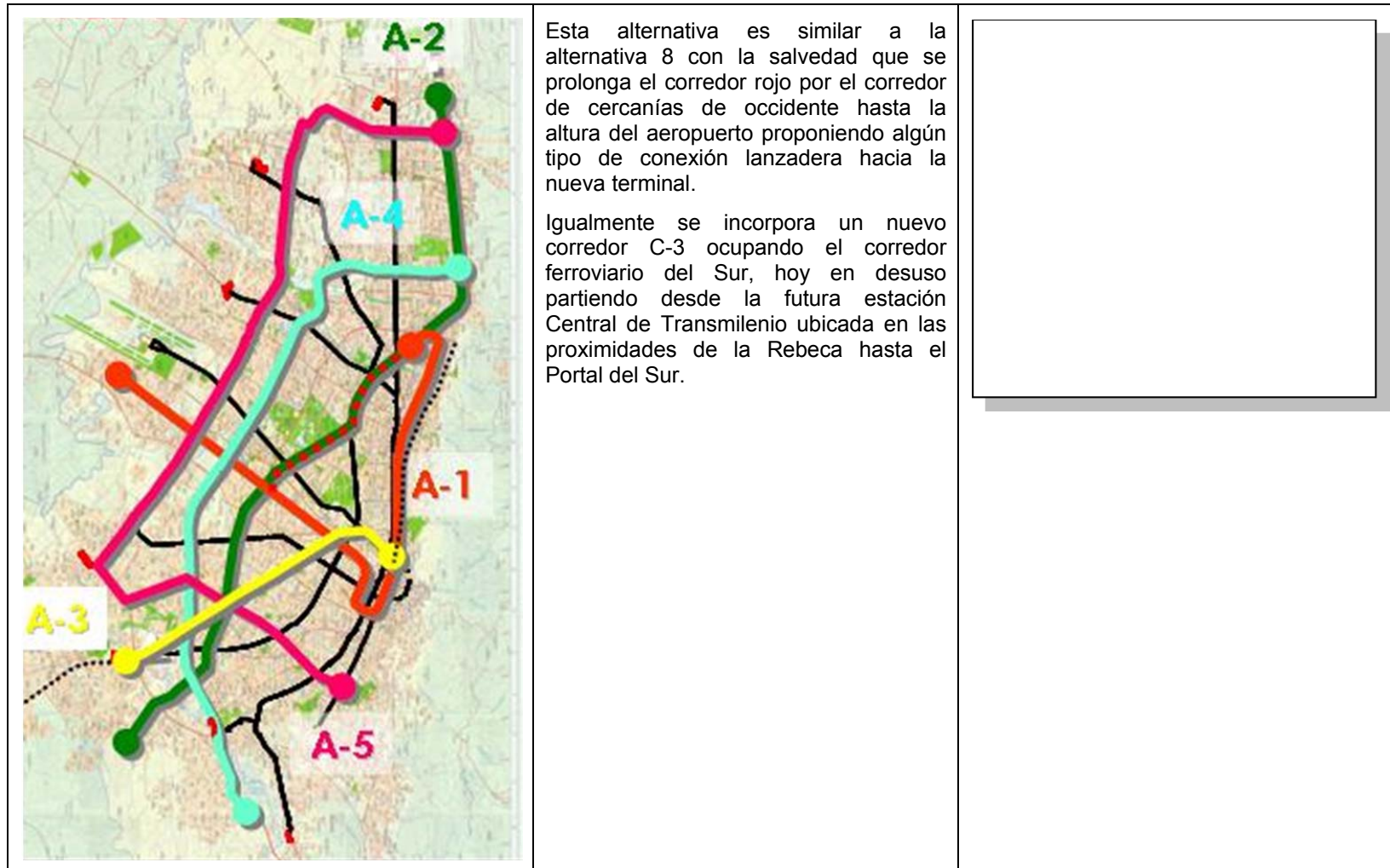
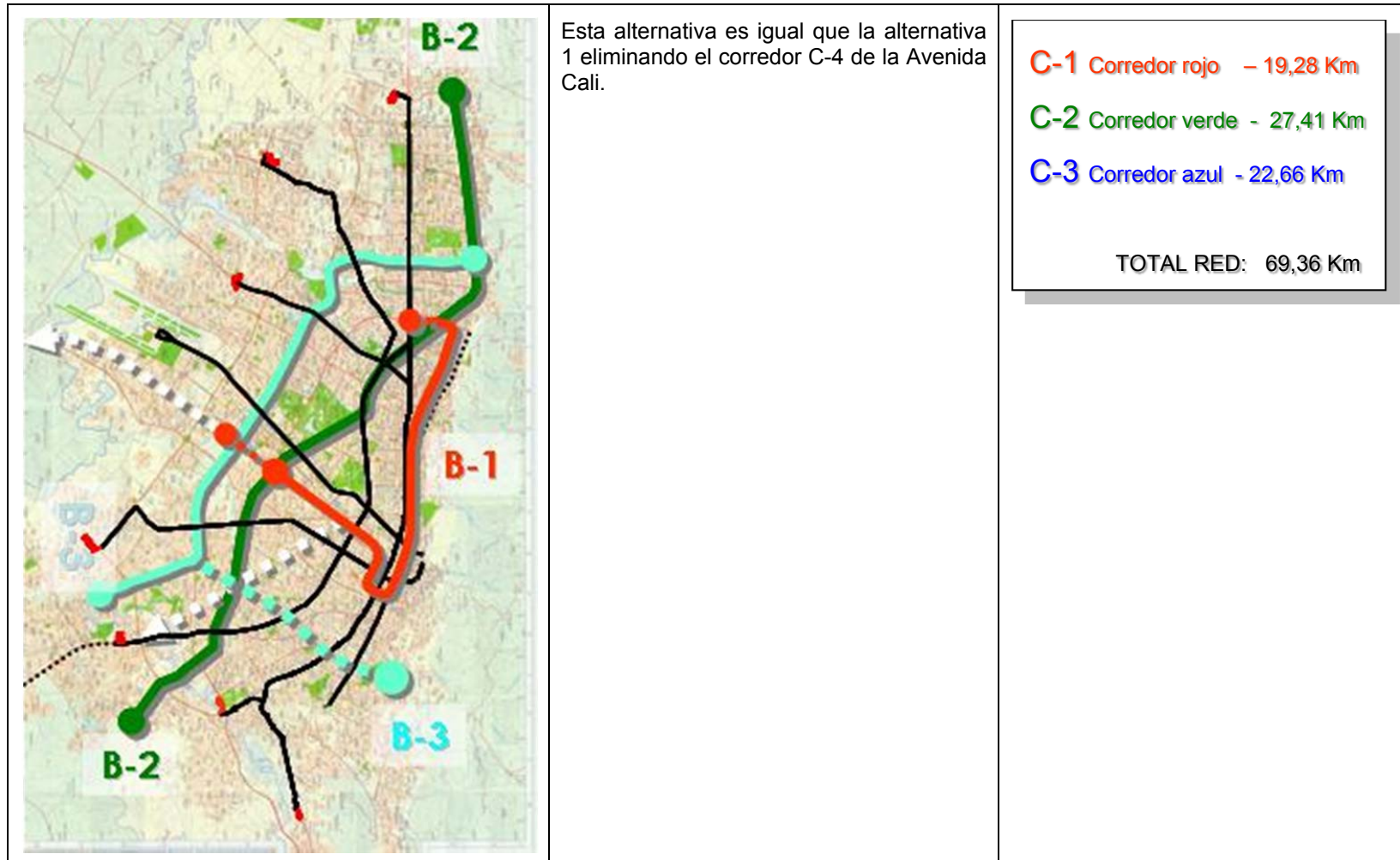


Figura 1-18 Alternativa 10



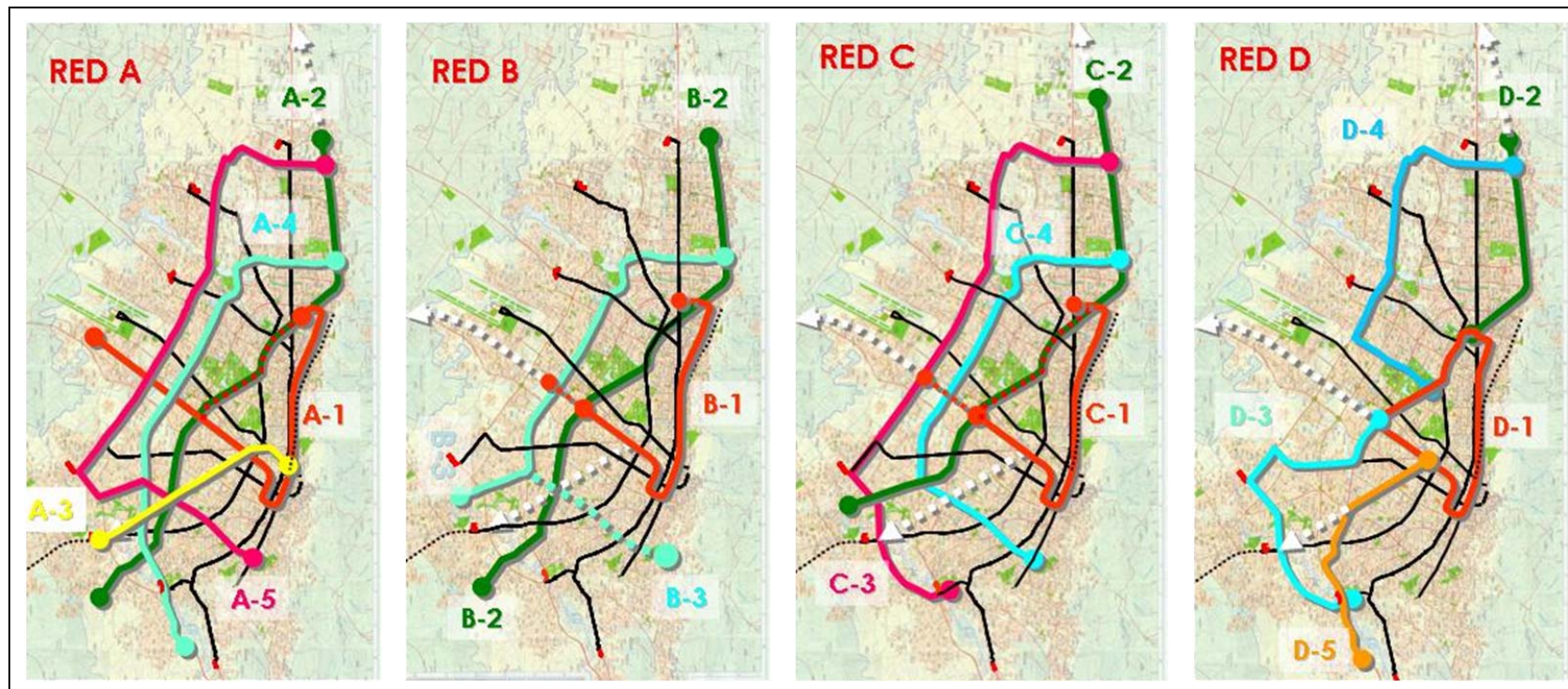
## Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP

Una vez estudiadas las diez alternativas, se escogieron las cuatro (4) cuya cobertura era muy diferente entre sí. Las redes Alternativas seleccionadas fueron en su orden:

- Alternativa 9 = **RED A**
- Alternativa 10 = **RED B**
- Alternativa 4 = **RED C**
- Alternativa 5 = **RED D**

Dichas redes se sometieron al análisis multicriterio descrito en el Producto 14, considerando que la cobertura de dichas redes es la que daba mejor respuesta a las necesidades de la ciudad, tal y como establecían los Términos de Referencia.

**Figura 1-19 Redes seleccionadas para evaluación**





Los resultados de este análisis multicriterio quedaron reflejados en los Producto 15 y 16. Finalmente se optó por una red combinación de los mejores resultados de las alternativas A y C, que fueron las que mejor respondieron a los indicadores y se propuso como Red de Análisis para el horizonte 2038 la alternativa A', ajustando longitudes y trazados de los corredores propuestos en la misma.

En el momento en que se hubo seleccionado la Red de Metro se procedió a la priorización de las líneas. En el Producto 17 se define detalladamente cual fue la metodología y los criterios de valoración empleados así como los resultados de la misma.

## 2 ANÁLISIS DE DEMANDA DE PASAJEROS

### Análisis de demanda de pasajeros:

- Realizar un análisis de sensibilidad para la demanda de pasajeros en la cual se revise el impacto que tendrían los siguientes componentes:
  - Impacto en el reparto modal del crecimiento del parque de motocicletas en la ciudad, y de los viajes no cuantificados en el modelo del GC que son realizados en motocicleta
  - Impacto en el reparto modal de los viajes no cuantificados en el modelo del GC que son realizados en taxi
  - Efectos de política pública referente a las restricciones del uso del vehículo particular, y su impacto en el modelo de reparto modal
  - Efectos en la captación modal a la PLM por la variable confort en el reparto modal, disminuyendo su porcentaje de captación.
- Revisar y ampliar el análisis de la forma en que se aplicó la variable confort estimada a través de las encuestas de preferencia declarada, para que esta variable corresponda al diseño operacional (confort alto 4 pax/m<sup>2</sup>, bajo 6 pax/m<sup>2</sup>), y ajuste los costos correspondientes.
- Verificar y ampliar el análisis de los arcos de trasbordos, y tratamientos de los trasbordos en los nodos más importantes, incluyendo valores de tiempos de caminata, espera y penalización por trasbordo. Esto de manera particular para las estaciones que tengan separaciones físicas que impliquen caminatas superiores a 50 metros entre modos.
- Revisar y comparar cómo las matrices de viajes que salen del modelo de reparto modal son equivalentes a lo que asigna el modelo de asignación, respecto al tratamiento independiente de la penalidad simple al trasbordo, y si está o no "incluida" en el costo generalizado en la penalidad a la espera y al acceso.
- Verificar y ampliar el análisis cómo se realizó la expansión al año, basado en la demanda diaria.
- Verificar cómo se aplicó el factor  $\mu$ , y documentarlo.
- Revisar la afectación que tiene sobre la demanda captada por la PLM cuando el diseño geométrico obliga a reducir la velocidad, por debajo de la velocidad comercial con la que se realizó el diseño operacional.
- Desarrollar y documentar en los informes la justificación por la cual el impacto del modo taxi no está contemplado en el modelo de demanda.
- Presentar los perfiles de carga para los para cada una de las líneas de la Red A' siendo la PLM.
- Presentar los perfiles de carga para los corredores de TransMilenio con y sin la PLM, para cada una de las líneas de la Red A' siendo la PLM.

(Este capítulo se completa con la nota técnica MB-GC-NT-033)

## 2.1 Análisis de sensibilidad de la demanda de pasajeros

En este sentido, los validadores han solicitado la realización de una serie de análisis de sensibilidad mediante el establecimiento de tres nuevos escenarios, modificando las variables siguientes:

- Consideración de la calidad del modo metro. Se han establecido tres niveles (actual, igual que TM y un 50% más de TM)
- Consideración del efecto de taxi en la parte no introducida en el modelo. Se han considerado dos niveles (incorporar efecto, no incorporar efecto)
- Consideración del efecto de la motocicleta. Se han considerado dos niveles (incorporar efecto, no incorporar efecto)
- Consideración de Pico y Placa como en el año 2008 o en el año 2007

De esta forma, se han establecido los siguientes efectos para los tres escenarios a comparar:

		Base GC	Con PyP sólo HP	Con efecto taxi	Con efecto moto	Calidad
<b>Hora Punta</b>	<b>Viajes en TP</b>	763.991	763.991	757.031	740.907	763.991
	<b>Viajes en VP</b>	372.263	372.263	379.223	395.347	372.263
<b>Hora Valle</b>	<b>Viajes en TP</b>	326.053	318.966	321.375	310.536	326.053
	<b>Viajes en VP</b>	237.821	244.908	242.499	253.338	237.821

*Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo EMME*

En consecuencia, se generan unas variaciones para cada modo y periodo que se resumen a continuación

		Base GC	Con PyP sólo HP	Con efecto taxi	Con efecto moto	Calidad
<b>Hora Punta</b>	<b>Viajes en TP</b>	100%	100%	99%	97%	100%
	<b>Viajes en VP</b>	100%	100%	102%	106%	100%
<b>Hora Valle</b>	<b>Viajes en TP</b>	100%	98%	99%	95%	100%
	<b>Viajes en VP</b>	100%	103%	102%	107%	100%

*Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo EMME*

De esta forma, se aprecia que según los datos disponibles por parte del grupo consultor, el efecto más significativo se deriva de la consideración de la moto, aunque el efecto sobre el total del Transporte Público no supera el 5% diario.



Así, los valores que se obtienen de la matriz de combinación de escenarios permite determinar los siguientes valores:

		<b>Moderado (Base GC)</b>	<b>Medio (Base GC, incorporando taxi, moto y calidad como TM)</b>	<b>Pesimista (Esc Medio y calidad penalizada por 0,5 de TM y Pico y placa sólo mañana)</b>
<b>Hora Punta</b>	<b>Viajes en TP</b>	763.991	733.947	733.947
	<b>Viajes en VP</b>	372.263	402.307	402.307
<b>Hora Valle</b>	<b>Viajes en TP</b>	326.053	305.858	298.771
	<b>Viajes en VP</b>	237.821	258.016	265.103

Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo EMME

Estos valores con relación al escenario base, son los siguientes:

		<b>Moderado (Base GC)</b>	<b>Medio (Base GC, incorporando taxi, moto y calidad como TM)</b>	<b>Pesimista (Esc Medio y calidad penalizada por 0,5 de TM y Pico y placa sólo mañana)</b>
<b>Hora Punta</b>	<b>Viajes en TP</b>	100%	96%	96%
	<b>Viajes en VP</b>	100%	108%	108%
<b>Hora Valle</b>	<b>Viajes en TP</b>	100%	94%	92%
	<b>Viajes en VP</b>	100%	108%	111%

Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo EMME

De esta forma, los valores asignados obtenidos son los siguientes

		<b>Moderado</b>	<b>Medio</b>	<b>Pesimista</b>
<b>Hora Punta</b>	<b>Abordajes en metro</b>	<b>80.109</b>	<b>74.346</b>	<b>72.726</b>
	<b>Abordajes en SITP</b>	1.211.015	1.142.918	1.142.623
<b>Hora Valle</b>	<b>Abordajes en metro</b>	<b>36.538</b>	<b>31.810</b>	<b>30.212</b>
	<b>Abordajes en SITP</b>	522613	445.887	429.327

Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo EMME



Lo que implica la siguiente elasticidad crecimiento de abordajes con crecimiento de demanda

		Moderado	Medio	Pesimista
<b>Hora Punta</b>	<b>Abordajes en metro</b>	1,00	1,83	2,34
	<b>Abordajes en SITP</b>	1,00	1,43	1,44
<b>Hora Valle</b>	<b>Abordajes en metro</b>	1,00	2,09	2,07
	<b>Abordajes en SITP</b>	1,00	2,37	2,13

Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo EMME

Los valores de este factor implican que se reducen los transbordos, lo que a criterio del GC es un buen comportamiento debido a que las condiciones de sensibilidad que se han establecido no deben aplicar igual a los usuarios con mejor accesibilidad al metro y al SITP

## 2.2 Análisis variable confort

La variable confort tiene una importancia vital en la calibración de los diferentes modos, de forma que ya clasifica por el factor de la calidad del modelo mejorado en su calibración. Sin embargo, con relación al metro, teniendo en cuenta el conjunto de las diferentes rutas de otros modos de transporte en relación al metro, el efecto es relativamente poco significativo para el sistema, aunque si es indicativo para la captación de metro, tal y como se observa en el apartado anterior entre los escenarios en Hora punta medio y pesimista, ya que la diferencia entre ambos escenarios es incrementar el desgaste de calidad en un 50%.

## 2.3 Análisis arcos de transbordo

Atendiendo la solicitud presentada por los miembros del equipo validador, el GC ha procedido a revisar los principales nodos en los cuales se observó que había un conflicto relacionado con los transbordos, de acuerdo con los resultados obtenidos del modelo.

En concreto la observación hacía referencia a la estación de San Victorino. Salvo el caso citado, haciendo la revisión se encontraron que los valores para el resto de los escenarios eran coherentes. No obstante, se apreció que posiblemente habría que añadir en torno a medio minuto como concepto de desplazamientos dentro del andén, modificación que se ha incluido en el modelo base.

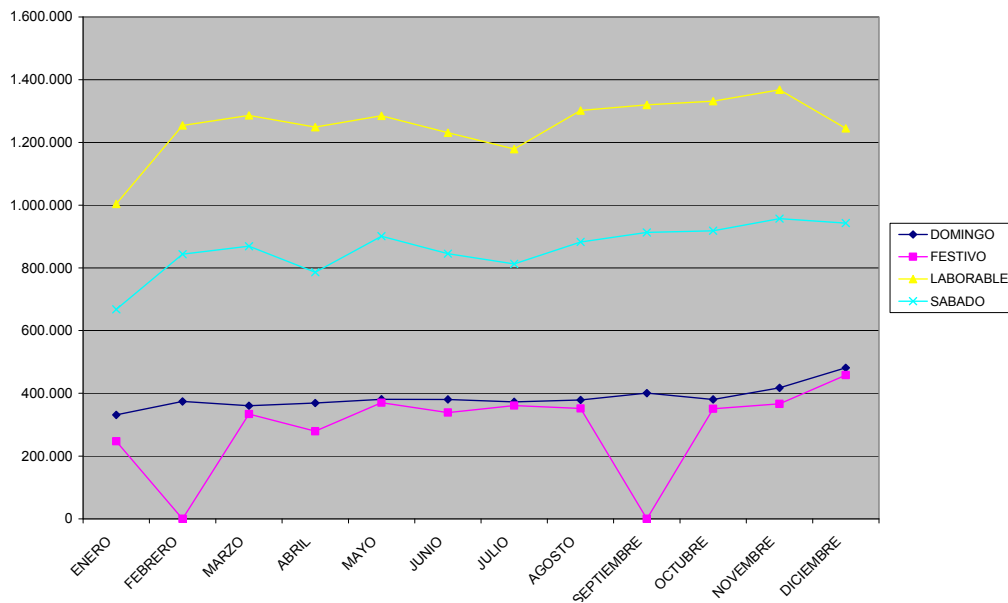
## 2.4



## 2.5 Expansión de demanda diaria a demanda anual

Con los datos diarios de demanda de TRANSMILENIO para 2008, se puede calcular el valor medio por día tipo.

**Figura 2-1. Supuestos para la Expansión de la Demanda diaria a Demanda Anual**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos TMSA 2008.

Con estos datos, la expansión de la demanda se puede calcular por dos vías:

- Cálculo por ratio de las medias de los días tipo
- Cálculo tomando un día tipo, obtenido a partir de la demanda en hora Pico y en Hora valle.

Dado que el modelo de transporte empleado arroja los resultados tanto en HP como en HV, el cálculo de la demanda diaria se realiza por esta última vía mediante la expresión:

$$\text{Demanda DÍA} = 6,11 \times (\text{Demanda HP}) + 6,94 \times (\text{Demanda HV})$$

Una vez se obtiene la demanda diaria, y tomando como base los perfiles anuales de carga analizados para Transmilenio para el año 2008, tal y como se ha presentado al principio del presente apartado, se hace la estimación de la demanda anual. Al tener toda la serie diaria anual y dado que la variación de la demanda a lo largo del año es relativamente pequeña, se asume que el día tipo recoge las variaciones de la misma a durante los 12 meses. Dicho lo anterior, la estimación anual de la demanda se calcula tomando los porcentajes obtenidos para cada día tipo los cuales se recogen en la siguiente tabla.

**Tabla 2-1 Día Tipo según perfiles de Transmilenio**

DIA TIPO	DEMANDA	% EXPANSION
Laborable	1254405,7	
Sábado	861646,1	0,687
Domingo	385731,8	0,308
Festivo	363056,6	0,289

Fuente: Elaboración propia a partir de datos TMSA 2008

Para una mayor facilidad en el tratamiento de los días sábado, domingo y festivo, se redondean los porcentajes de expansión al 70%, 30% y 30% respectivamente. Con estos porcentajes y teniendo en cuenta el calendario para el año 2008 se tiene una distribución de días tipo tal y como se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 2-2. Supuestos para la Expansión de la Demanda diaria a Demanda Anual**

Supuestos Año	Laborales	Sábados	Domingos	Festivos
		70%	30%	30%
365 días	247	52	52	14

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la función empleada para la obtención de la demanda anual de pasajeros se estima mediante la siguiente expresión:

$$\text{Demanda Año} = \text{Demanda laboral} \times 247 \text{ días} + \text{Demanda Sábado} \times 52 + \text{Demanda Domingos} \times 52 + \text{Demanda Festivo} \times 14$$

**Tabla 2-3. Resultados de demanda - Expansión de la Demanda diaria a Demanda Anual – Redes y Líneas de Red Seleccionada**

DEMANDA	Alternativa A	Alternativa A PRIMA	Alternativa C
Número total de viajeros en Metro (Hora pico)	362.720	267.927	297.590
Número total de viajeros en Metro (Hora Valle)	115.612	85.320	95.825
Número total de viajeros en Metro (día laboral)	3.018.566	2.229.155	2.483.300
Sábado (70% día laboral)	2.112.997	1.560.408	1.738.310
Domingo (30% día laboral)	905.570	668.746	744.990
Festivo (30% día laboral)	905.570	668.746	744.990
<b>Número total de viajeros en Metro (Anual)</b>	<b>915.229.357</b>	<b>675.879.726</b>	<b>752.936.681</b>



DEMANDA	Línea Roja	Línea Verde	Línea Azul	Línea Morada
Número total de viajeros en Metro (Hora pico)	60.771	44.933	57.999	42.169
Número total de viajeros en Metro (Hora Valle)	23.350	16.393	22.610	12.493
Número total de viajeros en Metro (día laboral)	533.360	388.308	511.287	344.354
Sábado (70% día laboral)	373.352	271.816	357.901	241.048
Domingo (30% día laboral)	160.008	116.492	153.386	103.306
Festivo (30% día laboral)	160.008	116.492	153.386	103.306
Número total de viajeros en Metro (Anual)	<b>161.714.694</b>	<b>117.735.001</b>	<b>155.022.306</b>	<b>104.408.136</b>

Fuente: Elaboración propia

## 2.6 Revisión factor $\mu$

### 2.6.1 Planteamiento Metodológico

El objetivo de este planteamiento metodológico es calibrar modelo de elección modal utilizando los datos de 2 campañas de encuestas diferentes. En el proceso de calibración se han utilizado las campañas de encuestas de Preferencias Declaradas realizadas en 2 periodos diferentes:

- Encuesta de preferencias declaradas (PD1) realizada en marzo -abril 09.
- Encuesta de preferencias declaradas (PD2) realizada agosto-septiembre 2009 que incorpora el confort como variable de elección, a diferencia de la primera campaña que no lo incorpora.

El principal problema a resolver en el uso de datos mixtos (Hensher et al, 1999) es el originado por la distinta naturaleza de los datos, que implica que los errores asociados a ambos tipos de información pueden ser diferentes. Ello repercute en que se dan distintos valores del parámetro  $\lambda$  ( $\lambda$  es un factor de

$$\lambda = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma}$$

escala relacionado con la varianza del término de error en los modelos de elección modal de tipo logit) de los modelos estimados con la campaña PD1 y de la campaña PD2, impidiendo una modelización conjunta de alternativas sin ningún tratamiento previo, puesto que viola las hipótesis de partida de los modelos logit multinomiales en los que se asume que los errores se distribuyen independiente e idénticos (IID) Gumbel con media cero y varianza  $\sigma^2$ . Si se asumiera igual error en ambas etapas se obtendría una funciones de utilidad falseadas = pseudo utilidades. En este sentido, Ben Akiva y Morikawa (1990) propusieron la introducción de un factor de escala, que permite igualar las varianzas de sus errores bajo la hipótesis de que las diferencias entre los errores de las diferentes fuentes de datos, en este caso las campañas PD1 y PD2, se traduce en un distinto nivel de ruido. En este caso, esa diferenciación entre ambos errores estaría dado por:

$$\mu^2 = \frac{\sigma_{PD1}^2}{\sigma_{PD2}^2} \quad (1)$$

donde  $\mu$  y  $\sigma$  son las varianzas de los errores asociados a los datos de la PD1 y PD2, respectivamente.

Esto origina las siguientes funciones de utilidad para cada alternativa para el uso de las dos campañas de PD (PD1 y PD2):

$$(1)$$

$$(2)$$

donde  $\mu$  representa el coeficiente de escala, y  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\theta$  los parámetros a estimar.  $X_i^{PD1}$  representan los atributos comunes en PD1 y que también están en la utilidad de las alternativas PD2 como  $X_i^{PD2}$ , mientras que  $Y_i^{PD1}$  y  $Z_i^{PD2}$  representan atributos específicos de las alternativas PD1 en el caso de los primeros y PD2 en el caso de los segundos.

La especificación de qué variables o atributos son genéricos o específicos, ha venido dada, por la comparación entre modelos con datos PD1 y PD2 de forma independiente.

Para la estimación de este tipo de modelos con Datos Mixtos se sigue la metodología de estimación simultánea propuesta por Bradley y Daly (1997) a través de una aproximación logit jerárquica y la construcción de árboles artificiales de elección.

Una vez estimado el modelo, se construye para las alternativas definidas una función de utilidad híbrida que incluye a los atributos comunes y no comunes debidamente escalados por el factor  $\mu$ . (Louviere et al, 2000, Hensher et al, 2005).

## 2.6.2 Aplicación de la metodología al modelo de predicción de la elección modal.

La aplicación del planteamiento metodológico expuesto, se traduce en asumir las siguientes funciones de utilidad de cada una en cada una de las campañas de encuestas:

$$(3)$$

$$(4)$$

De esta forma las variables comunes en ambas campañas son ( ) y ( ) son:

- $T_{iq}$ : Tiempo de viaje del modo  $i$  (min);
- $Acc_{iq}$ : Tiempo de acceso del modo  $i$  (min)
- $Trans_{2,4q}$ : Número de transbordos.
- $C_{iq}$ : Costo del modo  $i$  (\$)
- $No\_Autos_q$ : es el número de autos en el hogar del individuo  $q$ .
- $\delta_i$  = Variable muda que toma el valor de 1 para el modo  $i$ , cero para los restantes modos.

Siendo las variables específicas de la campaña PD2 y que no están en la campaña PD1:

- ConfB: Variable muda que toma el valor de 1 si el confort es bajo, cero en otro caso.
- ConfM: Variable muda que toma el valor de 1 si el confort es medio, cero en otro caso. Puede notarse que para este esquema de modelación se tomó como referente el nivel de confort alto.

Por tanto, tal y como se refleja en el planteamiento metodológico, todas las variables toman como valor el parámetro resultante de la calibración excepto la variable confort, que siendo una variable específica de la encuesta PD2, para el modelo de predicción ha de tomar su valor escalado por el factor  $\mu$ . (Louviere et al, 2000, Hensher et al, 2005).

## 2.7 Afectación de la velocidad sobre demanda

Dado que el material rodante es una propuesta provisional y que el trazado de la línea es susceptible de modificaciones, se empleó para el diseño operacional una velocidad comercial de 30 Km/hr. <sup>1</sup>

Por otro lado en el modelo de transporte se ha utilizado como parámetro de explotación una velocidad comercial de 35km/hr, para la estimación de la demanda.

El trazado de la línea se ha diseñado para una velocidad máxima de 80 Km/h, considerando que se trata de una explotación metropolitana con interestaciones inferiores a los 2km. A partir de dicha distancia, del perfil tanto en planta como el longitudinal descritos en el trazado de la PLM, y de las curvas de velocidad del material rodante considerado, se obtienen las velocidades medias para cada una de las interestaciones, tal como se presenta en la tabla adjunta.

**Tabla 2-4 Velocidad media Interestaciones**

Nombre	Interdistancia (m)	Velocidad i
TINTAL		
PORTAL AMÉRICAS	820	30
CASABLANCA	765	26
VILLAVICENCIO	757	26
PALENQUE	858	30
KENNEDY	830	30
BOYACÁ	1059	39
1º DE MAYO	726	26
AV. 68	725	26
RIO FUCHA	1400	46
AC.6	1410	46
AC.13	1110	40
NQS	1390	46
AC.22 PALOQUEMAO	665	26
LA SABANA	1200	43

<sup>1</sup> La velocidad comercial de explotación en líneas de metro existentes se sitúa en el rango de 28 a 37 Km/hr.

Nombre	Interdistancia (m)	Velocidad i
SAN VICTORINO	1431	46
AC.19 AV. LIMA	676	26
LA REBECA	768	26
AC.34 PARQUE NACIONAL	933	34
AC.42 GRAN COLOMBIA	1047	38
MARLY	775	26
SANTO TOMÁS	658	26
PLAZA DE LOURDES	1001	37
AV. 72 CHILE	965	34
CALLE 85	1075	39
PARQUE 93	995	37
CALLE 100	839	26
USAQUÉN	1396	46
CALLE 127	1690	49

Fuente: Elaboración propia

De los datos anteriores se obtiene una velocidad media de 35 km/h y un tiempo de vuelta de 95 minutos. Estos valores son consistentes con los utilizados en el modelo para el cálculo de la demanda.

Así mismo el tiempo de vuelta es inferior al obtenido previamente en los productos de la Etapa 3, dado que la velocidad considerada era de 30 km/hr (parámetro considerado más conservador) y el cálculo actual la ha incrementado a 35 km/hr, esto implica pasar de un tiempo de vuelta de 110 min a 95 min en el escenario actual.

Teniendo en cuenta que el tiempo necesario para completar una vuelta es de 95 minutos a una velocidad media de 35 km/h, se requieren 30 trenes en el carrusel, cuya capacidad de transporte dependerá del número de coches de las composiciones según se refleja en la siguiente tabla.

**Tabla 2-5 Relación Capacidad del tren en HP**

Supuesto 6 personas por metro cuadrado (supuesto carga normal)				
Trenes que en hora punta pasan por una estación	Número de coches por tren	Capacidad por coche	Capacidad por tren	Capacidad de los 20 trenes en una hora
20	5	234	1171	23429
20	6	234	1406	28114
20	7	234	1640	32800
20	8	234	1874	37486

Fuente: Elaboración propia

De los datos anteriores, y considerando que la carga crítica de la PLM para el escenario base una vez realizados los ajustes descritos en los apartados anteriores asciende a 30.935 pax/hr- sentido en el tramo más cargado, se deduce que para hacer frente a la demanda de hora punta se requieren 7 coches por tren, en función de la carga aceptada. Dado que los volúmenes máximos de pasajeros en hora punta se

sitúan entre las estaciones de San Victorino/Lima y Plaza de Lourdes (8 de las 28 estaciones), se propone una composición de 7 coches por tren.

Con los datos anteriores, las necesidades de flota para la PLM serán de 30 trenes de 7 coches en hora punta. Además hará falta material rodante de reserva. Si se supone que el material de reserva está, según las explotaciones de referencia, alrededor del 10 % del número de trenes en servicio, se propone una flota adicional de 3 trenes de reserva (con la misma composición).

En definitiva, la PLM necesitará para su puesta en marcha una flota de 33 trenes de 7 coches cada tren.

## 2.8 Análisis del impacto del taxi y las motos en la demanda

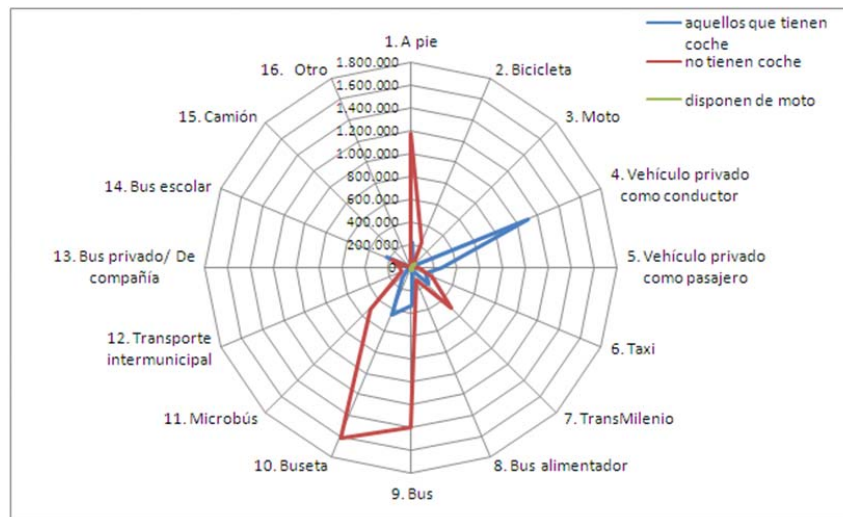
### 2.8.1 Taxis

La principal preocupación planteada por el Equipo Validador es la no consideración del Taxi en los hogares sin disponibilidad de coche puesto que el modelo los considera como cautivos de transporte público.

A este respecto el GC aclara que:

- El planteamiento del GC respecto al reparto modal en general y al uso del taxi como de transporte dentro del modelo en particular se justifica a partir del análisis realizado sobre la demanda observada en la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2005. Tomando como referencia esta fuente, el peso de la movilidad en taxi representa el 3.5% de la movilidad total.

**Figura 2-2. Volumen de viajes según modo de transporte y según disponibilidad de vehículos privados en el hogar.**



Fuente EDM05

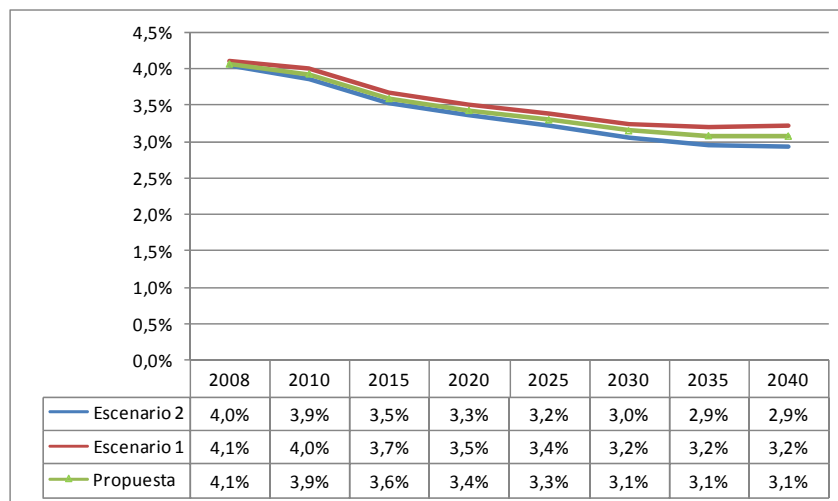
- Sin embargo, el GC considero importante el modo taxi en dos aspectos fundamentales
- En que aún sin realizar servicios, son vehículos flotantes en la red que afectan a la congestión de la ciudad. Por lo que la matriz de vehículo privado para el año base se ha calibrado incluyendo tanto vehículos privados como taxis.

- Que para aquellos que disponen de coche, ante medidas restrictivas como las de pico y placa, pueden ser usuarios potenciales de taxi y no ser captados por el transporte público, por lo que se decidió incluirlo en el árbol de decisión del segmento de población
- Se tomó como hipótesis en el modelo de reparto modal que los individuos de hogares sin disponibilidad de coche son cautivos del transporte público. Esta hipótesis asume que el volumen de personas de hogares sin disponibilidad de coche que usan en taxi se iba a mantener estable en los años horizontes. Según la EDM05, el peso de este segmento de demanda sobre la movilidad sobre la cual no se han establecido modelos de elección modal supone el 2% de la movilidad (puesto que del 3.5% de la movilidad total que usa taxi, sólo un 60% aproximadamente son personas de hogares sin disponibilidad de coche). Hay que decir que además en el momento en que se dispone de coche, ante el aumento de la motorización en los años horizontes, el peso de los usuarios sin disponibilidad de coche que usan taxi sobre el total de usuarios de taxi se iría reduciendo progresivamente. Ante este hecho se consideró que este segmento de demanda podría asumirse como estable a lo largo del tiempo.

Sin embargo, y ante los requerimientos de los validadores por incluir este segmento de demanda (individuos que usan taxi y no disponen de coche) se ha desarrollado el siguiente escenario bajo las siguientes hipótesis:

- Se toma como referencia el Informe “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” (Universidad de los Andes). En los escenarios previstos para la el “Gran Bogotá”.
- Se calcula, a partir de los datos aportados por el informe anteriormente citado, el peso que tiene la movilidad en taxi en los dos escenarios propuestos en dicho trabajo. Se propone tomar un promedio de ambos escenarios como referencia para este trabajo

**Figura 2-3. Hipótesis de peso de la movilidad en Taxi respecto a la movilidad mecanizada.**



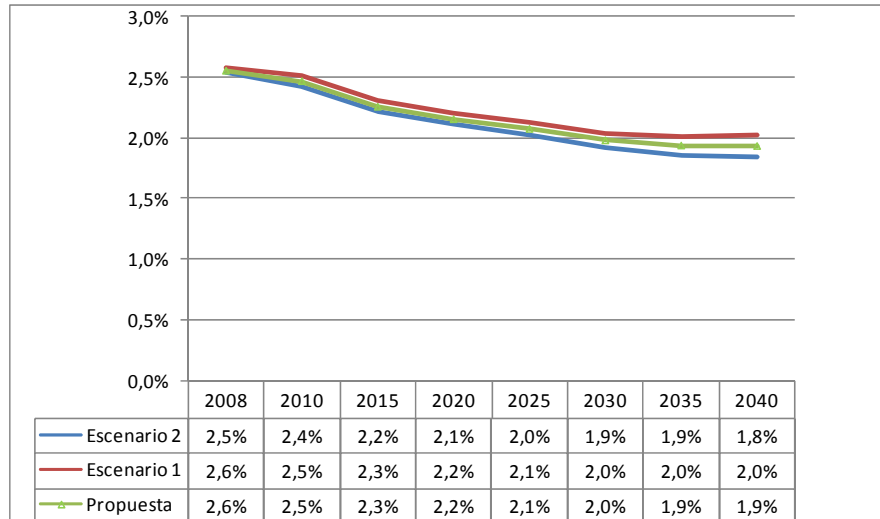
Fuente: Elaborado a partir de datos del estudio “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” (Universidad de los Andes).

- A partir de este dato se calculan los viajes en taxi que son de personas sin disponibilidad de coche en sus hogares. Para ello se parte de la proporción observada en la EDM05 (37% de los usuarios



son personas con disponibilidad de coche en sus hogares). Asumiendo que se porcentaje se mantiene constante a lo largo del tiempo, se obtiene el siguiente resultado

**Figura 2-4. Hipótesis sobre la proporción de viajes en Taxi sobre la movilidad de mecanizada realizada por individuos sin disponibilidad de coche en sus hogares**



Fuente EDM05

- A partir de este porcentaje se calculan los nuevos viajes en taxi realizados en los escenarios horizonte del estudio 2018, 2028 y 2038 (por interpolación) respecto a los realizados en 2008. Este incremento de viajes serán los que hay que descontar respecto de la matriz de transporte público obtenida del modelo del Grupo Consultor.

## 2.8.2 Motos

La principal preocupación planteada por el Equipo Validador es la no consideración de la moto como alternativa al transporte público. De la misma manera que en el Taxi, el planteamiento del GC respecto al reparto modal en general y al uso de la moto como de transporte dentro del modelo en particular se justificó a partir del análisis realizado sobre la demanda observada en la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2005, en la cual la movilidad en moto tan sólo representa el 1% de la movilidad mecanizada de la ciudad. Además, al no tener otras fuentes de datos que sirvan de comparativa para obtener parámetros de movilidad en este tipo de vehículo, su inclusión en el modelo se consideró poco significativa.

Aun así el Equipo validador considera que la moto puede tener un papel relevante en el futuro porque ha de ser considerada como una opción para el transporte particular. Además considera que los usuarios de la moto son principalmente individuos usuarios del transporte público por lo que afectarían a la demanda estimada por el modelo del Grupo Consultor.

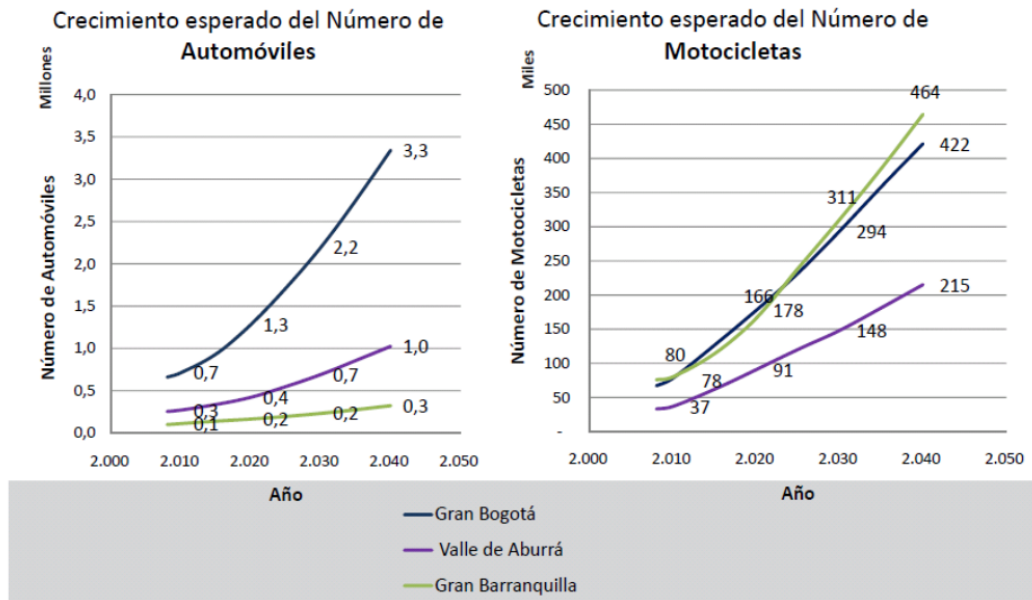
Como ya se ha comentado, el GC consideró el efecto de la moto como irrelevante (1% de la movilidad diaria). Por otro lado disiente respecto a los planteamientos del Equipo Validador respecto a que la variable única para la compra y uso de la motocicleta sea la económica. Hay que decir para la compra y

uso de la moto hay factores como la seguridad y accidentalidad (con diferentes efectos según género), climáticos, políticas impositivas, otros costes (por ejemplo: seguros de circulación), precio del combustible, etc. que son tanto o más influyentes que la propia variable de capacidad de compra. En todo caso, el GC entiende las aportaciones del Equipo Validador al respecto, sobretodo en unos escenarios de los recientes años en los que las ventas de motos han sido realmente importantes.

Es por ello que propone incluir un escenario de sensibilidad en el que se incorpore la moto como una alternativa más. Para incorporar esta opción se trabaja con las siguientes hipótesis:

- Se toma como referencia el crecimiento de motos y autos estimados en el “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” (Universidad de los Andes)

**Figura 2-5. Crecimiento de Automóviles y Motocicletas estimados para las zonas de Gran Bogotá, Valle de Aburrá y Gran Barranquilla.**

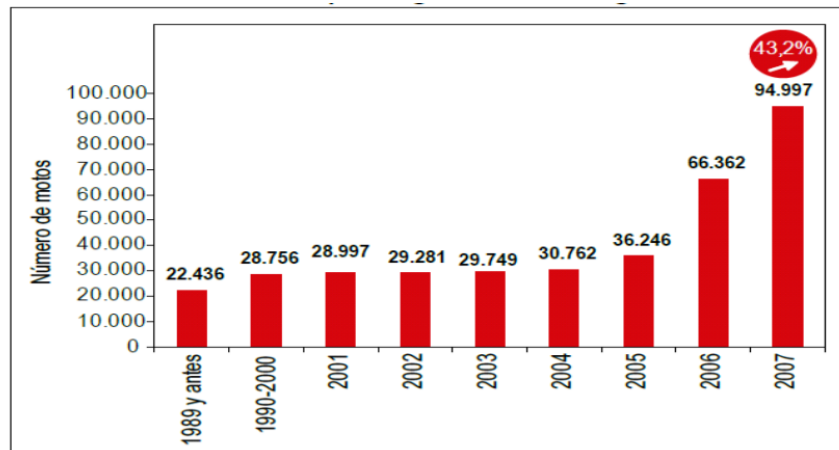


Fuente: “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” (Universidad de los Andes)

- A partir de este dato se obtiene el crecimiento relativo entre autos y motocicletas que se produce en el área de estudio (Gran Bogotá). Este crecimiento relativo permite para trasladar las proyecciones realizadas al modelo del Grupo Consultor y estimar así las motos disponibles atendiendo a las tasas de motorización estimadas por el GC en los escenarios futuros. Esta motorización servirá de referencia para la construcción de los escenarios de sensibilidad para el caso de las motos.
- Por otro lado se realiza una estimación del número de viajes que se realizan en moto por cada moto existente. Esta tasa de viajes permitirá estimar el volumen de viajes atendiendo al número de motos existente en el área de estudio. En este aspecto se observan bastantes discrepancias entre fuentes de datos. Por un lado la EDM detecta aproximadamente 72.000 viajes para un parque de motos cercano a 45.000 motos. Esto daría una tasa de generación de viajes de 1.7

viajes / moto. Sin embargo según el Observatorio de la Movilidad de Bogotá y la región (realizado por Cámara de Comercio y Universidad de los Andes) el parque de motocicletas ascendía a la cifra de 36.000 motos llegando a 95.000 en 2007. Esto implicaría un incremento de la tasa de viajes a 2 viajes/ moto en el año 2005. Esta misma fuente estima en un 3% la movilidad en moto para el año 2008 sobre los 12.200.000 viajes. Lo cual daría una tasa de movilidad por moto para el año 2008 de aproximadamente 3 viajes/moto. Por otro lado, el Informe “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” (Universidad de los Andes) asume como dato de partida para 2008 unas 80.000 motos en 2010 que generan 410.000 viajes mientras que en 2040 el parque de motos aumenta hasta las 422.000 motos generando 2.1 millones de viajes para el escenario 1 y 1.1 millones para el escenario 2. Esto significa en términos de tasas de generación de viajes por moto pasar de 5.13 viajes por moto en 2010 a 4.98 ó 2.61 para los escenarios 1 y 2 respectivamente en el 2040. Dada la gran disparidad de datos existente se asume como tasas de generación una tasa intermedia de 3 viajes/ moto, cercana a la apuntada por el Observatorio de la Movilidad de Bogotá y que se encuentra más o menos equidistante entre la movilidad que se observa en la EDM05 y la que se estima en el Informe “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040”. Esta tasa será referencia para plantear los escenarios de movilidad en moto.

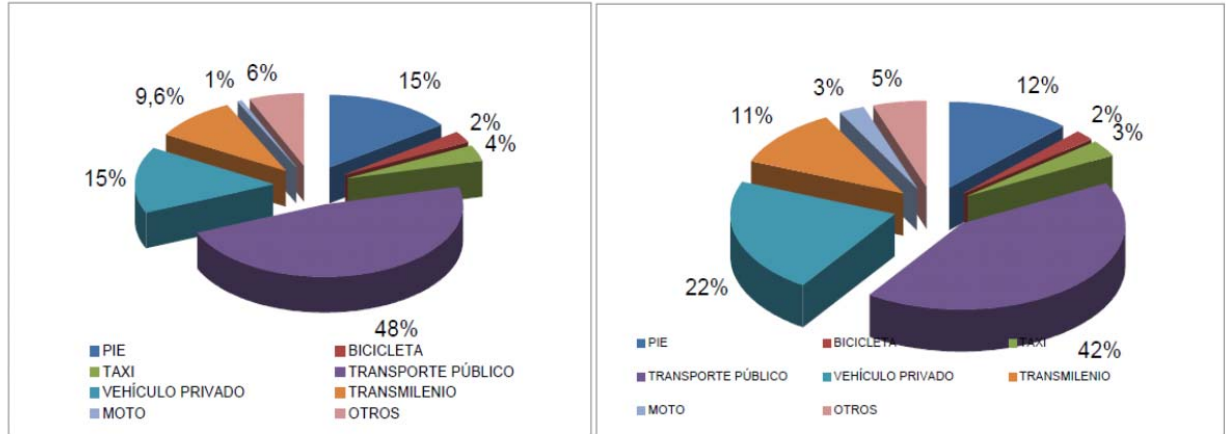
**Figura 2-6. Parque de motos en Bogotá.**



Elaborado por el Observatorio de Movilidad de Bogotá y la Región con base en cálculos propios y en datos suministrados por la Secretaría Distrital de Movilidad. 2007.

Fuente: Observatorio de Movilidad de Bogotá y la Región

**Figura 2-7. Porcentaje de viajes diarios en cada modo en Ben Bogotá.**



Fuente: Elaborado por el Observatorio de Movilidad de Bogotá y la Región con base en datos de la Secretaría de Movilidad, Encuesta de Movilidad 2005.

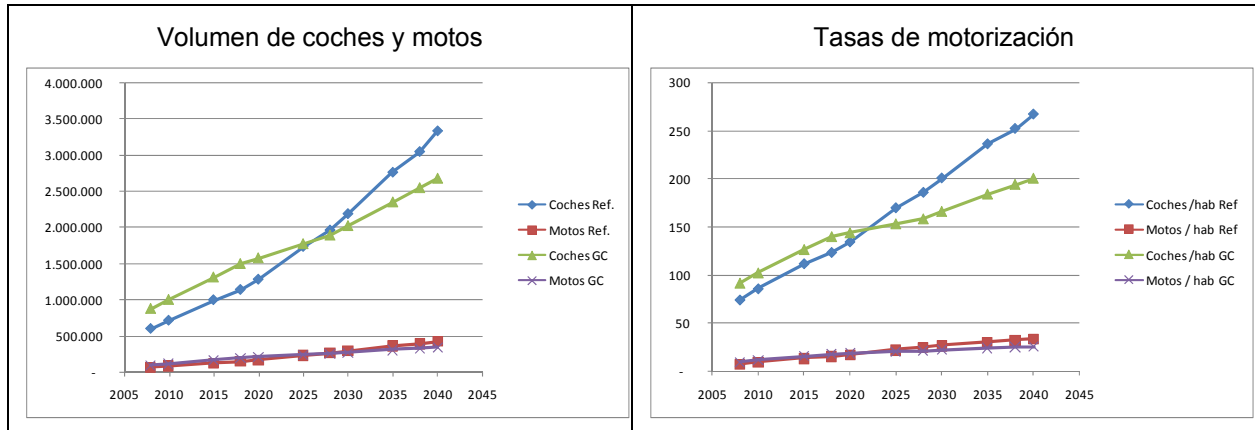
Fuente: Observatorio de Movilidad de Bogotá y la Región

Atendiendo a todo ello, se propone realizar 2 escenarios de crecimiento del uso de las motos en base al crecimiento al parque de motos del área de estudio y a la intensidad de uso.

– **Escenario de crecimiento alto.**

- Este escenario traslada los crecimientos estimados en el parque de motos por el informe “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” al modelo de motorización del GC según los criterios anteriormente mencionados. El resultado en cuanto al parque de motos en el área de estudio así como sobre las tasas de motorización se expresan en las siguientes figuras.

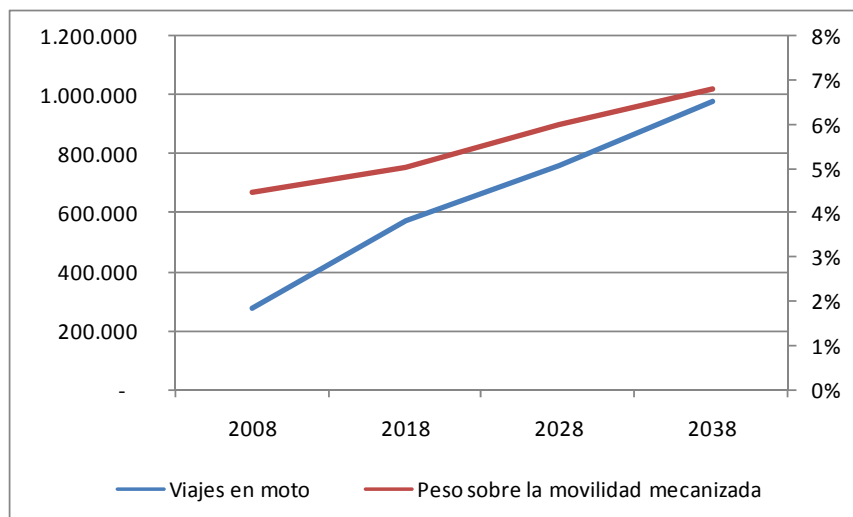
**Figura 2-8. Comparativa en los años horizonte según el documento de referencia “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” y los obtenidos por el GC para el escenario de crecimiento alto**



Fuente: Elaboración propia

- Por otro lado se propone utilizar la tasa de motorización propuesta de 3 viajes / moto como tasa promedio asumiendo que éstos viajes generados se hacían todos ellos en transporte público con anterioridad a disponer la moto como opción de transporte.
- Como resultado de estas hipótesis, se obtienen la siguiente evolución de los viajes en moto así como su peso sobre la movilidad total mecanizada.

**Figura 2-9. Volumen de viajes en moto obtenidos y peso sobre la movilidad total mecanizada en el área de estudio**

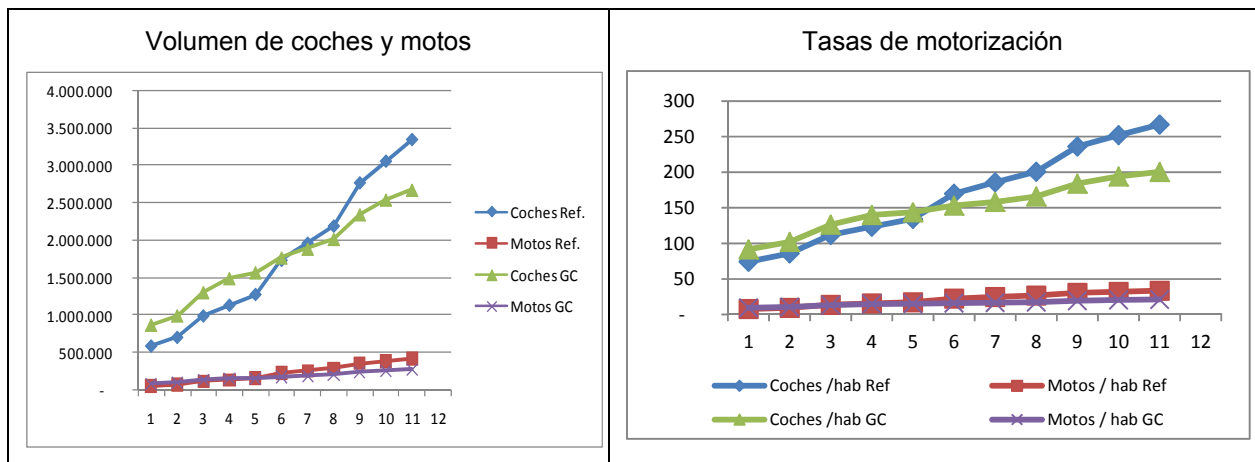


Fuente: Elaboración propia

– **Escenario de crecimiento más moderado:**

- Este escenario atiende, por un lado, a considerar que otras particularidades influyen sobre la decisión de comprar y usar una moto que la puramente económica de capacidad de compra como son las consideraciones sobre la percepción de seguridad y/o accidentalidad, el clima, políticas específicas de control del uso de la motocicleta, etc... proponiendo una tasa de crecimiento del parque de motos más moderado. Se asume para este escenario un crecimiento similar al previsto para el coche privado. El resultado se expresa en las figuras adjuntas.

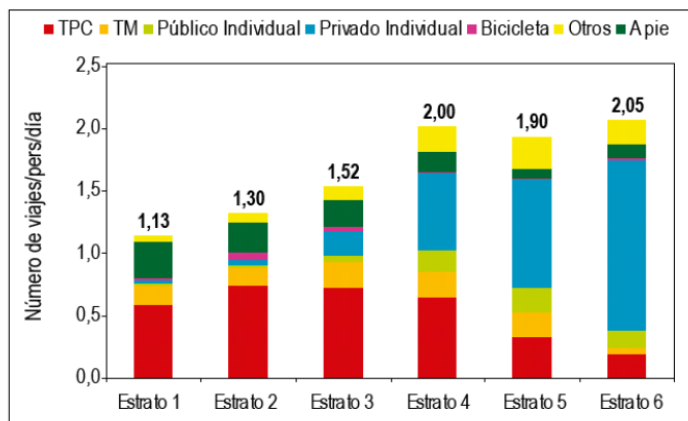
**Figura 2-10. Comparativa en los años horizonte según el documento de referencia “El transporte como soporte para el desarrollo de Colombia. Una visión 2040” y los obtenidos por el GC para el escenario de crecimiento moderado**



Fuente: *Elaboración propia*

- Y por otro lado, se toma como hipótesis de trabajo para este escenario considerar que hay un efecto de inducción en la movilidad derivado de la disposición de este modo de transporte. Esto es importante puesto que se quiere evaluar el efecto sobre la matriz de transporte público y el hecho de que el individuo, al adquirir una moto, realiza más desplazamientos que los que antes realizada en transporte público tiene consecuencias sobre el impacto sobre dicha matriz de demanda. Si bien los viajes las tasas generales de movilidad por estrato obtenidos en la EDM05 varía entre 1.13 para habitantes de estrato 1 y poco más de 2 viajes por habitante para estrato 6 (Fuente EDM05) este dato no es que intentamos representar en esta aproximación.

**Figura 2-11. Tasas de generación por modo y estrato. Fuente: Observatorio de la Movilidad en Bogotá y la Región**

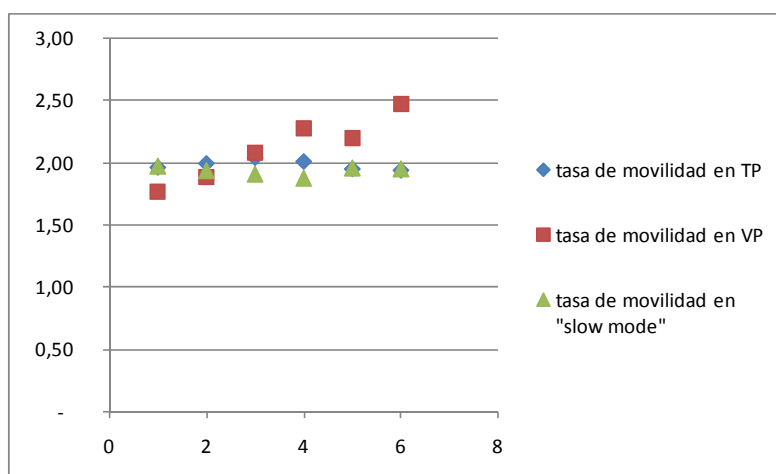


Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad, Encuesta de Movilidad. Año 2005.

Fuente: SDM

La hipótesis de trabajo es que individuos que utilizan el transporte público, una vez que adquieren una moto, dejan de usar el transporte público pasando íntegramente a ser usuario de moto. La cuestión es si realizan los mismos desplazamientos antes como individuos usuarios del transporte público o ahora como individuos usuarios de moto. Por tanto interesa conocer, no la tasa de generación de viajes por habitante, sino más bien la tasa de generación de viajes por habitantes que se desplaza que ha de ser superior a la anteriormente presentada. De esta forma podremos asumir y transformar los viajes que se generan en moto en los nuevos escenarios de motorización con los viajes que se realizaban en transporte público. Analizando desde esta perspectiva los viajes observados en la EDM05 se obtiene que los individuos que se desplazan, lo hacen según los siguientes ratios:

**Figura 2-12. Ratios de movilidad de individuos que se desplazan según la EDM05**

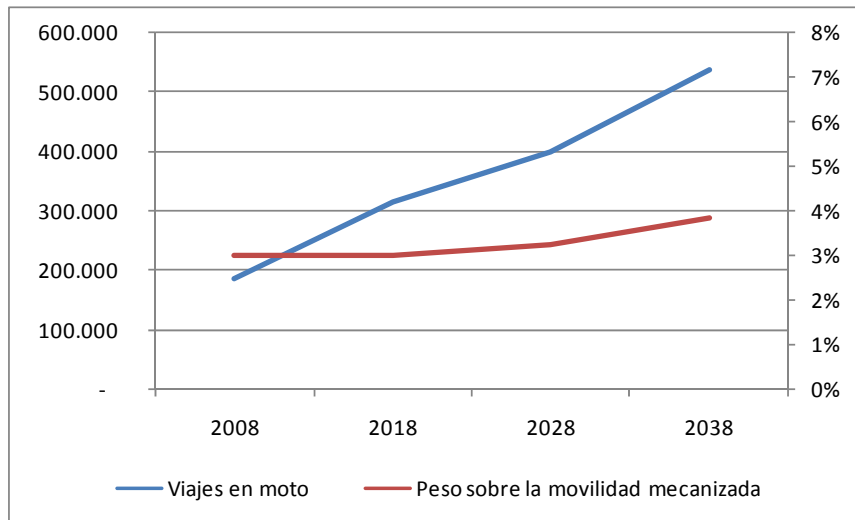


Fuente: Elaboración propia

Por tanto, para este escenario de movilidad de crecimiento moderado se asume que los individuos realmente no “restan” una tasa de movilidad de 3 viajes/ moto (asumiendo una tasa de ocupación de 1 individuo/moto), sino que lo hace en ratios de 2 viajes/moto.

El efecto sobre de estas hipótesis sobre el volumen de viajes en moto que han de ser compensados sobre la matriz de transporte público del modelo es el que se presenta a continuación en la figura adjunta.

**Figura 2-13. Volumen de viajes en moto equivalentes obtenidos y peso sobre la movilidad total mecanizada en el área de estudio para el escenario de crecimiento moderado**



Fuente: Elaboración propia



### 3 ANÁLISIS DE TARIFA

#### Análisis de Tarifa:

- Realizar un análisis de sensibilidad el cual varíe la demanda potencial de la PLM viendo su afectación en la tarifa del metro, y evaluando su impacto dentro del Sistema Integrado de Transporte Público—SITP.
- Realizar un análisis de sensibilidad, el cual varíe el reparto modal del SITP, viendo su afectación en la tarifa del metro, y en la caja de compensación total del sistema.
- Revisar el concepto de tarifa técnica que se define en el SITP versus el concepto de tarifa técnica que utiliza el GC ya que se vislumbran algunas diferencias, y adoptar lo estipulado en el SITP.
- Realizar un análisis de subsidios cruzados operacionales por modo, estableciendo el costo de operación y la tarifa al usuario para cada cadena de viaje, el número de cada una de estas cadenas, y la diferencia de costos a ser compensada.
- Revisar y ampliar el análisis del periodo de modelación de 5 años para la recuperación de costos de operación establecido en el modelo de tarifa por el GC, respecto a los 24 años de periodo para la recuperación de todos los costos en el modelo financiero del SITP, entendiendo que son modelos diferentes pero que deben tener componentes y elementos comunes.

#### 3.1

#### 3.2

#### 3.3 Revisión concepto tarifa técnica

Antes de comentar el uso de la Tarifa Técnica en el modelo de evaluación tarifaria, se presentan las más importantes generalidades sobre el modelo de evaluación de los escenarios de tarificación propuestos y sometidos a este proceso.

##### 3.3.1 Antecedentes y generalidades

Una parte del análisis de la Estructura Tarifaria, se realizó usando un procedimiento ad-hoc a través de la formulación y elaboración de un modelo diseñado en exclusiva por el GC para este propósito, y que ha sido denominado EVT-Bog09 (Modelo de evaluación de escenarios de tarificación – Bogotá 2009).

La información base considerada para el desarrollo del Producto 30 fue:

Evaluar a dos grandes escenarios (y sus alternativas) de tarificación ya planteados. Tales escenarios se definieron como la situación donde la ciudad de Bogotá no cuenta con un sistema férreo tipo metro, y la otra en donde entra en operación un sistema metro. A estos escenarios se los denominó:

- Sistema Tronco – alimentador sin Primera Línea de Metro (PLM)
- Sistema Tronco – alimentador con Primera Línea de Metro

Respecto a los esquemas tarifarios utilizados, se establecieron principalmente tres tipos, cada uno de ellos **POR CADENAS MODALES DE VIAJE**:

- Integrado para Sistema Tronco – alimentador sin PLM
- Integrado para Sistema Tronco – alimentador con PLM



- Integrado para Sistema Tronco – alimentador con PLM, Tarifa Plana

La implantación de los escenarios debe también considerar la implantación del Sistema Integral de Transporte Público, fundamentada en el decreto 309 de de julio de 2009.

- El propósito básico de EVT-Bog09, en este contexto:

El objetivo básico del presente modelo o esquema de evaluación es:

- Medir el impacto que la implantación del SITP en la ciudad de Bogotá, tiene la aplicación de nuevos sistemas integrados de tarificación, a través de diseño de un conjunto de escenarios que incluyen estrategias operacionales, financieras, de tarificación, y de gestión
- Ser conjuntamente con productos tales como el modelo financiero del metro (producto de futura etapa IV), una herramienta de que permita a las autoridades (cliente) disponer de un instrumento de ayuda en la toma de decisiones

Por lo que este instrumento no evalúa una tarifa en sí, evalúa un escenario de tarifas, en este caso integradas, que ingresan a EVT-BOg09 también como un input. Lo anterior de acuerdo a la descripción definida en el Decreto 309, artículo 19, literal e):

*“Integración tarifaria: Se entiende por integración tarifaria la definición y adopción de un esquema tarifario que permita a los usuarios del SITP la utilización de uno o más servicios de transporte, bajo un esquema de cobro diferenciado por tipo de servicio, con pagos adicionales por transbordo inferiores al primer cobro, válido en condiciones de viaje que estén dentro de un lapso de tiempo que se definirá en los estudios técnicos y el pliego de condiciones para las licitaciones de operación del SITP, y que considerará las características de longitud de viaje y velocidades de operación en la ciudad de Bogotá.”*

### **3.3.2 La Tarifa Técnica**

El uso de la expresión Tarifa Técnica no aparece en los Términos de Referencia del proyecto, y por tanto, ello no sujeta a la evaluación tarifaria al uso de este concepto.

No así el caso del Decreto N° 309 de Julio de 2009, en relación a “la Adopción de un Sistema Integrado de Transporte Público para Bogotá, D.C.”, que hace explícito esta definición en su artículo 20:

*“Tarifa Técnica y Tarifa al Usuario. Se define la Tarifa Técnica del SITP como aquella que, dado un diseño operacional del SITP que busca satisfacer las necesidades de movilidad de los usuarios del transporte público bajo condiciones de eficiencia y estándares de calidad de servicio, indica el costo medio de operación y control por pasajero pago del Sistema; considerando para cada uno de los agentes prestadores de servicio que intervienen en dicha operación, una adecuada estructura de costos, y una rentabilidad razonable conforme a las condiciones definidas en los pliegos de condiciones.”*

Bajo la interpretación que se da a este artículo, la Tarifa Técnica, tal como se expresa, indica el “costo medio de operación”.

En cuanto a los lineamientos que se estipulan en el Decreto 309 de 2009 para la determinación de la tarifa SITP, se tiene en el artículo 21:

*“21.1. Costeabilidad: El modelo tarifario del SITP considerará la capacidad de pago promedio de los usuarios.*

*21.2. Equilibrio: La tarifa técnica del SITP reflejará permanentemente el monto necesario para remunerar los costos de operación que se le imputen en el diseño financiero y garantizará la eficiencia del Sistema.*

*21.3. Sostenibilidad: El diseño tarifario garantizará la sostenibilidad financiera del Sistema en el tiempo, obedeciendo los principios de costeabilidad y equilibrio antes enunciados. En todo caso, el modelo financiero del SITP deberá remunerar la totalidad de los costos operacionales en condiciones de eficiencia y equilibrio.*

21.4. Integración: El diseño tarifario del SITP integrará los costos de los servicios que se incorporen al Sistema Integrado de Transporte Público en la ciudad de Bogotá D.C., y estará abierto a su integración con sistemas de transporte de pasajeros intermunicipales.”

En estricta sujeción a los explícitos lineamientos mencionados con anterioridad, por el momento existen dos interpretaciones a la formulación de la tarifa técnica. La formulada por TransMilenio y la formulada en el modelo EVT-Bog09.

**Formulación TransMilenio:**

La primera aproximación al concepto de tarifa técnica del Decreto 309, proviene del modelo utilizado por TransMilenio, que al ampliar su uso con nuevos operadores ha sido formulado funcionalmente en los siguientes términos:

$$TT_{SITP} = \frac{\begin{matrix} \text{TRANSMILENIO-} \\ \text{TRONCAL CONTRATOS ACTUALES} \end{matrix} \left[ (TT_{TM} \times PP_{TM}) - \sum DctosTM - RTM_i \right] + \begin{matrix} \text{TRONCAL} \\ \text{CONTRATOS} \\ \text{NUEVOS} \end{matrix} \left( \sum_i RT_i \right) + \begin{matrix} \text{SERV.} \\ \text{ZONAL} \end{matrix} \left( \sum_i RZ_i \right) + \begin{matrix} \text{SIRCI} \end{matrix} (RSIRCI) + \begin{matrix} \text{MODOS} \\ \text{FÉRREOS} \end{matrix} RMF + \begin{matrix} \text{ALIMENTACIÓN} \end{matrix} RA + \begin{matrix} \text{RECAUDO} \end{matrix} RR + \begin{matrix} \text{FIDUCIARIO} \end{matrix} RF_{SITP}}{(1 - \%G_{SITP}) \times PP_{SITP}}$$

Dónde:

- TTSITP: Tarifa Técnica SITP, la cual incluye el costo del subsistema TransMilenio
- TTTM: Tarifa Técnica del subsistema TransMilenio, calculada con las consideraciones antes mencionadas en cuanto a costo troncal, alimentación, % Fiducia y % Gestora.
- PPTM: Pasajeros Pagos subsistema TransMilenio. Entiéndase las validaciones de entrada en los portales y estaciones del Sistema TransMilenio.
- PPSITP: Pasajeros Pagos SITP. Entiéndase las validaciones de entrada en vehículos SITP, estaciones y portales del Sistema TransMilenio, con cobro efectivo. Así como los pasajeros del Subsistema Metro o del Tren de Cercanías en viaje urbano.
- DctosTM: Total de descuentos aprobados por los operadores troncales del Subsistema TransMilenio para pasajeros integrados SITP e intermunicipales.
- i: Subíndice que hace referencia a los operadores troncales y zonales SITP, incluyendo los concesionarios del SbTM que decidan acogerse a la estructura de tarifa técnica del SITP. Para que lo anterior sea válido en la operación troncal es necesario que todos los operadores troncales se acojan a la estructura de tarifa técnica del SITP.
- RTi: Remuneración por servicio troncal de los operadores SITP calculado conforme se defina en los contratos de concesión SITP, calculada con f(Q)Troncal =1,00
- RTTMi: Remuneración por servicio troncal de los operadores SITP calculado conforme se define en los actuales contratos de concesión de la operación troncal del Sistema TransMilenio. Para este cálculo debe transformarse inicialmente la oferta del concesionario de operación troncal SITP a una tarifa por kilómetro (tarifa troncal equivalente) para ser incorporada en la estructura de TTTM. Posteriormente, esta tarifa troncal equivalente se ajustará conforme se estipula el ajuste en el costo troncal en los contratos de concesión TM. Semanalmente se calculará una remuneración RTTMi igual a la tarifa troncal equivalente ajustada, multiplicada por el número de kilómetros recorridos por la flota del operador troncal SITP y el factor de corrección por velocidad AVi. La remuneración así calculada corresponde al costo implícito en TTTM y es el monto que debe retirarse del Fondo Principal TM al Fondo Principal SITP.



Se precisa que la remuneración real de la operación troncal SITP es igual a RTi multiplicada por f(Q)Troncal. La fórmula de equivalencia para transformar la remuneración mixta de la operación troncal SITP a una remuneración por kilometro es igual a:

$$RT \text{ Equiv} = \{ [TMVT / 6.700] + [OE_{\text{KmTronc}} \times TKMT] \}$$

- RZi: Remuneración por servicio zonal que incluye los servicios de alimentación SITP, calculada con f(Q)Zonal =1,00. Esta remuneración incluye lo que debe remunerarse a los concesionarios de alimentación del actual SbTM que se acojan a la estructura de tarifa técnica SITP.
- RSIRCI: Remuneración al concesionario del SIRCI, calculada con f(Q)SIRCI =1,00
- RA: Esta remuneración incluye lo que debe remunerarse a los concesionarios de alimentación del actual SbTM que se acojan a la estructura de tarifa técnica SITP.
- RR: Esta remuneración incluye lo que debe remunerarse a los concesionarios de recaudo del actual SbTM que se acojan a la estructura de tarifa técnica SITP.
- RFSITP: Valor fijo semanal remunerado al administrador fiduciario del SITP.
- %GSITP: Participación del Gestor en los ingresos del SITP (% sobre TTSITP X PPSITP)
- RMF: Remuneración a los operadores de modo férreo imputable a los usuarios del SITP.

#### Análisis de Tarifa Técnica 1:

La fórmula de la tarifa técnica del SITP, ha sido desglosada en 8 bloques para observar mejor su diseño:

#### - BLOQUE 1:

#### TRANSMILENIO- TRONCAL CONTRATOS ACTUALES

$$\left[ (TT_{TM} \times PP_{TM}) - \sum DctosTM - RTTM_i \right]$$

#### BLOQUE 1: DETERMINA EL INGRESO DE TRANSMILENIO EN OPERACIONES

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD DE REFERENCIA
MULTIPLICA (*)	TT tm * PP tm	Ingresos totales de Tm
MENOS (-)	Descuento a pasaj	en valores monetarios
MENOS (-)	Remuneración a	valores monetarios
	oper. Troncal por k	por km- recorrido
IGUAL (=)	INGRESO DE TM EN OPERACIONES	
Comentarios: Es el único bloque que puede interpretarse como el costo de operación de Tm que ha sido calculado a través de los ingresos y en éstos se ha procedido a realizar las deducciones de los pasajeros que no pagan		



## - BLOQUE 2:

TRONCAL  
CONTRATOS  
NUEVOS

$$+ \left( \sum_i RT_i \right) +$$

**BLOQUE 2: DETERMINA LA REMUNERACIÓN DE NUEVOS OPERADORES TRONCALES**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD DE REFERENCIA
MAS (+)	SUMATORIA RTi	por km- recorrido

## - BLOQUE 3:

SERV.  
ZONAL

$$\left( \sum_i RZ_i \right) +$$

**BLOQUE 3: DETERMINA LA REMUNERACIÓN DE NUEVOS OPERADORES TRONCALES**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD
MAS (+)	SUMATORIA RZi	por km- recorrido
comentarios: la descripción en la nomenclatura no precisa si es sólo remunera al operador o a éste más la recuperación de su costo de operación aquí se asume que es a ambos		

## - BLOQUE 4:

SIRCI

$$(RSIRCI)$$

**BLOQUE 4: DETERMINA LA REMUNERACIÓN AL CONCESIONARIO DEL SIRCI**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD
MAS (+)	RSIRCI	por unidad de tiempo

## - BLOQUE 5:

MODOS  
FÉRREOS

$$+ RMF +$$

**BLOQUE 5: DETERMINA LA REMUNERACIÓN DE NUEVOS OPERADORES MODOS FÉRREO**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD
MAS (+)	RMF	por km- recorrido
comentarios: la descripción en la nomenclatura no precisa si es sólo remunera al operador o a éste más la recuperación de su costo de operación aquí se asume que es a ambos		

- BLOQUE 6:

**ALIMENTACIÓN**



**BLOQUE 6: DETERMINA LA REMUNERACIÓN ALIMENTADORES TRANSMILENIO**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD
MAS (+)	RA	por km y pasajero
comentarios: la descripción en la nomenclatura no precisa si es sólo remunera al operador o a éste más la recuperación de su costo de operación aquí se asume que es a ambos		

- BLOQUE 7:

**RECAUDO**



**BLOQUE 7: DETERMINA LA REMUNERACIÓN CONCESIONARIOS DE RECAUDO**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD
MAS (+)	RR	por tiempo

- BLOQUE 8:

**FIDUCIARIO**



**BLOQUE 8: DETERMINA LA REMUNERACIÓN A ADMINISTRADOR FIDUCIARIA**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD
MAS (+)	RF sitp	por tiempo (valor fijo semanal)

- BLOQUE 9: EL DENOMINADOR (LOS PASAJEROS DEL SITP QUE PAGAN)

$$(1 - \%G_{SITP}) \times PP_{SITP}$$

**BLOQUE 9: DEMOMINADOR (PASAJEROS NETOS - O QUE PAGAN SITP)**

OPERADOR	NOMENCLATURA	UNIDAD
DIVIDIDO	( 1- Gsitp) * PPsitp	En función del ingreso
Comentario: Al total de pasajeros servidos, la relación deduce:		
	total pasajeros movlizados	
menos	pasajeros que se deducen por concepto del pago del gestor	
=	pasajeros que pagan en el sistema	



Teniendo en cuenta las anteriores anotaciones y observaciones, se puede determinar la tarifa técnica del sistema usando la siguiente relación:

$$TT_{sitp} = \frac{\text{SUMA DE LOS BLOQUES 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}}{\text{pasajero sitp que pagan}}$$

TT<sub>sitp</sub> = tarifa técnica del SITP, es una tarifa promedia por pasajero que paga  
cometario: que el pasajero que paga subsidia al pasajero que no paga

De los términos de la función de la tarifa técnica del SITP, se puede observar que a excepción del pago al operador actual TransMilenio, el cual está en función a los ingresos, todos los demás son costos o gastos del sistema.

Los términos de la función Tarifa Técnica del SITP son ordenados a continuación para poder compararlos con los usados en EVT-Bog09.

**Tabla 3-1 Comparación entre los diseños de tarifa técnica: formulación TransMilenio y EVT-Bog09**

Formulación TransMilenio			Formulación EVT-Bog09		
COSTOS TOTALES DEL SISTEMA	OPERADOR MATEMÁTICO	MODELO TRANSMILENIO	COSTOS TOTALES DEL SISTEMA	OPERADOR MATEMÁTICO	MODELO EVT-Bog09
BLOQUE A:			BLOQUE A:		
OPERADORES Y MODOS	+	TRONCAL ACTUAL	OPERADORES Y MODOS	+	TRONCAL ACTUAL
	+	TRONCAL NUEVO		+	TRONCAL NUEVO
	+	SERVICIO ZONAL		+	SERVICIO ZONAL
	+	ALIMENTADOR		+	ALIMENTADOR
	+	FERREO		+	FERREO
BLOQUE B:			BLOQUE B:		
SERVICIOS CONEXOS	+	SIRCI	SERVICIOS CONEXOS	+	SIRCI
	+	RECAUDO		+	RECAUDO
	+	FIDUCIARIO		+	FIDUCIARIO
	+	ENTE GESTOR		+	ENTE GESTOR
BLOQUE C:			BLOQUE C:		
SUMATORIA BLOQUE (A+ B)		TOTAL DE COSTOS Y GASTOS	SUMATORIA BLOQUE (A+ B)		TOTAL DE COSTOS Y GASTOS
BLOQUE D:			BLOQUE D:		
TOTAL PASAJEROS PAGOS DEL SITP			DETERMINA LAS LONGITUDES DE VIAJE POR TIPO DE CADENA		
BLOQUE E:			DETERMINA LOS PASAJEROS POR TIPO DE VIAJE		
TARIFA TÉCNICA DEL SITP	BLOQUE (C / D) tarifa promedia del sistema		TARIFA TÉCNICA DEL SITP	DETERMINA TARIFAS TÉCNICAS PROMEDIADAS POR TIPO DE VIAJE	
			Tari Téc Viaje =	costo kilómetro pasajero * longitud viaje	

Fuente: elaboración propia

### 3.3.3 Similitudes y diferencias de las tarifas técnicas

- De la información procesada anteriormente se desprende que tanto los modelos de TransMilenio y de EVT-Bog09, se ajustan a los lineamientos del Decreto 309 en forma general, y en específico, en cuanto a la determinación de lo que se denomina tarifa técnica. Es decir, aquella que debe cubrir los costos medios de operación.
- La tarifa técnica de TransMilenio es una tarifa promedio del sistema por pasajero que paga. Bajo cierta óptica, se constituye en una tarifa técnica plana. El basamento principal viene a



constituirse los costos y gastos del sistema. De esta manera no se puede analizar con facilidad las estructuras tarifarias sometidas a evaluación en el P30.

- La tarifa técnica de EVT-Bog09 es una tarifa promedio por tipo de viaje (Directo, 1 transbordo; 2 transbordos y 3 + transbordos), congruente con las estructuras tarifarias propuestas en los escenarios a evaluar. Su basamento principal, al igual que el del SITP propuesta por TransMilenio, se basa en la recuperación total de los costos y gastos del sistema.
  - La diferencia está en que los pasajeros que considera la tarifa técnica del SITP propuesta por TransMilenio, elimina o deduce del total, todos aquellos que no pagan tarifa, y de igual manera reduce los pasajeros que pagan por concepto de pagos al Ente Gestor del sistema. Esto de entrada ya significa que los usuarios que pagan tarifas subsidian a aquellos usuarios que no pagan, pero que viajan.
  - La tarifa técnica del SITP, hace uso de todos los pasajeros que usan el sistema independiente de si pagan o no una tarifa. Bajo el razonamiento que todo usuario que usa el sistema, tiene un costo para el mismo. Independiente de si el paga una tarifa o viaja exonerado.
- La función de la tarifa técnica de TransMilenio (expresada como tal), solamente se limita a calcular la tarifa, mientras que EVT-Bog09, es un modelo cuyo propósito es evaluar escenarios de tarificación y por tanto no de diseñar tarifas. Sin embargo, para poder evaluar las cadenas tarifarias, fue necesario determinar un procedimiento para calcular las tarifas técnicas.
- De lo expuesto hasta este momento, el procedimiento que contiene EVT-Bog09 es idóneo para el propósito de la evaluación, y como se ha observado, cumple al igual que la tarifa técnica del SITP TransMilenio, con los lineamientos del Decreto 309.
- La tarifa técnica del SITP en base a la formulación de TransMilenio, es una tarifa de tipo operativa, es decir que ya este procedimiento ha estado en vigencia, razón por la que cuenta con ciertas especificidades propias del sistema.
  - La tarifa técnica del EVT-Bog09, es diseñada con propósitos estratégicos que permitan evaluar escenarios futuros.
  - Para el caso de la tarifa técnica TransMilenio, se puede asumir que cada año, la tarifa técnica es nivelada a los nuevos costos y gastos de operación estimados para cada año. En el caso de la tarifa técnica de EVT-Bog09, se ha utilizado un procedimiento denominado tarifa VAN, que es aquella que hace que los ingresos y los costos se igualen (hacen VAN =0) en el período que se analiza.

**CONCLUSIÓN:** Se puede concluir que el uso de la tarifa técnica tanto en la formulación del SITP TransMilenio y de EVT-Bog09, se soportan totalmente en el concepto de tarifas técnica establecida en el decreto 309. Y sus diferencias han sido ampliamente explicadas. Por lo que el uso del concepto de tarifa técnica en EVT-Bog09, está dentro de los parámetros establecidos como lógicos para el desarrollo del tema: evaluar escenarios de tarificación. Y a excepción de lo comentado es similar al uso de la tarifa técnica en SITP formulado por TransMilenio.



### 3.4

### 3.5 Revisión del periodo de evaluación tarifaria

#### 3.5.1 Generalidades

El objetivo principal del Producto 30 fue el de realizar una evaluación a una posible política tarifaria, en el marco de unas estrategias definidas, un contexto espacial determinado, y unos actores predeterminados. Para ello se desarrollaron una serie de escenarios, en donde se definió, además de una serie de parámetros macroeconómicos y supuestos operacionales, la entrada en operación total del modo metro en el año 2018, analizándose el impacto que esta situación traería, en términos de costos e ingresos, para todo el Sistema Integrado de Transporte Público – SITP- de Bogotá.

Al tratarse de una evaluación a una política tarifaria, los intereses y objetivos a evaluar difieren de aquellos que se proponen para otro tipo de evaluaciones, como pueden ser las destinadas a evaluar inversiones. Entre otros aspectos, una de las diferencias importantes que se destacan entre estos tipos de evaluaciones, y en especial con el análisis tarifario, es el periodo de evaluación del proyecto. En general, y con algunas excepciones, los análisis económicos y financieros utilizan periodos de tiempo para la evaluación mayores a los 15 años, e incluso 25 años o más, cuando se trata de inversiones en infraestructura. Pero el caso aquí es la evaluación de una política tarifaria, por “regla general”, los periodos de evaluación son menores a los aplicados en inversiones, en general, incluso pudiendo ser menores a un año esto es mes a mes. Estas evaluaciones tarifarias deben actualizarse permanentemente para detectar posibles cambios significativos y/o tendencias no deseadas. Esto se debe principalmente a que las políticas tarifarias hacia los usuarios varían constantemente, dependiendo de situaciones coyunturales de índole social, político y económico.

En tal sentido, uno de los aspectos que más influye en el análisis tarifario, es la política de alza a la tarifa usuario de un determinado modo o sistema de transporte público. Debido a que este aspecto juega un papel significativo en la política pública de los administradores públicos, la definición de un alza no siempre está ligada a un aspecto técnico, sino más bien político. Por esta razón, y dada la alta variabilidad en este aspecto político, la evaluación tarifaria de un proyecto debe realizarse en periodos relativamente cortos, donde se permita al tomador de decisiones y a los demás interesados, examinar situaciones lo más cercanas a la realidad como sea posible.

Al no tratarse de un modelo de evaluación de inversiones, en donde se requieren periodos de evaluación extensos en el tiempo, y cuya evaluación se contempla en el cronograma del proyecto metro en una futura Etapa IV, la evaluación a la aplicación de una posible política tarifaria en la ciudad de Bogotá, no debe superar un periodo de tiempo máximo de 10 años, siendo este periodo excesivamente alto, pero que el Grupo Consultor ha realizado por peticiones expresas del grupo técnico del Distrito, y teniendo en cuenta que se está en una etapa de conceptualización y factibilidad del proyecto.

#### 3.5.2 Supuestos utilizados en la evaluación

Para el desarrollo de la evaluación tarifaria, el Grupo Consultor ha utilizado desde un principio una serie de supuestos que han estado en línea con aquellos que utiliza el modelo financiero que elaboró el equipo técnico del SITP, para las condiciones del momento, y con las disposiciones y lineamientos descritos en el Decreto 309 de Julio de 2009, así como con los Términos de Referencia disponibles para la concesión zonal del servicio de transporte público zonal en Bogotá. Parte de los supuestos que se han utilizado a lo largo de la elaboración de la evaluación tarifaria, tienen implícita en su conceptualización, e incluso valoración, el término tiempo (temporalidad), ajustado a las características y particularidades de cada caso específico, como se describirá a continuación:

##### a. Costos operacionales

Dentro del aparte de costos y gastos del sistema integrado de transporte público de Bogotá, los costos operacionales del parque automotor juegan un papel fundamental como peso dentro del total de costos y

gastos del sistema. Los costos operacionales de cada tipo de vehículo (autobuses) utilizados en la evaluación tarifaria del P30, fueron suministrados por el equipo técnico del SITP, bajo el entendido que estos costos fueron los utilizados por dicho equipo para el modelo financiero que se tiene, el cual está definido para un periodo de análisis de 24 años. En tal sentido, estos costos operacionales reflejan de manera implícita la temporalidad para 24 años, a través de componentes específicos, como son las amortizaciones, los costos financieros, y el mantenimiento.

**Tabla 3-2 Costos operacionales (autobuses) utilizados en el Producto 30**

Modo	\$/km Directos.	\$/km Indirectos	\$/km Total
Padrón	2,128	317	2,445
Busetón	1,704	317	2,022
Buseta	1,544	317	1,861
Microbús	1,568	317	1,885
Articulado	3,177	317	3,494
Biarticulado	3,700	317	4,017

*Fuente: equipo técnico SITP*

Estos costos operacionales (autobuses), incluyen los siguientes componentes:

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Costos directos           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal</li> <li>• Combustibles</li> <li>• Lubricantes</li> <li>• Llantas</li> <li>• Repuestos</li> <li>• Seguros vehiculares</li> <li>• Impuestos de rodamiento</li> <li>• SOAT</li> <li>• Depreciaciones</li> <li>• Otros costos de operación</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Costos indirectos           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alquiler y mantenimiento de patios</li> <li>• Centro de control</li> <li>• Gastos fiduciarios</li> <li>• Seguros contractuales</li> <li>• Impuestos</li> <li>• Depreciación patios</li> <li>• Amortización preoperativos y flota no utilizada</li> <li>• Gastos financieros</li> </ul> </li> </ul> |
|---|--|

Como se observa en la anterior estructura de costos, el costo por kilómetro de cada tipo de vehículo incluye el valor de la amortización. La amortización de los vehículos que operarán en el SITP está ligada directamente a la vida útil de los mismos, la cual se definió, según los TdR de la concesión zonal para la operación, en 12 años. En tal sentido, en el modelo de evaluación tarifario desarrollado por el GC, está implícita la temporalidad de la amortización de los costos de inversión de capital que se incurren dentro del sistema.

Para el caso de los costos de amortización del modo metro, estos se han calculado teniendo en cuenta una vida útil de 25 años (depreciación lineal anualizada), y el número de coche-km recorridos al año. Con estos parámetros, cada coche-km recorrido de metro incluye el valor de la amortización del material rodante, sin importar el periodo de evaluación tarifario que se seleccione.



Entendido lo anterior, el periodo de análisis que se defina para la evaluación tarifaria siempre tendrá en cuenta la temporalidad de los costos de amortización a través del costo por km recorrido de cada tipo de vehículo (incluido el modo metro), con lo cual los supuestos utilizados por el GC para la evaluación tarifaria, y el esquema del SITP, son afines entre sí.

Al igual que en el caso de la amortización, los costos financieros del SITP, cuya temporalidad es importante para efectos del análisis, han sido parametrizados utilizando la unidad de producción veh-km (coche-km para el modo metro en los escenarios que se incluye este costo) recorridos, por cada modo. Por lo tanto, y de la misma manera como se ha descrito anteriormente, para un periodo de evaluación específico, los costos que se calculen para un modo determinado por concepto de financiación, serán sólo aquellos que corresponde a ese periodo específico de evaluación, y no al periodo de financiación.

#### b. Remuneración

La remuneración al operador del servicio, aunque no se incluye en los costos operacionales suministrados por el equipo del SITP, ya que este valor será determinado por cada oferente al momento de presentarse a la licitación (incluido en la tarifa técnica ofertada), también contiene implícito el factor temporalidad para su cálculo. Tal y como se presenta en el numeral 5.2 de la Revisión 4 del Producto 30, la estimación de la remuneración anual a cada operador involucrado en el SITP implica de manera directa la utilización de la vida útil del parque automotor, y del material rodante.

En tal sentido, al igual que en el modelo del SITP, la vida útil de los vehículos utilizada para la estimación de la remuneración es la misma, es decir, 12 años para los autobuses. La utilización de los doce años para la estimación de dicha remuneración, de ninguna manera implica que al realizarse una evaluación tarifaria en un periodo de 5 años, se estén cargando los costos de remuneración de los 12 años, en el periodo de evaluación de 5 años, por ejemplo.

#### c. Reposición de flota

Para efectos del modelo de evaluación de tarifas EVT-Bog09, la compra del parque automotor se introduce a través de las respectivas amortizaciones que ya se han comentado con anterioridad, y las cuales se reflejan en el costo por km recorrido de cada tipo de vehículo, y por ende, en el costo anual de operación de dichos modos.

En tal sentido, dado que el costo de la flota está inmerso en el costo de operación, la eventual reposición de flota siempre se considera en los cálculos del EVT-Bog09 como un costo anualizado. Es decir, sin importar el periodo de evaluación de la tarifa, el costo de la flota, bien sea adquirida por primera vez, o por reposición, estará implícito en los costos que toma el modelo de evaluación como input. Por tal razón, la temporalidad de estos costos también está incluida en el modelo EVT.

#### d. Mantenimiento material rodante modo Metro

Los costos de mantenimiento de los vehículos que operan un servicio de transporte público influyen directamente sobre los costos totales del mismo, por lo que su inclusión es de obligada realización, tal y como se ha hecho para el modelo de evaluación tarifaria. Para el caso específico del modo metro, teniendo en consideración que la etapa III del contrato de consultoría obedece a una etapa de conceptualización y viabilidad, los costos de mantenimiento del material rodante que se han utilizado en el modelo de evaluación tarifaria están formados por una plantilla propia que realiza los trabajos en línea (personal a turno para atender las incidencias de explotación y el pequeño mantenimiento), y una subcontratación del gran mantenimiento. Bajo este supuesto, el cual ha sido descrito en detalle en el Producto 25, y cuyos costos están inmersos en el costo básico por coche-km que se ha presentado, tanto en el Producto 25, como en el Producto 30, para cualquier periodo de evaluación razonable que se utilice a efectos del análisis integral de la política tarifaria, los costos de mantenimiento del material rodante son perfectamente válidos.



Por lo anterior, la temporalidad de este supuesto – mantenimiento material rodante -, está igualmente incluido en el análisis de la evaluación tarifaria que se realizó en el Producto 30.

### **3.5.3 Comentarios finales**

En el marco del modelo de evaluación tarifaria EVT-Bog09, es importante destacar que la temporalidad de los supuestos que se han tomado para el desarrollo del análisis tarifario, están acorde con aquellos lineamientos básicos que se estipulan para el SITP. Lo anterior con independencia del periodo de evaluación que se desee realizar, toda vez que en dicho periodo, el modelo asegura que solamente se tomarán como inputs aquellos costos y gastos correspondientes a ese periodo de evaluación, y no los referidos al periodo de amortización o financiamiento, por nombrar algunos. Lo anterior ya que en todo caso se usan costos unitarios por kilómetro o por pasajero, y además, se supone que las operaciones sobrepasarán la temporalidad del análisis de los escenarios de tarificación, lo cual no puede interpretarse como que se están sobrecargando costos. Es decir, a pesar que ciertos gastos y costos estén calculados con base a un periodo de tiempo de 12 o más años, éstos son periodificados al tiempo de análisis usando los costos unitarios por las unidades de producción de los periodos que se consideren (práctica común usada en la evaluación de proyectos). Si el análisis tarifario se lleva a cabo para un periodo de 5 años, el modelo de evaluación tarifaria no queda invalidado por eso. Debe recordarse una vez más que no se trata de una evaluación de inversiones, donde si ocurriera este caso, entonces ingresaría los valores remanentes a los flujos de caja

Como ya se ha mencionado antes, resulta relevante mencionar que el objetivo del análisis tarifario para el SITP no es el evaluar inversiones, ni dar viabilidad al proyecto, sino evaluar el impacto en términos de ingresos y costos que tiene la aplicación de nuevos sistemas integrados de tarificación bajos unos parámetros y estrategias determinadas. En tal sentido, y teniendo en cuenta la temporalidad que se ha descrito extensamente con anterioridad, los periodos de análisis que se han presentado en la última revisión del Producto 30, que han sido de 5 y 10 años, responden y reflejan un grado de certeza alto, las situaciones que a futuro se esperan en la ciudad de Bogotá.



#### **4 BIBLIOGRAFÍA**

BEN-AKIVA, M.E., MORIKAWA, T., 1990. Estimation of travel demand models from multiple data sources. *Proceedings 11th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Yokohama.

BRADLEY, M.A. y DALY, A.J. (1997) Estimation of logit models using mixed stated preference and revealed preference information. En: P.R. Stopher y M. Lee-Gosselin (eds.) *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*. Pergamon Press, Oxford.

HENSHER, D.; LOUVIERE, J. y SWAIT, J. (1999). Combining sources of preference data. *Journal of Econometrics*, Vol. 89, 1999. p. 197 – 221.

HENSHER, D.A., ROSE, J.M., GREENE, W.H. (2005). *Applied Choice Analysis. A primer*. Ed. Cambridge University Press.

LOUVIERE, J.J., HENSHER, D.A AND SWAIT, J.D. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press, Cambridge.