



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**

**PRODUCTO N° 14:  
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS  
ALTERNATIVAS DE LA RED METRO DEL SITP**

**MB-GC-ME-0014**

**Rev. 4. 2 Septiembre 2009**



TITULO DEL DOCUMENTO: *METODOLOGÍA D E EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE LA RED METRO DEL SITP*

DOCUMENTO N°: MB-GC-ME-0014

Referencia: P210C25

Fichero: MB-P14-Metodología-20090902.docx

Revisión número: 4 Fecha revisión: Septiembre 2009

	Nombre	Firma	Fecha
Realizado por	Matías Ramírez		Septiembre 2009
	Sergi Tió		
	Gonzalo Tovar		
	Isa Cano		
	Anna Muro		
Verificado por	José Enrique Pérez		Septiembre 2009
Aprobado por	Luis M. San Martín		Septiembre 2009
	Esteban Rodríguez		

**REGISTRO DE CAMBIOS**

<b>REV.</b>	<b>FECHA</b>	<b>SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO</b>	<b>INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO</b>
1	Junio 2009	TODOS	DOCUMENTO AJUSTADO A LAS REUNIONES INTERMEDIAS MANTENIDAS
2	Junio 2009	TODOS	REVISIÓN GENERAL
3	Julio 2009	TODOS	REVISIÓN GENERAL
4	Septiembre 2009	TODOS	OBSERVACIONES GI

## ÍNDICE

<b>0</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
0.1	Alcances según Términos de Referencia.....	7
0.2	Alcances según la Propuesta del Grupo Consultor.....	9
<b>1</b>	<b>SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA LA EVALUACIÓN COMPARADA DE REDES.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>PRESENTACIÓN DE LOS EJES DE ANÁLISIS Y DE LOS OBJETIVOS A ALCANZAR POR EJE .....</b>	<b>12</b>
2.1	Hipótesis de trabajo del Grupo Consultor.....	12
2.2	Presentación de los ejes de análisis .....	13
<b>3</b>	<b>DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN POR OBJETIVO .....</b>	<b>18</b>
3.1	Eje 1: Impacto territorial y urbano.....	18
3.2	Eje 2: Impacto sobre la demanda de transporte .....	24
3.3	Eje 3: Impacto sobre la oferta de transporte .....	27
3.4	Eje 4: Impacto ambiental .....	30
3.5	Eje 5: Impacto socio-económico.....	32
3.6	Eje 6: Impacto financiero .....	34
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA DE NORMALIZACIÓN DE LOS INDICADORES .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>EVALUACIÓN COMPARADA DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>43</b>
5.1	Antecedentes teóricos: la ponderación de variables.....	43
5.2	Bloque 1: evaluación lineal de las alternativas.....	44
5.3	Bloque 2: análisis de robustez de las alternativas .....	45
5.4	Bloque 3: propuesta de ponderación de ejes e indicadores de las entidades que participan en la toma de decisiones .....	45
5.5	Bloque 4: análisis de sensibilidad de la alternativa resultante de la propuesta de pesos y recomendaciones del Grupo Consultor .....	48
5.6	Bloque 5: contraste metodológico .....	49

<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>ANEXO: COMPENDIO INICIAL DE INDICADORES .....</b>	<b>53</b>
7.1	Compendio inicial de indicadores.....	53
7.2	Concordancia de la propuesta inicial de indicadores de evaluación de redes con los requerimientos de los Términos de Referencia.....	86

## 0 INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente documento consiste en establecer una metodología de evaluación de redes de Metro, con miras a determinar la propuesta óptima mediante el análisis de todos los criterios que intervienen en la definición de una red. Para ello, el Grupo Consultor ha elaborado la presente metodología, partiendo de la base de los lineamientos definidos para la presentación del día 18 de marzo de 2009 realizada a la Alcaldía de Bogotá y sus Secretarías Distritales, a la Interventoría, al Gobierno Nacional y a los Bancos Multilaterales que intervienen en el Proyecto: Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo.

A partir de dicha presentación, y tomando en consideración las observaciones recibidas del Banco Mundial, derivadas de sus misiones de marzo y abril de 2009, el 17 de abril de 2009 el Grupo Consultor entregó a la Secretaría Distrital de Movilidad y al Grupo Interventor un primer documento en el que se planteaba una metodología de evaluación estructurada a través de un sistema de análisis multicriterio articulado a través de 50 indicadores de análisis.

Dicho documento ha sido revisado por los diferentes entes que intervienen en el proyecto, y en la reunión sostenida el 19 de mayo de 2009, se acuerda la reducción del número de indicadores, con el fin de establecer un conjunto de variables que respondan a los criterios que inciden en un mayor grado en la toma de decisiones para seleccionar la red de metro y que puedan ser medibles con una mayor certidumbre, dado que se trabaja con un horizonte de evaluación fijado en el año 2038.

El 22 de mayo de 2009, el Grupo Consultor hace entrega de una propuesta de reducción de los indicadores a emplear para la evaluación comparada de alternativas de red, que se complementa con una sesión de discusión el 28 de mayo de 2009 entre los entes que acompañan el proceso, y se seleccionan 27 indicadores para la evaluación. Asimismo, el 29 de mayo de 2009 se presenta la propuesta ante los Secretarios de Movilidad, Hacienda y Planeamiento de la Alcaldía Mayor de Bogotá.

El 5 de junio de 2009, se hace entrega al Grupo Interventor de la nueva versión de la propuesta metodológica, que contiene la definición de los 27 indicadores.

El 10 de junio de 2009, se realiza una reunión para la validación definitiva de la selección de indicadores y la metodología de ponderación planteadas, y se completa con una reunión el 11 de junio en la que se valida la secuencia de pasos que componen la metodología (sintetizada en el capítulo 1 y detallada en el capítulo 5 del presente documento).

En este orden de ideas, se presentan en primer lugar los alcances de la metodología de acuerdo a los Términos de Referencia y la Propuesta presentada por el Grupo Consultor en fase de Licitación.

Posteriormente se presenta el planteamiento general de la metodología: se definen los ejes de análisis establecidos para la evaluación de redes de Metro, así como las variables que intervienen en cada eje y su mecanismo de medición.

Asimismo, se presenta el proceso de medición, mediante la normalización de variables y, finalmente, se desarrolla la secuencia metodológica para la evaluación de las redes y selección de la alternativa óptima.

En los anexos se incorpora, a modo de referencia, el compendio de los 50 indicadores inicialmente planteados.

## 0.1 Alcances según Términos de Referencia

En el numeral 5.3.2.5. (Evaluación multicriterio y propuesta de selección de la red) se detalla que, con base en los criterios de evaluación desarrollados en el numeral anterior (5.3.2.4.), el Consultor deberá presentar para su aprobación, a la Interventoría y la Entidad la metodología, los criterios, variables y ponderaciones, así como el modelo a utilizar para la realización de un análisis multicriterio, de acuerdo con indicadores cuantificables.

Esta evaluación permitirá caracterizar cada una de las alternativas en estudio, a partir de las cuales se podrán generar nuevas alternativas de la combinación de las mejores opciones, las cuales serán evaluadas por medio de la misma metodología.

Sobre esta base se identificará y desarrollará, trabajando con la Administración Distrital, un conjunto de Alternativas Preseleccionadas en las cuales se priorizarán las diferentes líneas propuestas, objeto del Producto 15.

En el numeral 5.3.2.4. (Evaluación de las alternativas de red) se especifican los siguientes criterios a considerar:

### Socioeconómicos

El Consultor realizará una evaluación económica de cada una de las alternativas de redes de transporte Metro en base a la relación beneficio/costo para la sociedad. En ese sentido, el Consultor deberá realizar un análisis socioeconómico del proyecto, cuantificando los diferentes beneficios, al igual que sus respectivos costos económicos y sociales, entre los cuales al menos deberá tener en cuenta lo siguiente:

- En cuanto a los beneficios, basado en el modelo de transporte deberá realizar una cuantificación de: demanda en cada alternativa, trasbordos, ahorros de tiempo de los usuarios de transporte de la ciudad, beneficios ambientales, población servida en distintos radios, valorización inmobiliaria, ahorros de costos de operación de vehículos automotores, ahorros por reducción de accidentes, entre otros.
- En relación a los costos, en el desarrollo de la evaluación, basado en experiencias internacionales con las necesarias adaptaciones al medio local, el Consultor deberá realizar un estimativo de costos de construcción, mantenimiento y operación de cada una de las alternativas de red analizada, entre otros.

El Consultor, después de analizar las diferentes alternativas y escenarios, propondrá el conjunto de indicadores socio-económicos que las caractericen. Estos deberán ser presentados espacialmente apoyándose en las modelaciones.

### Tarifarios

En esta etapa, para efectos de comparar las alternativas de red, se evaluarán condiciones tarifarias generales considerando como mínimo las siguientes dos hipótesis tarifarias y una tercera propuesta por el Consultor:

- Tarifa integrada, plana y única para todo el sistema, sin limitación en el número de modos a utilizar y con un tiempo máximo de permanencia dentro del sistema

- Tarifa integrada, plana y diferenciada para el Metro, sin limitación en el número de modos a utilizar y con un tiempo máximo de permanencia dentro del sistema. En cada uno de los escenarios de corto, mediano y largo plazo, el Consultor definirá la tarifa de equilibrio a partir de la relación Demanda – Costos de Operación, de manera global para cada alternativa de red y específica, por modos, por líneas y tramos.

Las tarifas de equilibrio deberán ser presentadas espacialmente apoyándose en las modelaciones.

### **Urbanísticos**

Se deben identificar y evaluar los impactos generados por la implantación de cada una de las alternativas en cada una de las estructuras, sectores y sistemas de la ciudad y en su relación con la región (Terminales Satélites, Aeropuerto, Tren de Cercanías, etc.). Se deberá evaluar como mínimo: la integración e impacto urbano-regional; la distribución equilibrada y sostenible en el territorio (cobrimiento y ajuste al modelo POT); el fortalecimiento de las localidades y de las centralidades de acuerdo a su función; su relación (distancia, accesibilidad) con respecto a los equipamientos urbanos por escala, los requerimientos de suelo para su implementación, efecto barrera, mayor aprovechamiento del suelo en edificabilidad e intensidad de usos (residencial, comercial, de servicios, entre otros), generación de espacio público y áreas verdes, impacto económico y fiscal, entre otros, que permitan la comparación objetiva de las alternativas planteadas.

### **Integración con el PMM**

Articulación con los elementos estructurantes del Plan Maestro de Movilidad (SITP, intercambiadores modales, estacionamiento, Redes Peatonales, Zonas de Actividad Logística, entre otros) así como con los diferentes planes y programas relacionados con transporte y desarrollo urbano – regional (tren de cercanías entre otros).

### **Accesibilidad**

Elaboración de índices numéricos y espaciales de accesibilidad general de la población al sistema y en particular impacto de la red Metro en la accesibilidad de equipamientos comunitarios (salud, educación, recreación, y demás definidos en el Sistema de Equipamientos).

### **Redes de servicios públicos**

Evaluación de interferencias importantes con la infraestructura de redes matrices de servicios públicos, que generen alto impacto por renovaciones, traslados y/o proyectos futuros.

### **Ambientales**

El Consultor propondrá los indicadores ambientales para la evaluación de las alternativas de Red, entre los que se considerará la ecoeficiencia de cada alternativa durante la construcción y operación valorada en: generación de espacio público, áreas verdes, arbolado urbano y aportes al paisajismo o su afectación; interferencia con elementos de la Estructura Ecológica Principal y sus medidas de control, mitigación o compensación: Impactos ambientales por kilómetro elevado, a nivel y subterráneo, la proporción de éstos por cada alternativa y sus medidas de control, mitigación o compensación; entre éstos, el auditivo, vibraciones, emisiones (gases, partículas), generación y manejo integral de escombros, vertimientos, afectación del suelo, afectación del recurso hídrico superficial y subterráneo residuos sólidos



y sólidos peligrosos, disposición de elementos químicos, combustibles y aceites, contaminación visual y afectación de flora y fauna.

### **Adquisición, expropiación y/o relocalización**

Elaboración de un estimado del área posiblemente intervenida para la construcción de cada alternativa, proponiendo indicadores que permitan evaluar los impactos que genere el desplazamiento de población.

### **Suministro de energía**

Evaluación del consumo energético de los distintos tipos en cada alternativa y análisis de la capacidad de suministro de energía de la ciudad.

### **Captación de usuarios al SITP**

Impacto en la distribución modal de los viajes de la ciudad.

### **Riesgos naturales**

Vulnerabilidad de la red ante situaciones de riesgos naturales (inundaciones, terremotos, etc.).

## **0.2 Alcances según la Propuesta del Grupo Consultor**

**Definición de la metodología de análisis multicriterio:** En concordancia con los Términos de Referencia, la herramienta para la valoración de las alternativas será el análisis multicriterio. A partir de la formulación de un número de propuestas a acordar con la SDM (entre 3 y 5 suele ser un número habitual), el Grupo Consultor aplicará la técnica de selección para la posterior elaboración del diseño final de la red de transporte Metro dentro del SITP.

En esta fase de la asistencia técnica, se definirá la metodología de selección que se empleará posteriormente (Producto 15). Así, se expondrá minuciosa y sistemáticamente los pasos que se seguirán en la fase de evaluación así como los criterios que se utilizarán para el cálculo de los puntajes en cada una de las variables de selección.

El Consultor considera especialmente importante la comunicación con la SDM durante el desarrollo de toda la actividad. En consecuencia, para la formulación de una metodología compacta, confiable y con la cual el cliente se sienta confortable en su uso, se trabajará con una correspondencia continua en la que se propondrán y validarán sistemáticamente las acciones a llevar a cabo.

Como punto de partida, se elaborará una lista de los parámetros que configurarán el análisis multicriterio. En ella se indicarán sus características y su incidencia en el sistema de transporte, es decir si son positivos o negativos para el éxito de la red de Metro. Dicho elenco será puesto en conocimiento de la SDM<sup>1</sup> y sometido a su valoración para su validación y en el caso que se considere oportuno incluir nuevas variables o descartar algunas propuestas.

---

<sup>1</sup> Presentación realizada el 18 de marzo de 2009 en Bogotá, ante la Contraparte.

Dentro de la descripción de los parámetros de análisis, también se fijará la forma de cuantificación del mismo. De este modo, se establecerá un valor máximo, uno mínimo y la gradación entre ambos sobre los que se valorarán los distintos aspectos de cada una de las alternativas. Asimismo, se explicitarán los criterios que servirán, en cada variable, para valorar la propuesta dentro del rango de valores explicitado.

Finalmente, se determinarán los pesos de cada parámetro de evaluación. El objetivo es dotar al análisis de una mayor rigurosidad, ya que no todas las variables deben tener la misma relevancia en el proceso de valoración.

De este modo, se creará una matriz en la que en un eje estarán las distintas propuestas, en el otro las variables de análisis y en los campos interiores los valores de su evaluación. En el último campo de eje de las variables se ubicará la puntuación total de la alternativa.

A continuación se presenta la fórmula matemática que resume este cálculo:

$$V_{total} = \sum \alpha_i \cdot n_i$$

i: variable de análisis

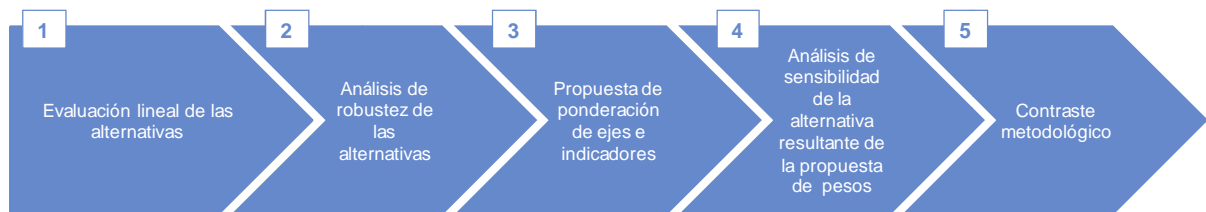
n: valor resultante de la evaluación de la variable normalizada

$\alpha$ : peso de la variable

## 1 SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA LA EVALUACIÓN COMPARADA DE REDES

El Grupo Consultor propone la metodología de evaluación comparada de redes mediante el desarrollo de cinco bloques fundamentales, presentados en la siguiente figura:

**Figura 1-1. Bloques metodológicos en la evaluación comparada de redes de metro**



*Fuente: Elaboración propia*

El bloque 1 consiste en la evaluación de los resultados que se deriven del cálculo de los indicadores propuestos para cada alternativa, sin tomar en consideración pesos diferenciales para cada uno de los ejes o indicadores. En este orden de ideas, se denomina “evaluación lineal”.

Posteriormente, el Grupo Consultor plantea un análisis de robustez de las alternativas de metro evaluadas, con el objetivo de identificar la alternativa que resulta más veces seleccionada bajo cualquier hipótesis de ponderación de ejes.

Como tercer bloque de la metodología, se incluye un módulo opcional orientado a que los diferentes entes que participan en la toma de decisiones pudieran eventualmente plantear cada uno una propuesta de ponderación de ejes, y mediante un proceso de análisis de jerarquización de procesos (metodología AHP, por sus siglas en inglés), se obtendría la propuesta de ponderación global.

En el bloque 4, el Grupo Consultor realizará un análisis de sensibilidad al resultado obtenido (bien sea el resultado lineal del bloque 1 o el resultado ponderado del bloque 3), con el fin de identificar si la alternativa seleccionada presenta un comportamiento estable; es decir, que no se modifique su selección mediante pequeñas variaciones de los pesos en cada eje. De este modo, se podrá además contrastar si la alternativa que se seleccione en este cuarto paso metodológico coincide con la alternativa de red que el bloque 2 indicó como propuesta con una mayor robustez.

Finalmente, se ha incluido un quinto bloque, a propuesta de las Secretarías Distritales, consistente en el uso de una técnica de contraste, que permita identificar el sesgo que puede producir la agrupación de indicadores en ejes de análisis y la eventual ponderación de los mismos.

## 2 PRESENTACIÓN DE LOS EJES DE ANÁLISIS Y DE LOS OBJETIVOS A ALCANZAR POR EJE

Como base para la elaboración de la metodología de evaluación de redes tipo Metro, el Grupo Consultor ha procedido en primer lugar a determinar cuáles son los grandes bloques de aspectos -denominados ejes- que conviene analizar para identificar entre diferentes alternativas de redes para la ciudad de Bogotá. En este sentido, conviene citar qué espera la Ciudad y, en particular, la SDM, cuando toma la decisión de elaborar el presente Estudio:

“El presente estudio cuyo objeto es el “Diseño conceptual de la red de transporte masivo Metro y diseño operacional, dimensionamiento legal y financiero de la primera línea en el marco del sistema integrado de transporte público-SITP- para la ciudad de Bogotá”, tiene como propósito suministrar a la administración distrital un análisis actualizado de las condiciones de movilidad en la ciudad y su articulación con la planeación urbana, una evaluación de alternativas de redes de transporte público - con el **objetivo primordial de proporcionar un servicio económicamente eficiente y de alta calidad**, la priorización de la primera línea del Metro y el acompañamiento necesario para el desarrollo de los diseños de infraestructura y la implementación del sistema.”<sup>2</sup>

### 2.1 Hipótesis de trabajo del Grupo Consultor

En primer lugar, se enumeran las hipótesis de trabajo más relevantes empleadas por el Grupo Consultor, que han sido base para el desarrollo de la metodología y se introdujeron en la presentación intermedia del Producto 14 realizada el 18 de marzo de 2009:

1. Se concibe el Metro como servicio para atender la movilidad consolidada, no como herramienta de desarrollo regional o generador de actividad en zonas no desarrolladas del ámbito suburbano, circunscribiendo la oportunidad de desarrollo al ámbito urbano
2. Se busca promover el transporte público en todos sus modos
3. Se concibe que la relación entre Metro y Transmilenio debe ser tal que genere la productividad adecuada a la capacidad de servicio de ambos sistemas
4. Se persigue maximizar la eficiencia de todos los modos de transporte masivo
5. Los beneficios ambientales del proyecto han de resultar positivos
6. Se considera el Metro como un modo de transporte que especialmente debe dar servicio a los estratos sociales de menores recursos
7. El Metro debe ser socialmente rentable
8. El proyecto debe ser viable financieramente, pudiéndose adoptar fórmulas como el subsidio

La evaluación de redes se realizará con los respectivos escenarios de desarrollo a largo plazo (2038), con el sistema integrado y estructura tarifaria que corresponda para dicho horizonte. Posteriormente

---

<sup>2</sup> Numeral 5.2. de los Términos de Referencia (página 81).

estas líneas se someterán a un proceso de priorización, del que resultará la identificación de la Primera Línea de Metro.

Asimismo, tal como se profundiza en el capítulo 5, conviene destacar que el Grupo Consultor es partidario de no emplear inicialmente factores de ponderación, puesto que introducen un elemento de distorsión en el análisis. Por ello, el paso 1 de la metodología propuesta no aplica ninguna ponderación, y se realiza el paso 2 como mecanismo para identificar la fortaleza de cada alternativa frente a ponderaciones de pesos posibles.

Finalmente, resulta necesario recalcar que el conjunto de indicadores que se detallan en la metodología se orientan a comparar alternativas de red de Metro con el fin de escoger una, por lo que no consiste en un observatorio de todos los impactos que tiene el desarrollo de un sistema Metro.

## 2.2 Presentación de los ejes de análisis

Teniendo en cuenta los criterios de evaluación definidos en los Términos de Referencia, así como las hipótesis de trabajo y aspectos técnicos que el Grupo Consultor considera necesario incorporar, se ha procedido a estructurar la evaluación bajo seis ejes de análisis:

**Figura 2-1. Ejes de análisis de la evaluación multicriterio de alternativas de redes de Metro**



*Fuente: Elaboración propia*

Para cada uno de los ejes anteriormente detallados, se han definido un conjunto de objetivos a alcanzar por parte de las redes de Metro que se propongan, de modo que la evaluación comparada de todas las alternativas de red tendrá como finalidad determinar cuál de las propuestas presenta un mayor nivel de cumplimiento global de los objetivos.

En este sentido, conviene mencionar que la metodología toma en consideración que los diferentes ejes pueden tener pesos distintos en la evaluación, tal como se detalla en el capítulo 5 del presente documento.

A continuación se presentan los objetivos cuyo nivel de cumplimiento se medirán en la evaluación de redes para cada uno de los ejes de análisis.

## Eje 1: Impacto territorial y urbano

En primer lugar, se propone el análisis del impacto territorial y urbano de cada una de las alternativas de red propuestas, a fin de verificar el nivel de cumplimiento de los tres objetivos que debe garantizar el sistema Metro:

1. Garantizar la coherencia con los instrumentos de planificación urbana
2. Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana
3. Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos

La motivación de cada uno de estos objetivos se presenta en los siguientes párrafos:

Tal como se menciona en los Términos de Referencia, el Plan Maestro de Movilidad es un instrumento de planificación determinante para el ordenamiento de la ciudad y su entorno inmediato, que permite definir las necesidades crecimiento espacial de acuerdo a las previsiones de incremento de población y de ubicación de actividades económicas. De esta forma, se planifican los proyectos de inversión para el corto, medio y largo plazo<sup>3</sup>.

Bajo este planteamiento, donde se concibe el sistema de movilidad como el elemento articulador del desarrollo urbanístico y económico de la región, resulta necesario que la propuesta de Metro que se desarrolle quede inserta en los lineamientos que define el Plan Maestro de Movilidad y se articule coherentemente con el Plan de Ordenamiento de Territorio, puesto que se considera el sistema de movilidad como una herramienta para alcanzar los niveles de crecimiento urbano esperados. En este sentido, su relación con los otros sectores, sistemas y estructuras del POT debe ser tal que las propuestas de Metro que se desarrollen deben colaborar en la consolidación de la actual estructura urbana y optimizar el uso y aprovechamiento del territorio<sup>4</sup>.

Asimismo, las propuestas deben ser coherentes con los usos del suelo establecidos en el Decreto 190, por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003.

El segundo objetivo, relacionado con el impacto positivo que debe causar la red de Metro en la funcionalidad y dinámica urbana, se presenta en coherencia con el planteamiento anterior.

Finalmente, el tercer punto considera el aprovechamiento de las oportunidades de nuevos desarrollos, de modo que las mejoras en la eficiencia y calidad del servicio del sistema de movilidad de Bogotá generen

---

<sup>3</sup> Cita de los Términos de Referencia: "En el marco del Plan de Ordenamiento Territorial, el Plan Maestro de Movilidad (PMM) es un instrumento de planificación fundamental para la estrategia de ordenamiento de la ciudad-región que permite definir las necesidades de generación de suelo urbanizado de acuerdo con las previsiones de crecimiento poblacional y de localización de la actividad económica, para programar los proyectos de inversión en el sector, en el corto, mediano y largo plazo. En este marco, el sistema de movilidad es visto como un elemento esencial para garantizar el desarrollo urbanístico y económico deseado de la ciudad y la región."

<sup>4</sup> Cita de los Términos de Referencia: "El sistema de movilidad, además de servir ese sector, permite alcanzar los niveles de crecimiento urbano esperados y es por ello que su interrelación con otros sectores, sistemas y estructuras del Modelo de Ordenamiento sugiere la implementación de propuestas que puedan ser utilizadas positivamente para consolidar la actual estructura urbana y optimizar el uso y aprovechamiento del territorio."

impactos en la competitividad, productividad y ambiente, así como en el desarrollo físico espacial y en la calidad de vida de los ciudadanos.

## **Eje 2: Impacto sobre la demanda de transporte**

El impacto que las diferentes propuestas de Metro tengan sobre la demanda de movilidad debe ser evaluado en base a los dos objetivos que todo sistema de transporte masivo debe perseguir:

1. Mejorar las condiciones de accesibilidad y movilidad de la demanda
2. Inducir una mayor captación de los modos de transporte público

La implementación de todo sistema de transporte público, incluido el Metro, persigue la mejora de las condiciones de movilidad de las personas que habitan, trabajan y desarrollan cualquier tipo de actividades dentro de su área de influencia, así como de las oportunidades de accesibilidad al transporte público.

En relación con el segundo objetivo, éste se enmarca en el planteamiento de la política distrital de movilidad, que establece el transporte público y sus componentes como estructuradores del sistema urbano de Bogotá. En este sentido, la Secretaría de Movilidad ha contratado estudios para la mejora del transporte público como el Diseño Técnico, Legal y Financiero del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) para la Ciudad de Bogotá, que persigue la integración del actual sistema de transporte público urbano colectivo con el Sistema Transmilenio, con el componente rígido de alta capacidad (Metro) y con el Tren de Cercanías.

En este sentido, la presente metodología fija como objetivo que la red de Metro debe impactar positivamente en una mayor captación del conjunto de modos del transporte público, por lo que la intermodalidad pasa a ser un factor clave para valorar las diferentes propuestas de redes.

## **Eje 3: Impacto sobre la oferta de transporte**

En relación con la oferta de transporte, tanto la existente como la futura, las diferentes alternativas de redes de Metro que se propongan deberían orientarse a los siguientes hitos:

1. Diseñar una red de Metro de amplia cobertura y operacionalmente productiva
2. Compatibilizar la red Metro con el sistema de transporte público

El Distrito Capital tiene, entre sus prioridades, llevar a cabo acciones que favorezcan el uso de los modos públicos frente al transporte privado, puesto que es el primero el que da servicio al 70%<sup>5</sup> de los desplazamientos de la ciudad.

En este sentido, el primero de los objetivos persigue maximizar la cobertura del sistema Metro, garantizando los estándares de productividad, de modo que la red de transporte masivo responda a las principales demandas identificadas.

---

<sup>5</sup> Según datos de la encuesta de movilidad de 2005, el transporte público colectivo atiende el 69,2% de la demanda del transporte urbano, frente al 21,3 % que lo hace en modos individuales, automóviles y taxis. El Distrito Capital tiene, entre sus prioridades, llevar a cabo acciones que favorezcan el uso de los modos públicos frente al transporte privado, puesto que es el primero el que da servicio al 70% aproximadamente de los desplazamientos de la ciudad.

De igual modo, los distintos sistemas masivos deben articularse en una red cohesionada y eficiente, por lo que las distintas alternativas de Metro que se propongan deberán tomar en cuenta las extensiones previstas para el sistema Transmilenio y el trazado del Tren de Cercanías. Transmilenio, por ejemplo, tiene previsto el crecimiento de su red hasta el año 2017, y ha adaptado su plan de expansión al SITP, por lo que estos aspectos deberán tomarse en consideración durante la construcción de las diferentes propuestas de red.

Adicionalmente, y aunque tenga una relevancia inferior en términos de la movilidad general, se tomará en consideración la intermodalidad del sistema Metro con otros modos alternativos de transporte, especialmente los no motorizados (peatones, ciclorrutas)

#### **Eje 4: Impacto ambiental**

Entre los ejes de la política distrital se encuentra el desarrollo sostenible ambientalmente. En este sentido, y tal como se menciona en los Términos de Referencia, el sistema de movilidad de Bogotá debe conformarse en el marco de las políticas de movilidad sostenible, de modo que las necesidades básicas de accesibilidad se cumplan sin perjuicio de la salud humana y del ecosistema. Asimismo, la limitación de emisiones y residuos sólidos, la optimización de recursos renovables y no renovables, la reutilización y reciclaje de componentes, la optimización del uso de la tierra y la minimización de la producción de ruido y contaminación visual son principios a tener en cuenta durante la construcción de las diferentes alternativas de red de Metro.

En este sentido, el Grupo Consultor ha propuesto como principio para la evaluación de las diferentes propuestas de redes:

1. Mitigar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema

Si bien la red de Metro resultante debe ser coherente no solamente con la estructura ecológica principal, sino también con el uso del suelo establecido en Decreto 190, por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos distritales 619 de 2000 y 469 de 2003,

Resulta de especial interés hacer hincapié en el hecho que tanto la construcción como la posterior operación de cualquier sistema de transporte, en especial un sistema de carácter tan rígido como es un Metro, produce una serie de impactos ambientales que no siempre son de fácil corrección. En este sentido, resultará necesario ver para las distintas alternativas de red qué tipo de medidas de mitigación del impacto ambiental pueden desarrollarse, de forma que se minimice el impacto ambiental del sistema Metro.

#### **Eje 5: Impacto socio-económico**

El transporte público se concibe bajo la visión estratégica de un servicio público esencial, fundamentado en los principios de prevalencia del interés general y en la búsqueda del beneficio para la mayor parte de la población, prestando especial atención a los estratos con menores recursos, que son considerados como cautivos del sistema de transporte público, para los cuales se debe garantizar no sólo el acceso al sistema sino también la realización del mismo bajo condiciones de confort y calidad.

Así mismo, el Plan de Desarrollo de Bogotá busca el “mejoramiento y la optimización de las condiciones urbanísticas, constructivas y ambientales de los elementos físicos de la ciudad, la eficiencia en la movilidad, y la generación de condiciones de equidad, convivencia y seguridad, que reconozcan las diferencias poblacionales, con base en una política económica centrada en las personas y en un modelo de desarrollo democrático, social, integral y ambientalmente sostenible”, lo que implica que las decisiones



técnicas e ingenieriles deben orientarse en función del bienestar social, buscando armonizar la eficiencia y calidad en lo económico, lo técnico, lo legal, y por supuesto en lo socioeconómico y cultural.

En este contexto, el Grupo Consultor ha propuesto dos objetivos para la evaluación de las diferentes propuestas de redes:

1. Favorecer la mejora de las condiciones de accesibilidad de la población de menores recursos
2. Minimizar los costos sociales

El primero de los objetivos se orienta a la evaluación del grado de accesibilidad a la red de los estratos más vulnerables, de modo que se garantice su inserción en la dinámica metropolitana.

Asimismo, el sistema de transporte público debe ser un mecanismo para la optimización de la relación beneficio-costos asociada al sistema de transporte y sociedad en general, evaluándose dicha relación mediante el desarrollo de indicadores que contribuyan a optimizar dicha relación.

### **Eje 6: Impacto financiero**

En relación con los aspectos financieros del sistema, conviene destacar que la alta inversión requerida para materializar una infraestructura de este tipo, con impacto en la movilidad de toda la ciudad, requiere de un programa de desarrollo que busque optimizar la inversión minimizando los posibles subsidios que se puedan presentar en la operación del sistema, en caso de existir los mismos, pero siempre considerando las limitaciones que en cuanto a la capacidad de endeudamiento tenga el Distrito Capital.

En este sentido, el Grupo Consultor ha definido un conjunto de objetivos para la evaluación de las alternativas de Metro:

1. Valorar la capacidad financiera del Distrito Capital frente a la inversión
2. Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones
3. Maximizar la eficiencia de la inversión
4. Mitigar los riesgos

En relación con el primer objetivo, se considera indispensable que la propuesta de red que se plantee minimice el impacto en la capacidad financiera del Distrito para acometer tanto expansiones del sistema Metro como otro tipo de proyectos también prioritarios para la ciudad.

Asimismo, y en relación con el segundo objetivo, se persigue la minimización del VPN de la inversión relacionada con el desarrollo del proyecto.

En relación con el tercer lineamiento, el proyecto Metro debe contribuir positivamente desde el punto de eficiencia financiera a través de la optimización de los ingresos y costos de operación y mantenimiento del sistema.

Finalmente, el desarrollo del proyecto debe buscar la minimización de los riesgos asociados a la construcción de la red de Metro. En este sentido, el diseño propuesto debe ser valorado de acuerdo a la probabilidad de este en incurrir en sobrecostos por imprevistos durante la ejecución del mismo.

### 3 DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN POR OBJETIVO

En el presente capítulo se describen detalladamente los indicadores propuestos para medir el desempeño de cada alternativa frente a los objetivos definidos en cada eje de análisis. Para ello, se procede a describir la metodología de cálculo de cada indicador y detallar su unidad de medición, signo de valoración y la metodología de proyección de las variables que lo componen.

Conviene resaltar que la propuesta parte de la premisa que los indicadores deben construirse de modo que los insumos necesarios estén disponibles o bien puedan ser estimados por el Grupo Consultor con la agilidad que requiere el desarrollo del contrato.

Análogamente, es importante que los indicadores que se definan arrojen resultados diferenciales entre las alternativas, puesto que el multicriterio tiene como fin determinar cuál es la mejor alternativa de desarrollo. En este orden de ideas, no se incluyen los indicadores que no implican diferencias sustanciales entre las alternativas.

Finalmente, otro tema importante a destacar es que si bien se pueden calcular múltiples impactos debidos al desarrollo de una red de Metro en una ciudad como Bogotá, solamente conviene incorporar aquellos que tengan un rol sustancial en la comparación de alternativas de configuración de la red, no siendo recomendable la incorporación de indicadores que sirvan únicamente para medir posibles impactos de un sistema Metro en ámbito urbano.

#### 3.1 Eje 1: Impacto territorial y urbano

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en materia territorial y urbana.

##### Objetivo 1.1. Garantizar la coherencia con los instrumentos de planificación urbana

Con el fin de evaluar el nivel de cumplimiento del presente objetivo se han definido tres indicadores, cuyas características se definen a continuación:

11.1.1. Grado de reconocimiento de la propuesta de densificación del POT	
Metodología de cálculo	<p><b>Total de población potencial servida por la red Metro en las áreas de densificación propuestas por el POT</b></p> <p>Para desarrollar este indicador se requiere tener medida y localizada la política de densificación de la ciudad. Igualmente es necesario diferenciar, las áreas en las cuáles es posible densificar más y las áreas que ya llegaron al punto de saturación.</p> <p>El dato a medir incluye tanto la población actual (dato conocido) como la población potencial (estimaciones a desarrollar).</p>
Unidad de medición	Nº habitantes
Signo	+

11.1.1. Grado de reconocimiento de la propuesta de densificación del POT	
Metodología de proyección de variables	Estimaciones a realizar por el área urbanística del Grupo Consultor en base a las previsiones de crecimiento de la población y el trazado de las alternativas de red
Base de datos	(Producto 15)

11.1.2. Potenciación de las centralidades futuras	
Metodología de cálculo	<p><b>Total de empleos atendidos por la red de Metro en centralidades futuras</b></p> <p>Las centralidades, según el POT, están asociadas a la concentración de actividades económicas y servicios, y difieren unas de las otras en cuanto a usos, función y tamaño.</p> <p>En este sentido, se medirán el total de empleos atendidos por al correspondiente alternativa de red en cada una de las centralidades futuras (actuales y de nuevo desarrollo). En concreto, dicho cálculo requerirá de las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de las centralidades actuales y de nuevo desarrollo especificadas en el POT</li> <li>- Identificación de la/las zonas de transporte del modelo de simulación asociadas a las centralidades identificadas</li> <li>- Franja de 500 metros al eje de cada uno de los corredores que conforman la red analizada</li> <li>- Densidad promedio de empleos de la centralidad; se supone el número de empleos a futuro (2038) de las centralidades actuales y propuestas especificadas en el POT, valor estimado a partir de la proyección al año horizonte (2038) de la densidad de empleo actual de cada zona definida en el POT</li> </ul>
Unidad de medición	Nº empleos
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Estimaciones a realizar por el área urbanística del Grupo Consultor
Base de datos	(Producto 15)




11.1.3. Potenciación de la integración regional	
Metodología de cálculo	<p><b>Número de habitantes de la región que acceden al sistema Metro en sus desplazamientos en hora pico de la mañana</b></p> <p>En base a las modelaciones realizadas, se calculará el número de habitantes de los municipios de la Sabana de Bogotá (sin contar Bogotá D.C. ni Soacha, puesto que ambos pertenecen al ámbito interno) que acceden al sistema Metro en sus desplazamientos en la hora pico de la mañana.</p> <p>La red que presente un mayor número de accesos será la que resulte con una mejor puntuación para este indicador.</p>
Unidad de medición	Nº habitantes
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Dato obtenido directamente del modelo del 2038
Base de datos	(Producto 15)

## Objetivo 1.2. Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana

Para evaluar este objetivo se han previsto un total de tres indicadores:

11.2.1. Conectividad de la red de Transporte Masivo	
Metodología de cálculo	<p><b>Cálculo de la conectividad de la red de Transporte Masivo<sup>6</sup></b></p> <p>Para determinar el nivel de conectividad, se empleará la formulación habitual para este tipo de cálculo:</p> $\gamma = \frac{A}{3 \cdot (N - 2)}$ <p>Dónde:</p> <p><math>\gamma</math>: conectividad de la red (valor entre 0 y 1)</p> <p>A: número de arcos de la red de Transporte Masivo</p> <p>N: número de nodos de la red de Transporte Masivo</p> <p>Ejemplos de conectividad para redes tipo:</p>

<sup>6</sup> Transporte Masivo = Transmilenio + Metro + Tren de Cercanías

11.2.1. Conectividad de la red de Transporte Masivo	
	<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <math>\gamma = 0,33</math></div> <div style="text-align: center;"> <math>\gamma = 0,38</math></div> <div style="text-align: center;"> <math>\gamma = 0,57</math></div> </div> <p>La red que obtenga un valor más cercano a 1 es la que presenta un mejor nivel de conectividad.</p>
Unidad de medición	Valor adimensional entre 0 y 1
Signo	+
Metodología de proyección de variables	No aplica, no hay que proyectar ninguna variable
Base de datos	(Producto 15)

11.2.2. Atención a los principales nodos de actividad	
Metodología de cálculo	<p><b>Total de empleos atendidos por la red de Metro en centralidades actuales</b></p> <p>Las centralidades, según el POT, están asociadas a la concentración de actividades económicas y servicios, y difieren unas de las otras en cuanto a usos, función y tamaño.</p> <p>En este sentido, se medirán el total de empleos atendidos por al correspondiente alternativa de red en cada una de las centralidades actuales. En concreto, dicho cálculo requerirá de las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de las centralidades actuales especificadas en el POT</li> <li>- Identificación de la/las zonas de transporte del modelo de simulación asociadas a las centralidades identificadas</li> <li>- Franja de 500 metros al eje de cada uno de los corredores que conforman la red analizada</li> <li>- Densidad promedio de empleos de la centralidad; se supone el número de empleos a futuro (2038) de las centralidades actuales especificadas en el POT, valor estimado a partir de la proyección al año horizonte (2038) de la densidad de empleo actual de cada zona definida en el POT</li> </ul>

11.2.2. Atención a los principales nodos de actividad	
Unidad de medición	Nº empleos
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Estimaciones a realizar por el área urbanística del Grupo Consultor
Base de datos	(Producto 15)

11.2.3. Atención a los principales equipamientos de la ciudad	
Metodología de cálculo	<p><b>Número de equipamientos servidos</b></p> <p>Según la localización de los principales equipamientos de la ciudad (salud, educación, recreación, etc.) se determinará el número de equipamientos que quedan servidos por la red de Metro. Se considera que una línea de Metro sirve un equipamiento cuando la estación de Metro más cercana al mismo está ubicada a una distancia máxima de 500 metros.</p> <p>La red de equipamientos a considerar se determinará por el Grupo Consultor en base a la información cartográfica, y será validado por la Contraparte previo cálculo del indicador.</p> <p>La red que presente un mayor número de usuarios atendidos por estos equipamientos será la que resulte con una mejor puntuación para este indicador.</p>
Unidad de medición	Nº de usuarios atendidos
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Estimaciones a realizar por el área urbanística del Grupo Consultor en base a las previsiones de desarrollo de equipamientos y el trazado de las alternativas de red
Base de datos	(Producto 15)

### Objetivo 1.3. Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos

La evaluación de este objetivo del eje de impacto territorial y urbano se articula en base a indicador:

11.3.1. Renovación del tejido urbano	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Superficie construible en zonas urbanas degradadas en el área de influencia de las estaciones</i></b></p> <p>En primer lugar, conviene localizar las zonas de renovación en el ámbito de influencia de las estaciones previstas en cada propuesta.</p> <p>Posteriormente, se debe calcular su potencial de desarrollo, en base a las estimaciones que realice el Grupo Consultor en colaboración con la SDP.</p> <p>La propuesta que arroje una mayor superficie construible en el conjunto de estaciones de cada alternativa es la que obtiene un mejor desempeño en este indicador.</p>
Unidad de medición	m <sup>2</sup> construibles
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Estimaciones a realizar por el área urbanística del Grupo Consultor en base a las previsiones de desarrollo y el trazado de las alternativas de red
Base de datos	(Producto 15)

### 3.2 Eje 2: Impacto sobre la demanda de transporte

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en materia de demanda asociada a las alternativas de red analizadas.

#### Objetivo 2.1. Mejorar las condiciones de accesibilidad y movilidad de la demanda

La valoración de mejoras aportadas por cada alternativa de red en términos de accesibilidad al sistema y movilidad experimentados por los usuarios del servicio se ha articulado en base a dos indicadores, descritos a continuación:

I2.1.1. Reducción media del tiempo viaje en la red de Transporte Masivo	
Metodología de cálculo	<p><b>Reducción media del tiempo viaje en la red de Transporte Masivo (R)</b></p> <p>Información obtenida del modelo, resultado de medir la diferencia de tiempo medio de viaje entre los dos escenarios siguientes:</p> <p>Tcm: Asignación de la matriz de movilidad de transporte público del año 2038 al escenario <b>con el Metro desarrollado</b> y demás modos de transporte público (extensiones de Transmilenio, Tren de Cercanías, transporte público convencional reorganizado).</p> <p>Tsm: Asignación de la matriz de movilidad de transporte público del año 2038 al escenario <b>sin el Metro desarrollado</b> y con el desarrollo demás modos de transporte público (extensiones de Transmilenio, Tren de Cercanías, transporte público convencional reorganizado).</p> <p>Mientras que Tsm es un único valor, para cada alternativa de red de Metro (i) se obtendrá un valor de Tcm.</p> <p>La reducción del tiempo medio de viaje para cada red (i) será:</p> $R_i = T_{sm} - T_{cm_i}$
Unidad de medición	Minutos
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Datos obtenidos directamente del modelo de transporte del 2038
Base de datos	(Producto 15)



I2.1.2. Número medio de transbordos en la red de Transporte Masivo	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Número medio de trasbordos en la red de Transporte Masivo</i></b></p> <p>El número medio de transbordos en la red de Transporte Masivo es el resultado de medir el número medio de trasbordos entre modos del sistema de Transporte Masivo en la asignación de la matriz de transporte público del año 2038 sobre cada una de las alternativas de red de Metro.</p> <p>Dicho valor se obtiene como cociente entre el número total de transbordos realizados en los diferentes sistemas masivos (Metro, TransMilenio y Tren de Cercanías) y el número total de viajes realizados en el conjunto del sistema de Transporte Masivo.</p> <p>En concreto, la formulación empleada a partir de los insumos directos de la modelización de cada uno de los escenarios de red planteados para el escenario de demanda pico de mañana del año 2038 será la siguiente:</p> $\frac{\#trans(TM - M \text{ ó } C) + \#trans(M - C)}{\#viajes}$ <p>Siendo:</p> <p>#trans(TM – M ó C) = número de transbordos entre Transmilenio y Metro ó Tren de Cercanías (insumo directo del modelo)</p> <p>#trans(M - C) = número de transbordos entre Metro y Tren de Cercanías (insumo directo del modelo)</p> <p>#viajes = número total de viajes realizados en Transporte Masivo (insumo directo del modelo)</p> <p>Cuanto mayor sea el número medio de trasbordos peor desempeño obtendrá cada alternativa en la evaluación de este indicador.</p> <p>Nota:</p> <p>Transporte Masivo = Transmilenio + Metro + Tren de Cercanías</p> <p>Transporte Público = Transporte Masivo + Transporte Público Convencional reorganizado</p>
Unidad de medición	Número
Signo	-
Metodología de proyección de variables	Datos obtenidos directamente del modelo de transporte del 2038
Base de datos	(Producto 15)

## Objetivo 2.2. Inducir una mayor captación de los modos de transporte público

Para la evaluación de las diferentes propuestas de red, resulta relevante el conocimiento y estimación de la demanda de servicio, tanto la inducida como la atraída de otros modos de transporte público; en este sentido, se plantea la cuantificación de tres indicadores descritos a continuación:

<b>I2.2.1. Demanda captada del modo privado</b>	
Metodología de cálculo	<b><i>Demanda captada por el transporte público al modo privado en hora pico</i></b>  Para cada una de las distintas alternativas de red, y tomando en consideración la red formada por el resto de modos públicos, se medirá con el modelo de transporte la demanda que la configuración del sistema de transporte público propuesta permite captar al modo privado, considerándose que la alternativa de Metro que obtiene un mejor resultado frente al presente indicador es aquella que permite una mayor captación de viajeros del modo privado.
Unidad de medición	Nº pasajeros
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Datos obtenidos directamente del modelo de transporte del 2038
Base de datos	(Producto 15)

<b>I2.2.2. Demanda del sistema Metro</b>	
Metodología de cálculo	<b><i>Volumen de usuarios del sistema Metro en hora pico</i></b>  A partir de la implementación del modelo de transporte sobre cada una de las distintas alternativas de red de Metro propuestas, se cuantificará el volumen de viajes realizados en este sistema durante la hora pico.  La alternativa que genere un mayor volumen de demanda será la que obtenga un mejor resultado para el presente indicador.
Unidad de medición	Nº pasajeros
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Datos obtenidos directamente del modelo de transporte del 2038
Base de datos	(Producto 15)

I2.2.3. Demanda del sistema de Transporte Masivo	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Volumen de usuarios de los sistemas de Transporte Masivo en hora pico</i></b></p> <p>Mediante el modelo de transporte se evaluará el resultado de viajes en transporte público masivo para la hora pico, para las distintas alternativas de red de Metro propuestas.</p> <p>La alternativa que genere un mayor volumen de demanda será la que obtenga un mejor resultado para el presente indicador.</p> <p>Nota: Transporte Masivo = Transmilenio + Metro + Tren de Cercanías</p>
Unidad de medición	Nº pasajeros
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Datos obtenidos directamente del modelo de transporte del 2038
Base de datos	(Producto 15)

### 3.3 Eje 3: Impacto sobre la oferta de transporte

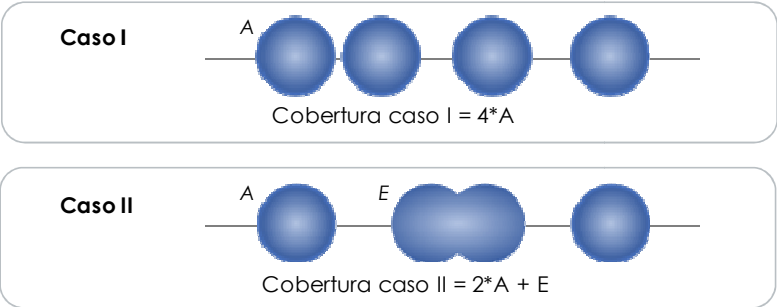
Análogamente al eje anterior, se presentan una serie de indicadores seleccionados específicamente para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en materia de oferta de transporte asociada a las alternativas de red analizadas.

#### **Objetivo 3.1. Diseñar una red de Metro de amplia cobertura y operacionalmente productiva**

Con el objeto de valorar la eficiencia operativa de cada alternativa de red, así como su cobertura, se plantean los siguientes dos indicadores:

I3.1.1. IPK Metro	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Índice de pasajeros por vehículo-kilómetro (IPK)</i></b></p> <p>A partir del modelo de transporte se obtendrán los datos correspondientes a los pasajeros que emplean cada línea de Metro para el escenario del año 2038. En base a la definición de los servicios realizados para cada alternativa de desarrollo, se calcularán los veh-km recorridos en cada línea de Metro.</p>

I3.1.1. IPK Metro	
	El IPK es el cociente entre ambos factores, siendo la alternativa que arroje un IPK más alto la que obtendrá un mejor desempeño para este indicador.
Unidad de medición	Pax/veh-km
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Datos obtenidos directamente del modelo de transporte del 2038
Base de datos	(Producto 15)

I3.1.2. Cobertura de la red Metro	
Metodología de cálculo	<p><b>Superficie total cubierta por la red de Metro</b></p> <p>A partir del diseño en planta de cada propuesta de red, se calculará la superficie cubierta del siguiente modo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– En las estaciones, la superficie corresponderá a la de un círculo de radio 500 metros centrado en la estación</li> </ul> <p>La suma de los envoltentes de todas estas superficies determinará la cobertura de la red, considerándose la puntuación directamente proporcional a la superficie cubierta.</p> <p>Ejemplo:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>A: Superficie de cobertura de una estación (radio 500 metros) E: Envoltente de superficie de cobertura de estaciones (radio 500 metros)</p>
Unidad de medición	m <sup>2</sup>
Signo	+

I3.1.2. Cobertura de la red Metro	
Metodología de proyección de variables	No aplica, no se proyectan variables
Base de datos	(Producto 15)

### Objetivo 3.2. Compatibilizar la red Metro con el sistema de transporte público

Concretamente, a nivel de relación con el transporte público de la ciudad, se valorará la relación de cada una de las alternativas de red con la red de Transmilenio en base a la valoración de los siguientes dos indicadores:

I3.2.1. Nivel de integración con el sistema de Transporte Público Convencional del SITP	
Metodología de cálculo	<b><i>Número de rutas con las que puede producirse intercambio modal</i></b> En base a la definición del escenario del año 2038, se identificarán los puntos de conexión de la red Metro (en estaciones) con la red de transporte público convencional acorde con el SITP, de modo que la red que genere puntos de intercambio modal con un mayor número de rutas de bus será aquella que se valore con una mejor puntuación.
Unidad de medición	Nº de rutas
Signo	+
Metodología de proyección de variables	No aplica, no se proyectan variables
Base de datos	(Producto 15)

I3.2.2. Estaciones de intercambio de pasajeros en el sistema de Transporte Masivo	
Metodología de cálculo	<b><i>Número de estaciones que permiten la intermodalidad entre Metro, Transmilenio y Tren de Cercanías</i></b> Partiendo de la definición del escenario del año 2038, se identificarán los puntos de conexión de la red Metro (en estaciones) con el sistema de Transmilenio (en estaciones) y Tren de Cercanías (en estaciones) definido para dicho horizonte, de modo que la red que genere un mayor número de puntos de intercambio modal será aquella que se valore con una mejor puntuación.
Unidad de medición	Nº de conexiones

I3.2.2. Estaciones de intercambio de pasajeros en el sistema de Transporte Masivo	
Signo	+
Metodología de proyección de variables	No aplica, no se proyectan variables
Base de datos	(Producto 15)

### 3.4 Eje 4: Impacto ambiental

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en relación a diferentes aspectos ambientales asociados a las alternativas de red analizadas.

#### Objetivo 4.1. Mitigar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema

Con el fin de evaluar el nivel de cumplimiento del presente objetivo se han definido los siguientes dos indicadores:

I4.1.1. Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro	
Metodología de cálculo	<p><b>Minimización de los impactos derivados de la implantación y operación</b></p> <p>Una vez establecidas las distintas alternativas de red y su tipología constructiva, el conjunto de expertos ambientales del Grupo Consultor realizará una evaluación comparada de los impactos ambientales que genere cada propuesta.</p> <p>Una vez se cuente con la validación de estas hipótesis por parte del Cliente, se asignará la mayor puntuación (valor adimensional) para este indicador a aquella alternativa que genere un menor impacto ambiental.</p> <p>Nota: evaluación comparada implica que no se determinarán de forma exhaustiva todos los impactos, sino aquellos que generen diferencias entre las distintas propuestas.</p>
Unidad de medición	Valor adimensional
Signo	-
Metodología de proyección de variables	Estimaciones realizadas por el área de expertos ambientales del Grupo Consultor

<b>14.1.1. Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro</b>	
Base de datos	(Producto 15)

<b>14.1.2. Efecto barrera visual y urbano del Metro</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Longitud de infraestructura (km) factorizada por tramos según tipología estructural</i></b></p> <p>La medición del efecto barrera visual que genera una infraestructura como es el Metro se propone con la siguiente metodología:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcular la longitud de red en superficie, en viaducto y en túnel</li> <li>2. Considerándose diferentes grados de impacto por efecto barrera (visual y urbano) de las diferentes tipologías estructurales de los tramos, se calculará:</li> </ol> $Eb = \alpha \cdot L_{viaducto} + \beta \cdot L_{superficie} + \gamma \cdot L_{túnel}$ <p>Siendo:</p> <p>Eb = efecto barrera visual y urbano (medido en km)</p> <p>Lviaducto = longitud total de los tramos en viaducto (km)</p> <p>Lsuperficie = longitud total de los tramos en superficie (km)</p> <p>Ltúnel = longitud total de los tramos en túnel (km)</p> <p><math>\alpha</math> = factor de penalización para tramo en viaducto</p> <p><math>\beta</math> = factor de penalización para tramo en superficie</p> <p><math>\gamma</math> = factor de penalización para tramo en túnel</p> <p>A continuación se especifican los valores asignados conjuntamente por el Grupo Consultor y la SDA a cada uno de los factores de penalización, de acuerdo a criterios de impacto visual y urbano (viario, inmobiliario, etc.):</p> <p><math>\alpha = 1.0</math>, atendiendo a que la estructura en viaducto representa un impacto visual relevante y urbano poco relevante</p> <p><math>\beta = 5.0</math>, atendiendo a que la estructura en superficie representa sendos impactos visual y urbano relevantes</p> <p><math>\gamma = 0.0</math>, atendiendo a que la estructura en túnel no supone impacto alguno ni visual ni urbano</p> <p>La propuesta de red que arroje una longitud menor para Eb será aquella que obtenga un mejor desempeño para el presente indicador.</p>
Unidad de medición	Km

14.1.2. Efecto barrera visual y urbano del Metro	
Signo	-
Metodología de proyección de variables	No aplica, no se proyectan variables
Base de datos	(Producto 15)

### 3.5 Eje 5: Impacto socio-económico

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en relación a diferentes aspectos socio-económicos asociados a las alternativas de red analizadas.

#### Objetivo 5.1. Favorecer la mejora de condiciones de accesibilidad de la población de menores recursos

Para la valoración de cada alternativa de red en términos de mejora de la calidad de vida de aquellos estratos sociales más desfavorecidos se ha determinado el siguiente indicador:

15.1.1. Accesibilidad a los estratos de menores recursos	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Demanda de estratos 1,2,3 / demanda total del sistema</i></b></p> <p>La modelización de las distintas alternativas de red permitirá cuantificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La demanda total del sistema Metro para el año 2038</li> <li>- El volumen de demanda asociada a las distintas zonas de transporte consideradas (entre ellas, las correspondientes a los estratos sociales de menores recursos) para el año 2038</li> </ul> <p>Dadas estas informaciones para cada una de las alternativas de red, la relación entre ambas permite valorar el peso de la demanda de los estratos de menores recursos dentro de la demanda total, indicativo de la accesibilidad a cada alternativa de red por parte de dichos estratos.</p> <p>La alternativa de red que suponga un mayor cociente será la que obtenga una mejor puntuación en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	%
Signo	+
Metodología de	Datos obtenidos directamente del modelo de transporte del 2038



15.1.1. Accesibilidad a los estratos de menores recursos	
proyección de variables	
Base de datos	(Producto 15)

## Objetivo 5.2. Minimizar los costos sociales

Los siguientes dos indicadores tienen por objeto cuantificar la reducción de costes externos del tránsito viario debido a la implantación de una determinada alternativa de red:

15.2.1. Ahorro en costos operacionales	
Metodología de cálculo	<p><b>Ahorro en costos operacionales por aumento de la velocidad comercial del SITP</b></p> <p>Las diferentes alternativas de red planteadas, una vez modeladas, permitirán concebir distintos sistemas integrales de transporte público.</p> <p>Para cada uno de estos, se valorará la velocidad comercial promedio en los diferentes sistemas de transporte integrados, lo cual derivará en un costo operacional determinado para cada uno de ellos.</p> <p>Aunando los costos operacionales para cada uno de los sistemas de transporte en cada sistema resultante de cada alternativa de red Metro planteada, se cuantificará el coste operacional del sistema que, comparado con el escenario del año 2038 sin Metro, permitirá cuantificar el correspondiente ahorro.</p> <p>La propuesta de red que suponga un mayor ahorro de costos operacionales será la que obtenga una mayor puntuación del indicador.</p>
Unidad de medición	COP
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Proyección de costos operacionales a precios constantes
Base de datos	(Producto 15)

15.2.2. Reasentamientos derivados de la implementación del Metro	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Población que deberá ser desplazada por la implementación del Metro</i></b></p> <p>Cada una de las alternativas de red planteadas supondrá una afectación espacial, concretamente de espacio residencial, la cual supondrá la necesidad de reubicar población en otras zonas.</p> <p>La medición del indicador se realiza en base a una estratificación urbana, la cual determina el número de predios de uso residencial afectados espacialmente por la red de metro. Sobre este número de predios, y según estrato social, se asocia un ratio de viviendas por predio, hogares por vivienda, y personas por vivienda, resultando en un número total de personas afectadas.</p> <p>La alternativa de red cuya afectación espacial suponga una menor afectación a personas habitantes en el espacio de afectación de los corredores de la red, obtendrá una mejor puntuación en dicho indicador (menor número de personas afectadas).</p>
Unidad de medición	Nº personas
Signo	-
Metodología de proyección de variables	Estimaciones a realizar por el área urbanística del Grupo Consultor en base a las previsiones de desarrollo y el trazado de las alternativas de red
Base de datos	(Producto 15)

### 3.6 Eje 6: Impacto financiero

Finalmente, se presentan una serie de cinco indicadores seleccionados para valorar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en relación a aspectos financieros para cada alternativa de red.

#### Objetivo 6.1 Valorar la capacidad financiera del Distrito Capital frente a la inversión

La capacidad de financiación de la inversión asociada a cada alternativa de red se valora en base al cálculo del siguiente indicador:

16.1.1. Capacidad de financiación de la inversión	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Capacidad de Financiación de la Inversión</i></b></p> <p>Es para el Grupo Consultor una realidad que los recursos disponibles por el Distrito en relación los requerimientos de inversión que se estiman serán necesarios para llevar a cabo la Primera Línea del Metro para la ciudad son limitados a pesar de que las finanzas del Distrito son bastante sanas en la actualidad. Este es un proyecto, que como ya ha sido mencionado</p>

### 16.1.1.

### Capacidad de financiación de la inversión

anteriormente, puede consumir las capacidades de financiación disponibles para la ciudad principalmente durante los años en los cuales se realice la construcción de la infraestructura del Metro.

Es derivado de esta limitación que surge la necesidad de evaluar para las distintas alternativas de red Metro que se planteen la capacidad financiera del Distrito para soportar adecuadamente los requerimientos de inversión que cada una de ellas represente. Adicionalmente, se deberá incorporar en el cálculo del indicador que se establezca para ponderar esta situación, la posibilidad de vinculación de privados al desarrollo de la infraestructura del proyecto que reduzca la presión existente sobre las finanzas del Distrito.

De esta forma, el indicador que se pretende plantear aquí incorporara la capacidad de financiación del Distrito después de reducir los montos de inversión del proyecto por la incorporación de capital privado al mismo.

Otro aspecto a tener en cuenta para calcular este indicador y otros que involucren costos estimados de inversión, de operación y de mantenimiento principalmente, será el hecho de que dichos datos tendrán unos valores gruesos y de alguna manera superficiales por la poca madurez en el conocimiento y definición detallados de tipologías, tipos constructivos a ser utilizados, entre otros aspectos.

Por otra parte, y considerando la importancia de la tasa de descuento utilizada en el cálculo de este indicador, se evaluará la posibilidad de incorporar ejercicios de sensibilidad del indicador a dicha tasa.

La forma de cuantificar el objetivo aquí planteado se detalla a continuación:

Datos de Ingreso al Indicador:

- MI: Monto estimado de la inversión para el desarrollo del proyecto incluido material móvil para el año (i).
- MP: Monto estimado de inversiones en el proyecto que pueden ser asumidos por el sector privado (valor estimado de las obras de infraestructuras asociadas a las estaciones, material móvil, montos estimados de inversión en infraestructura asociados a tramos de la Primera Línea del Metro que no sean desarrollados de manera subterránea) para el año (i).
- CE: Capacidad estimada de financiación del Distrito en Valor Presente.
- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente

Forma de cálculo del indicador:

- CF: Capacidad de Financiación del Distrito
- Al Valor Presente de monto estimado total de la inversión le restamos el monto total de las inversiones que pueden ser asumidas por el privado
- La capacidad estimada de financiación del Distrito en Valor Presente se divide entre el número resultante del cálculo realizado

I6.1.1. Capacidad de financiación de la inversión	
	<p>anteriormente.</p> $CF = \frac{CE}{\sum \frac{MI_i - MP_i}{(1+T)^i}}$ <p>El valor resultante de aplicar la fórmula anterior sería un porcentaje que determina que porción del proyecto puede ser financiado por el Distrito.</p>
Unidad de medición	%
Signo	+
Metodología de proyección de variables	Proyección a precios constantes
Base de datos	(Producto 15)

## Objetivo 6.2. Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones

La evaluación de este objetivo del eje financiero se articula en base al siguiente indicador:

I6.2.1. VPN de la inversión por kilómetro	
Metodología de cálculo	<p><b>Valor Presente Neto (VPN) de la inversión por km de Proyecto</b></p> <p>Este objetivo busca que se determine, para las distintas alternativas de red Metro determinadas, cual tendría un Valor Presente Neto menor por kilómetro construido de red de tal manera que se busque optimizar los valores invertidos en el desarrollo del proyecto incluido el material móvil requerido para un nivel de operación inicialmente estimado.</p> <p>Para efectos de calcular este indicador se definirá un horizonte de tiempo igual para todas las alternativas de red a ser evaluadas.</p> <p>Por otra parte, y considerando la importancia de la tasa de descuento utilizada en el cálculo de este indicador, se evaluará la posibilidad de incorporar ejercicios de sensibilidad del indicador a dicha tasa.</p> <p>La forma de cuantificar el objetivo aquí planteado se detalla a continuación:</p> <p>Datos de ingreso al indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MI (i): Monto estimado de inversión para el desarrollo del proyecto incluido material móvil para el año (i)</li> <li>- KM: Kilómetros de construcción para cada una de las alternativas de red propuesta</li> <li>- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente</li> </ul>

16.2.1. VPN de la inversión por kilómetro	
	<p>Forma de cálculo del indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MITK: Monto total estimado de la inversión por kilómetro en Valor Presente para el desarrollo del proyecto incluido material móvil requerido para la operación del sistema</li> </ul> $MITK = \frac{\sum \frac{MI_i}{(1+t)^i}}{KM}$ <p>El valor resultante de aplicar la fórmula anterior sería un valor en Pesos o Dólares que determina el Valor Presente estimado de inversión por kilómetro de cada alternativa de red planteada. Como se mencionó anteriormente, se pretende premiar aquellas alternativas que resulten en valores menores de este indicador.</p>
Unidad de medición	Total de inversión (COP ó USD) / Kilómetro
Signo	-
Metodología de proyección de variables	Proyección de inversiones a precios constantes
Base de datos	(Producto 15)

### Objetivo 6.3. Maximizar la eficiencia de la inversión

La evaluación de este objetivo del eje financiero se articula en base a un total de dos indicadores:

16.3.1. Inversión por pasajero (red Metro)	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Inversión por pasajero</i></b></p> <p>Este indicador se orienta a determinar, para las distintas alternativas de red Metro determinadas, cual tendría una inversión menor por pasajero transportado por la red de tal manera que se busque optimizar los valores invertidos en el desarrollo del proyecto incluido el material móvil requerido para un nivel de operación inicialmente estimado.</p> <p>Para efectos de calcular este indicador se definirá un horizonte de tiempo igual para todas las alternativas de red a ser evaluadas (año 2038).</p> <p>El resultado del indicador es el cociente entre la inversión total en la red en precios constantes respecto los pasajeros transportados en el año 2038. Como se mencionó anteriormente, se pretende premiar aquellas alternativas que resulten en valores menores de este indicador.</p>
Unidad de medición	Total de inversión (COP ó USD) / Pasajero

<b>I6.3.1. Inversión por pasajero (red Metro)</b>	
Signo	-
Metodología de proyección de variables	Proyección a precios constantes
Base de datos	(Producto 15)

<b>I6.3.2. Costos de operación y mantenimiento por pasajero (red Metro)</b>	
Metodología de cálculo	<p><b>Costos de operación y mantenimiento por pasajero de la red de Metro</b></p> <p>Este objetivo busca que se determine, para las distintas alternativas de red Metro determinadas, cual tendría un menor costo de operación y mantenimiento por pasajero transportado por la red, de tal manera que se busque optimizar la operación del sistema.</p> <p>Para efectos de calcular este indicador se definirá un horizonte de tiempo igual para todas las alternativas de red a ser evaluadas (año 2038)</p> <p>Se estimará en base a estándares de operación internacionales, en función del diseño de las redes un costo operacional y de mantenimiento por Km para cada una de las alternativas.</p> <p>El resultado del indicador es el cociente entre los costos de operación y mantenimiento de la explotación en el año 2038 a precios constantes respecto los pasajeros transportados dicho año. Aquella alternativa que arroje menor costo por pasajero será la que obtenga un mejor desempeño en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	Total de costos operación y mantenimiento (COP ó USD) / Pasajero
Signo	-
Metodología de proyección de variables	Proyección de costos a precios constantes
Base de datos	(Producto 15)

## Objetivo 6.4. Mitigar los riesgos

La evaluación de este objetivo del eje financiero se articula en base a un total de dos indicadores:

16.4.1. Proporción de red en túnel respecto la longitud total de red Metro	
Metodología de cálculo	<p><b>Relación entre la extensión de red en subterránea y la longitud total de la red</b></p> <p>Para las diferentes alternativas de red planteadas, se determinará:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud de línea subterránea</li> <li>• Longitud de red total</li> </ul> <p>Aunando las diferentes longitudes en tramo de túnel para cada uno de las alternativas de trazado de red, se cuantificaran los kilómetros de red en subterráneo y totales.</p> <p>La propuesta de red que suponga una menor proporción de extensión en subterráneo será la que obtenga una mayor puntuación del indicador.</p>
Unidad de medición	%
Signo	-
Metodología de proyección de variables	No aplica, no hay que proyectar variables
Base de datos	(Producto 15)
16.4.2. Proporción de redes de servicios afectadas respecto la longitud total de Metro	
Metodología de cálculo	<p><b>Relación entre la longitud de servicios afectados y la longitud total de la red</b></p> <p>Para las diferentes alternativas de red planteadas, se determinará:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud de servicios afectados</li> <li>• Longitud de red total</li> </ul> <p>Aunando las diferentes longitudes de servicios afectados, de medirá la proporción que estos representan respecto la longitud total de red Metro</p> <p>La propuesta de red que suponga una mayor extensión de servicios afectados será la que obtenga una menor puntuación del indicador.</p>
Unidad de medición	%
Signo	-

<b>16.4.2. Proporción de redes de servicios afectadas respecto la longitud total de Metro</b>	
Metodología de proyección de variables	No aplica, no hay que proyectar variables
Base de datos	(Producto 15)



## 4 METODOLOGÍA DE NORMALIZACIÓN DE LOS INDICADORES

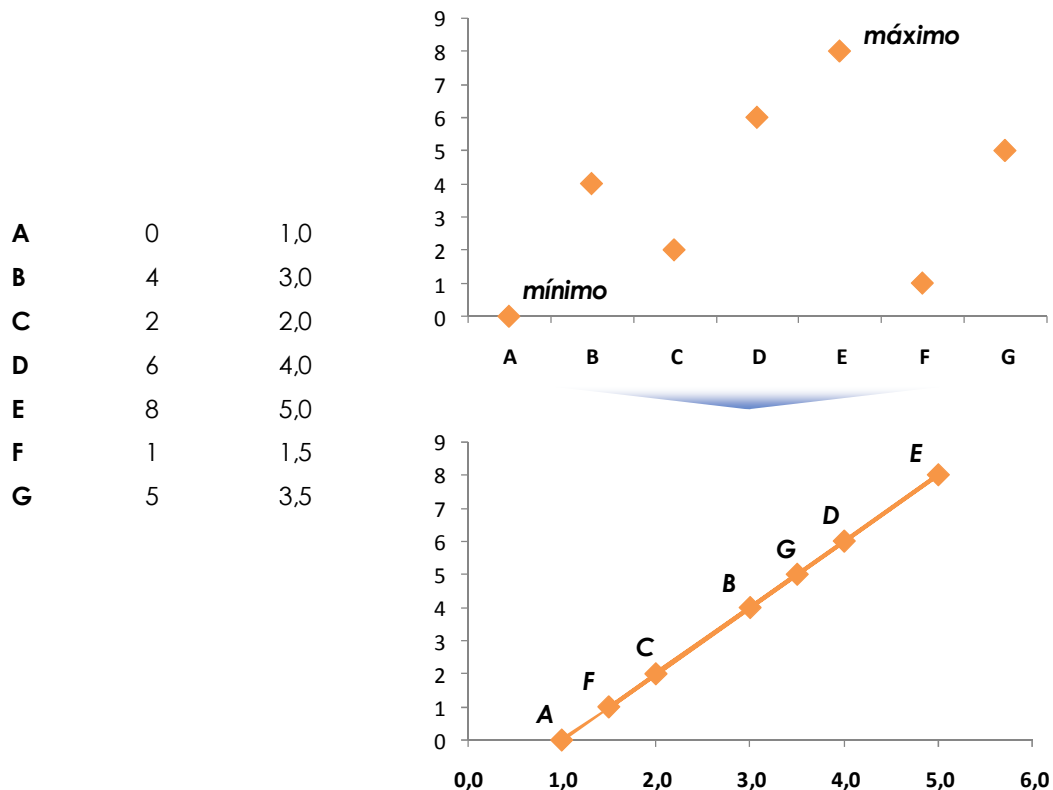
Para la evaluación de las diferentes propuestas, se procederá a calcular cada uno de los indicadores que se definen en el capítulo 3 para evaluar el nivel de cumplimiento de los objetivos presentados anteriormente.

Una vez calculados dichos indicadores, se procederá a normalizar los valores obtenidos, de modo que se pueda realizar una evaluación multicriterio en términos comparables.

Para ello, se concederá un 5 a la alternativa que mejor responda al indicador en cuestión, y se le otorgará un 1 a la propuesta con un peor desempeño. Al resto de alternativas se les asignarán mediante regresión lineal valores entre 1 y 5 proporcionales a los resultados de valoración del indicador.

Adicionalmente, al indicador se le asignará un signo positivo o negativo a cada indicador, en función si éste actúa en beneficio o en perjuicio del objetivo bajo el que se enmarca, respectivamente.

Figura 4-1. Procedimiento de normalización de variables



Fuente: Elaboración propia

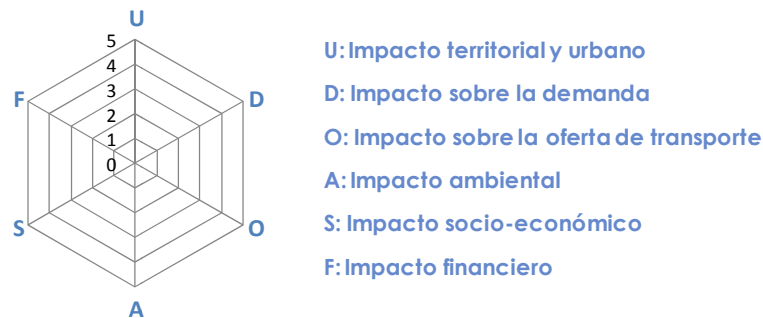
Una vez normalizados los indicadores, se agregará su resultado para evaluar el nivel de cumplimiento de cada objetivo, y estos se agregarán nuevamente para determinar el nivel de impacto sobre cada eje de análisis.

Para proceder a dicha agregación, se podrán considerar ponderaciones para los distintos indicadores, objetivos y ejes, de modo que se pueda, por una parte, establecer distintos niveles de importancia a cada aspecto y, en segundo lugar, realizar análisis de sensibilidad para evaluar el nivel de robustez de la alternativa que se escoja.

Para el desarrollo de esta metodología de cálculo, el Grupo Consultor desarrollará una hoja de cálculo tipo Excel que permitirá hacer distintos ensayos en base a los distintos pesos que se planteen, y que quedará a disposición de la Contraparte una vez finalizada la actividad (Producto 15).

Los resultados obtenidos se representarán mediante gráficos radiales, donde cada vértice corresponderá a un eje de análisis, tal como se ejemplifica en la siguiente figura. Dicha representación dará lugar a una superficie cuya forma vendrá determinada por el valor normalizado correspondiente a cada eje de análisis.

**Figura 4-2. Representación gráfica de la normalización de variables**

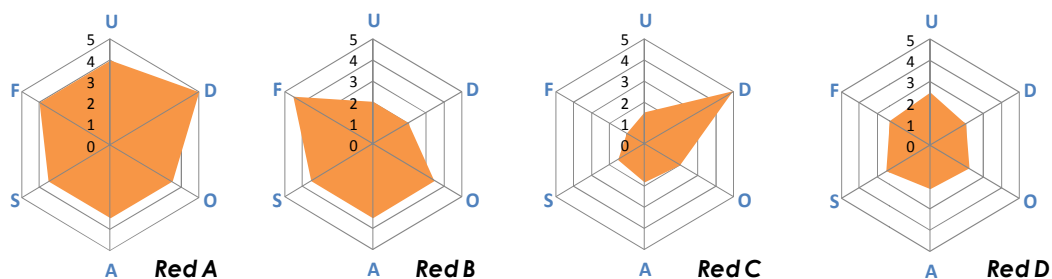


Fuente: Elaboración propia

Esta representación gráfica permite identificar visualmente el comportamiento de las alternativas en términos de impacto sobre cada uno de los ejes de análisis, Cabe destacar que una superficie mayor, homogénea en todos sus ejes, es representativa de una alternativa de red con mejor desempeño global (caso de la Red A en el ejemplo representado en la figura).

Asimismo, a igual superficie, dos alternativas de red pueden ser valoradas de manera distinta por estar en un caso uno de los ejes muy valorado en detrimento de los otros (Red C), y en el otro todos valorados de manera homogénea (Red D).

**Figura 4-3. Ejemplo de aplicación de la metodología para la evaluación de 4 redes**



Fuente: Elaboración propia

## 5 EVALUACIÓN COMPARADA DE ALTERNATIVAS

### 5.1 Antecedentes teóricos: la ponderación de variables

Con miras a completar la metodología para la evaluación de redes propuesta en el presente documento, se plantean a continuación los criterios relacionados con la ponderación de los aspectos anteriormente expuestos.

Primeramente, mencionar que existen tres posibles niveles de ponderación:

- **Ponderación por indicador:** consistente en asignar a cada uno de los indicadores empleados para la evaluación de un determinado objetivo pesos distintos, de modo que no todos los indicadores tengan el mismo efecto en la evaluación del nivel de cumplimiento de dicho objetivo, sin que ello afecte ni al peso del objetivo dentro del eje de análisis ni a la relevancia del eje en cuestión respecto al resto de ejes
- **Ponderación por objetivo:** en este caso, se le asignan pesos diferenciales a los diferentes objetivos que componen la evaluación del impacto para un determinado eje, sin que ello afecte a la valoración relativa de los distintos indicadores que componen dicho objetivo ni a la ponderación entre ejes
- **Ponderación por eje:** nivel superior de evaluación ponderada, en el que se asignan diferentes pesos a los ejes de análisis que componen la evaluación multicriterio, sin alterar los pesos relativos entre los diferentes objetivos que componen cada eje ni entre los indicadores que pertenecen a cada objetivo

En este contexto, el Grupo Consultor empleará para el desarrollo del Producto 15 una hoja de cálculo que permita asignar las diferentes opciones de ponderación para ejes e indicadores de cada una de las alternativas evaluadas.

Tabla 5-1. Ejemplo de evaluación multicriterio ponderada

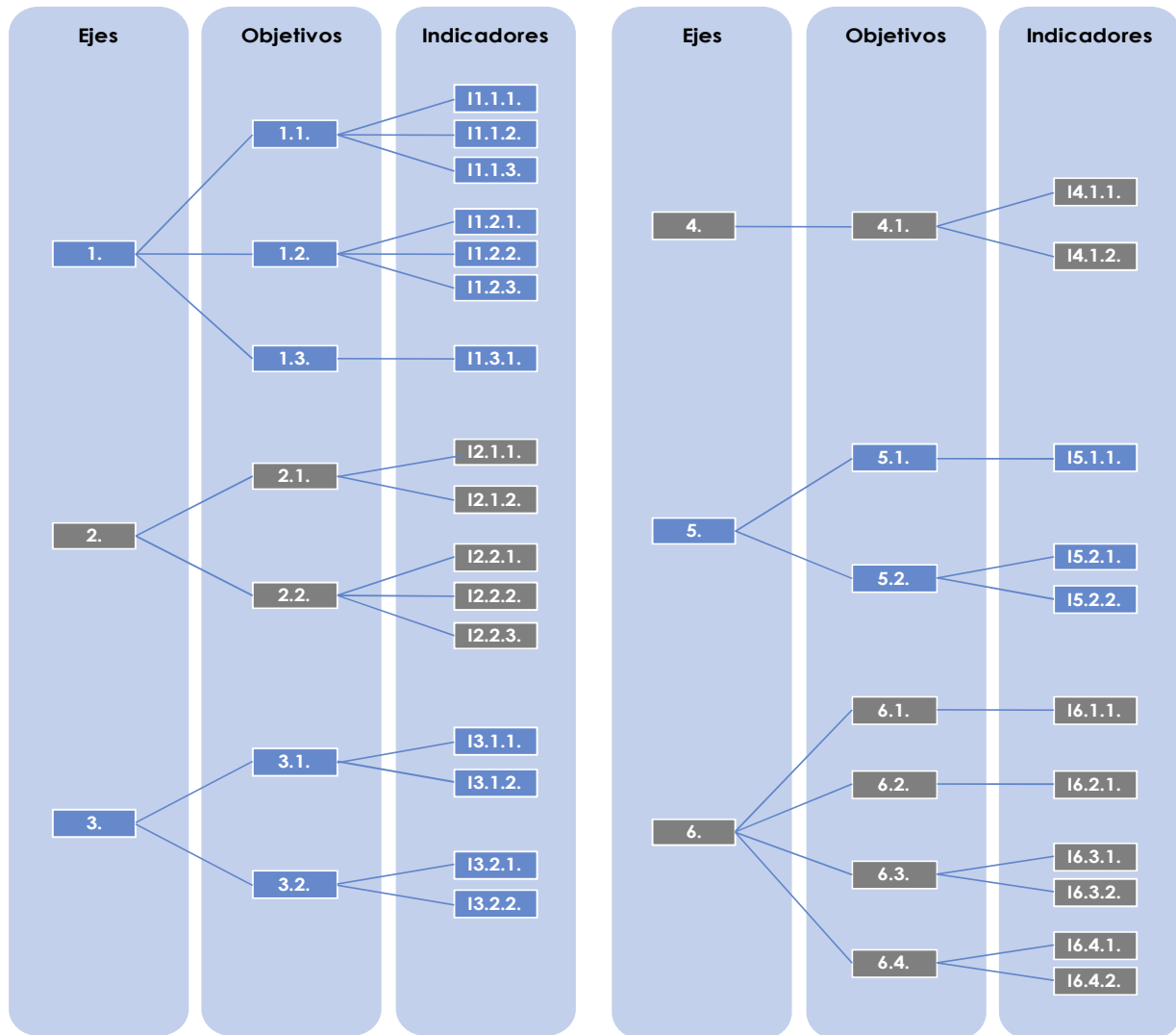
Relación costo-eficiencia								
Peso (por uno)	0,05	0,10	0,15	0,05	0,10	0,05	Total =	1,0
Tecnologías \ Variables	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Promedio Lineal	Promedio Ponderado
Autobús	4,39	4,57	4,59	4,19	3,01	5,00	4,29	2,13
Autobuses guiados	3,99	3,82	4,36	2,11	2,73	5,00	3,67	1,86
Trolebús	4,39	3,82	4,59	2,11	2,73	5,00	3,77	1,92
Metro con ruedas neumáticas	1,00	2,36	4,53	3,70	2,03	2,00	2,60	1,45
Metro Convencional	1,73	2,92	4,63	4,09	2,56	2,50	3,07	1,66
Metro Ligero	2,43	3,42	4,31	3,29	3,14	3,20	3,30	1,75
Tram-tren	2,18	3,42	4,24	3,29	3,14	2,95	3,20	1,71
Tranvía	3,59	4,07	4,64	4,19	3,89	3,63	4,00	2,06
Tranvía con ruedas neumáticas	3,23	3,87	4,54	3,91	3,66	3,75	3,83	1,98

Fuente: ALG (Evaluación de la relación costo-eficiencia de distintas tecnologías de transporte, según 6 indicadores – C1 a C6)

## 5.2 Bloque 1: evaluación lineal de las alternativas

El árbol de evaluación resultado de la metodología planteada está formado por 6 estructuras independientes con dos subniveles cada una, tal como se presenta en la figura siguiente:

Figura 5-1. Árbol de evaluación



Fuente: Elaboración propia

El Grupo Consultor propone que una vez calculados todos los indicadores, se proceda a la normalización de los mismos y posterior agregación lineal, sin aplicar pesos diferenciales a los distintos criterios. El resultado obtenido se denominará **“Propuesta resultante de la evaluación lineal”**.

### 5.3 Bloque 2: análisis de robustez de las alternativas

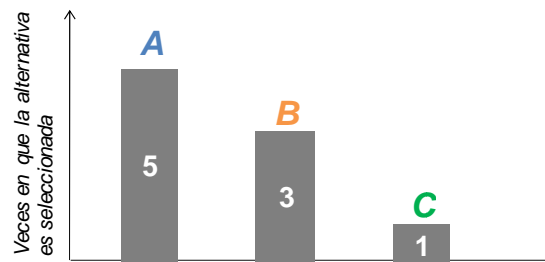
En el marco de la metodología multicriterio considerada, el Grupo Consultor plantea establecer la validez de la propuesta resultante de la evaluación lineal con un análisis del comportamiento del resultado frente a los diferentes escenarios o hipótesis de ponderación posibles. Es decir, identificar la alternativa de red más robusta, aquella que resulta más veces seleccionable bajo múltiples hipótesis de ponderación de los ejes de análisis.

El análisis de robustez posibilita observar la importancia de los diferentes ejes en cada una de las hipótesis planteadas en la elección de la alternativa óptima. En consecuencia, permite advertir cual de las alternativas en el análisis multicriterio es la que ha sido seleccionada más veces en las diferentes hipótesis de combinaciones consideradas; es decir, qué alternativa de red tiene mejor valoración bajo las posibles hipótesis de criterios de ponderación, lo cual deriva en la solución más robusta (mayor número de veces seleccionable).

**Figura 5-2. Análisis de robustez: ejemplo de aplicación**

Hipótesis de ponderación	Alternativa seleccionada
1	Alternativa A
2	Alternativa A
3	Alternativa C
4	Alternativa B
5	Alternativa A
6	Alternativa A
7	Alternativa B
8	Alternativa B
9	Alternativa A

- La alternativa A es la que es más veces escogida como alternativa óptima en las hipótesis de criterios de ponderación, lo cual deriva en la solución más robusta (mayor número de veces seleccionable)



Fuente: Elaboración propia

### 5.4 Bloque 3: propuesta de ponderación de ejes e indicadores de las entidades que participan en la toma de decisiones

Tal como se ha comentado en el capítulo 1, se ha desarrollado un módulo optativo que mediante un proceso de análisis de jerarquización de procesos (metodología AHP, por sus siglas en inglés), permite realizar propuestas diferenciales de ponderación de ejes (según los aspectos mayormente valorados por parte de los entes que intervienen en el proceso de toma de decisiones) y agregarlas en una propuesta de ponderación global.

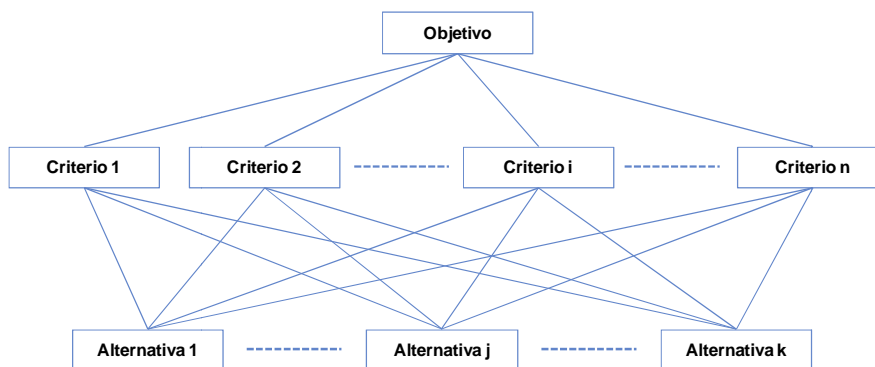
AHP es un sistema flexible de metodología de análisis de decisión multicriterio para ayudar a la toma de decisiones complejas, formulando el problema de decisión de un modo lógico y racional, pudiendo ser aplicado a diferentes campos.

El Proceso Jerárquico de Análisis, conocido como AHP por sus siglas en inglés (Analytical Hierarchy Process), fue desarrollado en la década de los 70 por el matemático Thomas L. Saaty, con el propósito de resolver el tratado de reducción de armamento estratégico entre los Estados Unidos y la antigua URSS, y posteriormente ha sido aplicado con éxito en procesos de ingeniería de procesos y diseños conceptuales como el relacionado con el presente Estudio.

Este proceso es un sistema flexible de análisis de decisión multicriterio discreta (número finito de alternativas u opciones de elección). Mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite organizar la información relacionada con un problema de decisión de una manera eficiente y gráfica, descomponerla y estudiarla por partes, visualizar los efectos de modificaciones en los niveles y compendiar.

Este proceso se desarrolla mediante varias etapas; en primer lugar, se formula el problema de decisión en una estructura jerárquica. El decisor involucrado debe desglosar jerárquicamente el problema en sus componentes relevantes (meta u objetivo general, criterios y alternativas). La jerarquía se construye de modo que los elementos de un mismo nivel sean del mismo orden de magnitud y puedan relacionarse con algunos o todos los elementos del siguiente nivel.

**Figura 5-3. Modelo jerárquico para la toma de decisiones con el AHP**



Fuente: T.L. Saaty

La segunda etapa del proceso de AHP consiste en la valoración de los elementos, donde el decisor debe emitir sus juicios de valor o preferencias en cada uno de los niveles jerárquicos establecidos.

Esta tarea consiste en realizar comparaciones binarias de valores subjetivos: el decisor tiene que emitir juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios y de las alternativas, de forma que quede reflejado la dominación relativa, en términos de importancia, preferencia o probabilidad, de un elemento frente a otro.

El AHP permite realizar las comparaciones binarias basándose tanto en factores cuantitativos (aspectos tangibles) como cualitativos (aspectos no tangibles), ya que presenta su propia escala de medida: la escala 1-9 propuesta por Saaty y recogida en la tabla siguiente:

**Tabla 5-2. Escala de medidas de Saaty**

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más fuerte a importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Si dominación está probada en práctica.
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Fuente: T.L. Saaty

El decisor puede expresar verbalmente sus preferencias entre dos elementos y representar estas preferencias descriptivas mediante valores numéricos. De esta forma cuando dos elementos sean igualmente preferidos o importantes el decisor asignará al par de elementos un «1»; moderadamente preferido se representa por «3», fuertemente preferido por «5» y extremadamente preferido por «9». Los números pares se utilizan para expresar situaciones intermedias.

La escala verbal utilizada en el AHP permite al decisor incorporar subjetividad y experiencia en la toma de decisiones. Esta escala está justificada teóricamente y su efectividad ha sido validada empíricamente aplicándola a diferentes situaciones reales con aspectos tangibles para los que se ha comportado adecuadamente.

El resultado de estas comparaciones es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada «Matriz de comparaciones pareadas», de forma que cada uno de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del atributo considerado.

La tercera fase consiste en la priorización y síntesis. El objetivo de esta etapa es calcular la prioridad de cada elemento, entendida esta prioridad tal y como la define Saaty: “Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplican todos los números por un número arbitrario positivo. El objeto de la evaluación es emitir juicios concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía para crear escalas de prioridad de influencia”.

Existen distintos procedimientos matemáticos para calcular un vector de pesos relativos asociado a un nivel, vector que debe expresar la importancia relativa de los elementos considerados en un nivel determinado. El procedimiento propuesto por Saaty para su obtención es el método del autovector principal por la derecha. Las prioridades globales son las prioridades de cada nodo de la jerarquía respecto al nodo inicial (objetivo), que en el AHP se calculan utilizando el principio de composición jerárquica.

Por último, la prioridad total de las alternativas comparadas se obtiene mediante la agregación de las prioridades globales (forma lineal multiaditiva). La prioridad total permite realizar la síntesis del problema:

ordenar el conjunto de alternativas consideradas y seleccionar las más indicadas para conseguir el objetivo propuesto.

El AHP permite evaluar la consistencia del decisor a la hora de introducir los juicios de valor en la matriz de comparaciones pareadas mediante el indicador «Razón de Consistencia» de Saaty.

### **5.5 Bloque 4: análisis de sensibilidad de la alternativa resultante de la propuesta de pesos y recomendaciones del Grupo Consultor**

Una vez se disponga de dicha propuesta, el Grupo Consultor realizará un análisis de sensibilidad al resultado obtenido, con el fin de identificar si la propuesta de pesos arroja una selección de red estable, que no se modifique mediante pequeñas variaciones de los pesos propuestos en cada eje. De este modo, se podrá además contrastar si la alternativa que se seleccione en este cuarto paso metodológico coincide con la alternativa de red que el bloque 2 indicó como propuesta con una mayor robustez.

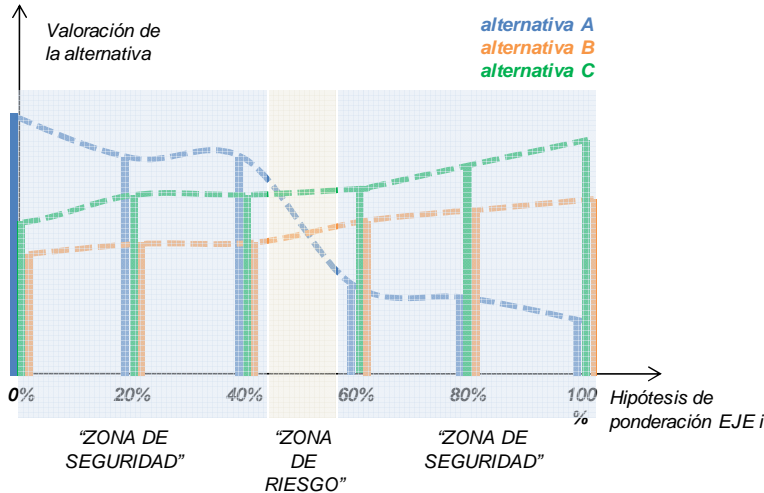
Este bloque 4 correspondería a la última etapa de una aplicación estándar de la metodología AHP, que también se denomina análisis de sensibilidad, puesto que el resultado al que se llega en la etapa anterior es altamente dependiente de la jerarquía establecida por el decisor y por los juicios de valor que realiza sobre los diversos elementos del problema.

Si variando ligeramente el peso asignado a cada eje la alternativa de red seleccionada sigue siendo la misma que con la hipótesis de ponderación inicial, se podrá considerar que los criterios de ponderación establecidos para los ejes de valoración arrojan resultados estables o seguros.

En caso contrario, si una pequeña variación en el peso establecido para cada eje da como resultado un resultado o selección de alternativa diferente, entonces se deberá considerar que la hipótesis de ponderación escogida no es válida, puesto que el resultado del análisis es muy sensible a pequeños cambios en la elección de los pesos en ese orden de magnitud. En tal caso, dichos pesos deberán ser redefinidos y valorados nuevamente mediante un análisis de sensibilidad, proceso reiterativo a ser realizado hasta que variaciones ligeras del valor de los pesos seleccionados no afecte al resultado del análisis.



**Figura 5-4. Análisis de sensibilidad. Identificación de la zona de riesgo en la elección de 3 alternativas**



- Valoración (selección) de tres alternativas frente a pequeñas variaciones de la ponderación de un determinado eje de análisis (EJE i)
- Una hipótesis de ponderación del EJE i dentro de la “zona de riesgo” no es recomendable ya que una variación ligera de la ponderación puede dar lugar a la elección de otra alternativa

Fuente: Elaboración propia

El rol del Grupo Consultor en los pasos 3 y 4 se centra en el acompañamiento de la toma de decisiones, proporcionando a los entes decisores los instrumentos necesarios que permitan verificar que la solución que se derive de la ponderación propuesta es la que obtiene un mejor desempeño.

## 5.6 Bloque 5: contraste metodológico

Este quinto paso tiene como objetivo evaluar las diferentes alternativas planteadas mediante metodologías de contraste, para poder identificar las distorsiones que puedan producirse por llevar a cabo agregaciones por ejes de los indicadores, así como el efecto que pudiera ocasionar la eventual ponderación del bloque 3.

El contraste se realizará mediante la aplicación de cinco metodologías de comparación<sup>7</sup> diferentes, seleccionadas por cumplir las propiedades de monotonía<sup>8</sup>, transitividad<sup>9</sup> y unicidad<sup>10</sup> de la solución, además de tratarse de sistemas de agregación que tratan a los indicadores como elementos individuales y no agrupados por ejes, y sin pesos asociados.

<sup>7</sup> Metodologías planteadas en Axioms of Cooperative Decision Making, de Hervé Moulin (1991)

<sup>8</sup> Conservación del orden: si se asigna una mayor puntuación a la alternativa que ocupa el primer lugar, esta opción sigue siendo la óptima

<sup>9</sup> Si existen tres alternativas i, j, k tales que la puntuación de i es superior a la de j y la de j mayor que la de k, entonces la opción i obtendrá una mayor valoración que k

<sup>10</sup> Únicamente existe una alternativa óptima

**Tabla 5-3. Metodologías de contraste utilizadas en la evaluación**

Conjunto	Método de contraste	Explicación
Métodos de puntuación	Método de la Pluralidad	Para cada indicador únicamente se puntúa la mejor alternativa existente, obviando el resto de opciones. La alternativa óptima es aquella que obtiene mayor valoración al tener en cuenta los diferentes indicadores.
	Método de Borda	Para cada indicador, se puntúa de manera descendiente en función de su valoración las diferentes alternativas, siendo la que obtiene mayor puntuación en cada indicador la que recibe la mejor valoración. La alternativa que obtiene una mejor calificación es la que se considera óptima.
Método de Condorcet	Método de Copeland	Una alternativa cualquiera, $i$ , se compara con las alternativas restantes $j$ (con $i \neq j$ ). Se asigna: <ul style="list-style-type: none"> <li>• +1 si <math>i</math> tiene más puntuación que <math>j</math></li> <li>• -1 si ocurre lo contrario</li> <li>• 0 si ambas opciones están igualadas</li> </ul> Se realiza este proceso para todas las alternativas, y se suman los diferentes valores obtenidos en cada alternativa. La alternativa óptima es la opción con mayor puntuación.
	Método de Simpson	Una de las alternativas planteadas, $i$ , se compara con las diferentes alternativas restantes, $j$ (con $i \neq j$ ) Se contabiliza en una función $N(i,j)$ el número de indicadores en los que $i$ obtiene mejor puntuación que $j$ . La puntuación de Simpson es el mínimo de $N(i,j)$ , siendo la alternativa seleccionada aquella que obtenga la mejor puntuación de Simpson entre las diferentes opciones.
Comparación secuencial	Método de la Eliminación Paralela	Se oponen dos alternativas diferentes entre sí, descartándose la que obtiene menor puntuación. se realiza este proceso entre los pares adicionales de alternativas. Las opciones vencedoras se comparan entre sí y se aplica el mismo procedimiento, hasta que una alternativa queda seleccionada en la evaluación final.

Fuente: Elaboración propia a partir de *Axioms of Cooperative Decision Making*, Hervé Moulin

Entre los cinco métodos anteriormente presentados, el método de pluralidad y el de Borda forman parte del conjunto de métodos de puntuación en los que se ordena el conjunto de alternativas posibles en función de su preferencia y se le da un valor a cada una de las opciones consideradas.

Por otra parte, los métodos de Copeland y Simpson, evaluados también en el contraste, son las extensiones más naturales del método de Condorcet, que plantea enfrentar las diferentes alternativas entre sí siendo la opción vencedora la que ha superado a todas las demás de forma individual.

Finalmente, el quinto método considerado, el método de la eliminación paralela, evalúa dos alternativas descartando la que obtiene una menor puntuación hasta que únicamente queda la opción óptima. Dicha metodología requiere de un procedimiento auxiliar que permita valorar las diferentes alternativas entre sí. Este procedimiento podría ser cualquiera de los cuatro métodos comentados anteriormente. En este contexto, el Grupo Consultor plantea realizar la prueba con el método de Borda, debido a que ha sido este el que más se asemeja al empleado en los bloques anteriores.

## 6 CONCLUSIONES

La metodología objeto del Producto 14 que ha sido expuesta en el presente documento sienta las bases para el análisis de las alternativas de red de Metro que el Grupo Consultor está desarrollando, cuya evaluación es objeto del Producto 15.

**Tabla 6-1. Estructura de la metodología de evaluación multicriterio de redes de Metro**

EJES		OBJETIVOS		INDICADORES			
1	Impacto territorial y urbano	1	Garantizar la coherencia con los instrumentos de planificación urbana	I1.1.1.	Grado de reconocimiento de la propuesta de densificación del POT		
				I1.1.2.	Potenciación de las centralidades futuras		
				I1.1.3.	Potenciación de la integración regional		
		2	Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana	I1.2.1.	Conectividad de red de transporte masivo		
				I1.2.2.	Atención a los principales nodos de actividad		
				I1.2.3.	Atención a los principales equipamientos de la ciudad		
		3	Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos	I1.3.1.	Renovación del tejido urbano		
		2	Impacto sobre la demanda de transporte	1	Mejorar las condiciones de accesibilidad y movilidad de la demanda	I2.1.1.	Reducción del tiempo de viaje en la red de Transporte Masivo
						I2.1.2.	Número medio de transbordos en la red de Transporte Masivo
2	Inducir una mayor captación de los modos de transporte público			I2.2.1.	Demanda captada del modo privado		
				I2.2.2.	Demanda del sistema Metro		
				I2.2.3.	Demanda del Sistema de Transporte Masivo		
				I3.1.1.	IPK Metro		
3	Impacto sobre la oferta de transporte	1	Diseñar una red de Metro de amplia cobertura y operativamente productiva	I3.1.2.	Cobertura de la red Metro		
				2	Compatibilizar la red Metro con el sistema de transporte público	I3.2.1.	Nivel de integración con el sistema de transporte público convencional del SITP

EJES		OBJETIVOS		INDICADORES	
				13.2.2.	Estaciones de intercambio de pasajeros en Transporte Masivo
4	Impacto ambiental	1	Mitigar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema	14.1.1.	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro
				14.1.2.	Efecto barrera visual y urbano del Metro
5	Impacto socio-económico	1	Favorecer la mejora de condiciones de accesibilidad de la población de menores recursos	15.1.1.	Accesibilidad a los estratos de menores recursos
		2	Minimizar los costos sociales	15.2.1.	Ahorro en costos operacionales
15.2.2.	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro				
6	Impacto financiero	1	Valorar la capacidad financiera del Distrito Capital vs. inversión	16.1.1.	Capacidad de financiación de la inversión
		2	Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones	16.2.1.	VPN de la inversión por kilómetro
		3	Maximizar la eficiencia de la inversión	16.3.1.	Inversión /pasajero (red Metro)
				16.3.2.	Costos de operación y mantenimiento por pasajero (red Metro)
4	Mitigar los riesgos	16.4.1.	% de túnel respecto la longitud total de Metro		
		16.4.2.	% de redes de servicios afectada respecto la longitud total de Metro		

Fuente: Elaboración propia

Conviene destacar que esta evaluación se realizará sobre diferentes alternativas de red consolidadas; es decir, redes de Metro para el horizonte de largo plazo (año 2038). Una vez determinada la red escogida, se procederá a identificar la línea que debe ser desarrollada en primer término.

## 7 ANEXO: COMPENDIO INICIAL DE INDICADORES

En el presente capítulo se describen detalladamente el compendio de indicadores inicialmente planteado en la entrega del 17 de abril de 2009 (revisión 0), que contiene los indicadores propuestos para medir el desempeño de cada alternativa frente a los objetivos definidos en cada eje de análisis. Para ello, se procede a describir la metodología de cálculo de cada indicador y detallar su unidad de medición.

Conviene resaltar que la propuesta parte de la premisa que los indicadores deben construirse de modo que los insumos necesarios estén disponibles o bien puedan ser estimados por el Grupo Consultor con la agilidad que requiere el desarrollo del contrato.

Análogamente, es importante que los indicadores que se definan arrojen resultados diferenciales entre las alternativas, puesto que el multicriterio tiene como fin determinar cuál es la mejor alternativa de desarrollo. En este orden de ideas, los indicadores que no impliquen diferencias sustanciales entre las alternativas no deberían incluirse.

Finalmente, otro tema importante a destacar es que si bien se pueden calcular múltiples impactos debidos al desarrollo de una red de metro en una ciudad como Bogotá, solamente conviene incorporar aquellos que tengan un rol sustancial en la comparación de alternativas de configuración de la red, no siendo recomendable la incorporación de indicadores que sirvan únicamente para medir posibles impactos de un sistema metro en ámbito urbano.

### 7.1 Compendio inicial de indicadores

#### Eje 1: Impacto territorial y urbano

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en materia territorial y urbana:

##### Objetivo 1.1. Garantizar la coherencia con los instrumentos de planificación urbana

Con el fin de evaluar el nivel de cumplimiento del presente objetivo se han definido tres indicadores, cuyas características se definen a continuación:




1.1.1.		Grado de reconocimiento de la propuesta de densificación del POT
Metodología de cálculo	de	<b><i>Total de población potencial servida por la red metro en las áreas de densificación propuestas por el POT</i></b>  Para desarrollar este indicador se requiere tener medida y localizada la política de densificación de la ciudad. Igualmente es necesario diferenciar, las áreas en las cuáles es posible densificar más y las áreas que ya llegaron al punto de saturación.  El dato a medir incluye tanto la población actual (dato conocido) como la población potencial (estimaciones a desarrollar).
Unidad de medición		Nº habitantes
Signo		+

1.1.2. Potenciación de las centralidades futuras	
Metodología de cálculo	<p><b>Total de empleos atendidos por la red de metro en centralidades futuras</b></p> <p>Las centralidades, según el POT, están asociadas a la concentración de actividades económicas y servicios, y difieren unas de las otras en cuanto a usos, función y tamaño.</p> <p>En este sentido, se deberán medir los empleos potenciales asociados a cada centralidad y calcular el total de empleos que atendería cada red considerando las centralidades futuras que sirve cada propuesta.</p>
Unidad de medición	Nº empleos
Signo	+

1.1.3. Potenciación de la integración regional	
Metodología de cálculo	<p><b>Número de habitantes de la región que acceden al sistema metro en sus desplazamientos en hora pico de la mañana</b></p> <p>En base a las modelaciones realizadas, se calculará el número de habitantes de los municipios de la Sabana de Bogotá (sin contar Bogotá D.C. ni Soacha) que acceden al sistema metro en sus desplazamientos en la hora pico de la mañana.</p> <p>La red que presente un mayor número de accesos será la que resulte con una mejor puntuación para este indicador.</p>
Unidad de medición	Nº habitantes
Signo	+

## Objetivo 1.2. Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana

Para evaluar este objetivo se han previsto un total de cinco indicadores:

1.2.1. Conectividad de red	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Cálculo de la conectividad de la red</i></b></p> <p>Para determinar el nivel de conectividad, se empleará la formulación habitual para este tipo de cálculo:</p> $\gamma = \frac{A}{3 \cdot (N - 2)}$ <p>Dónde:</p> <p><math>\gamma</math>: conectividad de la red (valor entre 0 y 1)</p> <p>A: número de arcos de la red</p> <p>N: número de nodos de la red</p> <p>Ejemplos de conectividad para redes tipo:</p> <p> <math>\gamma = 0,33</math></p> <p> <math>\gamma = 0,38</math></p> <p> <math>\gamma = 0,57</math></p> <p>La red que obtenga un valor más cercano a 1 es la que presenta un mejor nivel de conectividad.</p>
Unidad de medición	Valor adimensional entre 0 y 1
Signo	+

<b>1.2.2. Atención a los principales nodos de actividad de la ciudad</b>	
Metodología de cálculo	<p><b>Total de empleos atendidos por la red de metro en centralidades actuales</b></p> <p>Las centralidades, según el POT, están asociadas a la concentración de actividades económicas y servicios, y difieren unas de las otras en cuanto a usos, función y tamaño.</p> <p>En este sentido, se deberán medir los empleos actuales asociados a cada centralidad y calcular el total de empleos que atendería cada red (red del año 2038) considerando las centralidades actuales que sirve cada propuesta.</p> <p>Nota: este indicador y el indicador 1.1.2. también se podrían medir con datos de densidad poblacional o intensidad de usos del suelo</p>
Unidad de medición	Nº empleos
Signo	+

<b>1.2.3. Servicio en los principales corredores</b>	
Metodología de cálculo	<p><b>Número de km que dan servicio a los principales corredores de movilidad metropolitana</b></p> <p>El cálculo del presente indicador parte de la definición de los principales corredores de movilidad de Bogotá, una vez se disponga del escenario base movilidad para el año 2038.</p> <p>Se definen como corredores principales de movilidad aquellos que configuran la red arterial de transporte y tránsito.</p> <p>Posteriormente, se calculan los km de red metro que discurren por la malla arterial de movilidad.</p> <p>La alternativa de red que presenta un mayor número de km coincidentes con la malla principal es la que obtiene un mejor desempeño en este indicador.</p>
Unidad de medición	Km
Signo	+



<b>1.2.4. Accesibilidad a los principales equipamientos de la ciudad</b>	
Metodología de cálculo	<p><b>Número de equipamientos servidos</b></p> <p>Según la localización de los principales equipamientos de la ciudad (salud, educación, recreación, etc.) se determinará el número de equipamientos que quedan servidos por la red de metro. Se considera que una línea de metro sirve un equipamiento cuando la estación de metro más cercana al mismo está ubicada a una distancia máxima de 500 metros.</p> <p>La red de equipamientos a considerar se determinará por el Grupo Consultor una vez disponga de la información cartográfica que está recopilando para tal efecto, y será validado por la Contraparte previo cálculo del indicador.</p> <p>La red que presente un mayor número de equipamientos servidos será la que resulte con una mejor puntuación para este indicador.</p>
Unidad de medición	Nº de equipamientos
Signo	+

<b>1.2.5. Interferencia con las redes matrices de servicios</b>	
Metodología de cálculo	<p><b>Costos asociados a la afectación de las redes matrices de servicios</b></p> <p>Medir la afectación de redes matrices de servicios puede realizarse de diversas formas (por longitud de red intervenida, por población afectada por la afectación, etc.) pero se considera que la cuantificación de la inversión asociada a dicha interferencia es el método que permite más fácilmente comparar los resultados (objetivo principal de la presente metodología)</p> <p>En este sentido, se identificarán para cada alternativa las redes matrices afectadas, y se realizarán las estimaciones de inversiones requeridas para mitigar el impacto de interferencia.</p> <p>La propuesta que genere una inversión menor es aquella que obtiene un mejor desempeño en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	Nº habitantes
Signo	-

### Objetivo 1.3. Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos, renovación urbana y rentabilización del suelo

La evaluación de este objetivo del eje de impacto territorial y urbano se articula en base a un total de cinco indicadores:

1.3.1. Oportunidades de desarrollo	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Nº de viviendas potenciales a desarrollar en el ámbito de influencia de la propuesta</i></b></p> <p>En primer lugar, se requiere identificar cartográficamente las áreas libres y con potencial de desarrollo en el ámbito de influencia de cada estación (tomando como ámbito de influencia la superficie englobada en el círculo de radio 500 metros con centro en cada estación).</p> <p>Una vez identificadas estas áreas, se evaluará mediante los criterios de densificación definidos en el POT y mediante estimaciones del Grupo Consultor en aquellos casos donde el POT no disponga de datos al respecto, el potencial de desarrollo de nuevas viviendas.</p> <p>La red relacionada a un mayor número de viviendas será la que obtenga un mejor desempeño en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	Nº viviendas
Signo	+

1.3.2. Rentabilidad del suelo	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Aumento de la renta del suelo por el incremento de la accesibilidad</i></b></p> <p>La evaluación del potencial inmobiliario de las distintas estaciones propuestas en cada alternativa de red metro requiere la elaboración del plano de isoprecios actual para cada una de las estaciones futuras.</p> <p>Posteriormente, se debe construir una fórmula para calcular y proyectar el aumento del valor en el ámbito de influencia de cada estación.</p> <p>Finalmente, se calcula la media del incremento de la renta del suelo obtenido para cada propuesta, y la alternativa que genere un mayor resultado es la que resulta ganadora bajo la evaluación de este indicador.</p>
Unidad de medición	COP/m <sup>2</sup>
Signo	+

<b>1.3.3. Generación de plusvalías</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Diferencial de valor esperado en el catastro municipal</i></b></p> <p>La evaluación diferencial del valor esperado en el catastro municipal de las distintas estaciones propuestas en cada alternativa de red metro requiere la elaboración del plano de isoprecios actual para cada una de las estaciones futuras.</p> <p>Posteriormente, se debe construir una fórmula para calcular y proyectar el aumento del valor catastral en el ámbito de influencia de cada estación.</p> <p>Finalmente, se calcula la media del incremento de valor catastral obtenido para cada propuesta, y la alternativa que genere un mayor resultado es la que resulta ganadora bajo la evaluación de este indicador.</p>
Unidad de medición	%
Signo	+

<b>1.3.4. Renovación del tejido urbano</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Superficie construible en zonas urbanas degradadas en el área de influencia de las estaciones</i></b></p> <p>En primer lugar, conviene localizar las zonas de renovación en el ámbito de influencia de las estaciones previstas en cada propuesta.</p> <p>Posteriormente, se debe calcular su potencial de desarrollo, en base a las estimaciones que realice el Grupo Consultor en colaboración con la SDP.</p> <p>La propuesta que arroje una mayor superficie construible en el conjunto de estaciones de cada alternativa es la que obtiene un mejor desempeño en este indicador.</p>
Unidad de medición	m <sup>2</sup> construibles
Signo	+

1.3.5. Generación de espacio público	
Metodología de cálculo	<p><b>Superficie de espacio público generado en el área de influencia de las estaciones</b></p> <p>En base a las hipótesis de desarrollo del espacio urbano que el Grupo Consultor desarrolle en colaboración con la SDP, se calculará la superficie que se destinaría a uso público.</p> <p>La propuesta que arroje una mayor superficie desarrollable en el conjunto de estaciones de cada alternativa es la que resulta mejor puntuada en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	m <sup>2</sup> generados
Signo	+

## Eje 2: Impacto sobre la demanda

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en materia de demanda asociada a las alternativas de red analizadas:

### Objetivo 2.1. Mejorar las condiciones de accesibilidad y movilidad de la demanda

La valoración de mejoras aportadas por cada alternativa de red en términos de accesibilidad al sistema y movilidad experimentados por los usuarios del servicio se ha articulado en base a tres indicadores, descritos a continuación:

2.1.1. Reducción media del tiempo viaje en la red de transporte	
Metodología de cálculo	<p><b>Reducción media del tiempo viaje en la red de transporte (R)</b></p> <p>Información obtenida del modelo, resultado de medir la diferencia de tiempo medio de viaje entre los dos escenarios siguientes:</p> <p>Tcm: Asignación de la matriz de movilidad de transporte público del año 2038 al escenario <b>con el metro desarrollado</b> y demás modos de transporte público (extensiones de Transmilenio, Tren de Cercanías, transporte público convencional reorganizado).</p> <p>Tsm: Asignación de la matriz de movilidad de transporte público del año 2038 al escenario <b>sin el metro desarrollado</b> y con el desarrollo demás modos de transporte público (extensiones de Transmilenio, Tren de Cercanías, transporte público convencional reorganizado).</p> <p>Mientras que Tsm es un único valor, para cada alternativa de red de metro (i) se obtendrá un valor de Tcm.</p>

2.1.1. Reducción media del tiempo viaje en la red de transporte	
	La reducción del tiempo medio de viaje para cada red (i) será: $R_i = T_{sm} - T_{cm_i}$
Unidad de medición	Minutos
Signo	+

2.1.2. Número medio de trasbordos	
Metodología de cálculo	<b>Número medio de trasbordos</b>  Información obtenida del modelo, resultado de medir el número medio de trasbordos en la asignación de la matriz de transporte público del año 2038 sobre cada una de las alternativas de red de metro, contemplando el resto de modos de transporte público (extensiones de Transmilenio, Tren de Cercanías, transporte público convencional reorganizado).  Cuanto mayor sea el número medio de trasbordos peor desempeño obtendrá cada alternativa en la evaluación de este indicador.
Unidad de medición	Número
Signo	-

2.1.3. Tiempo de acceso al Sistema Masivo	
Metodología de cálculo	<b>Tiempo de acceso al Sistema Masivo</b>  Entendiendo como sistema masivo la red formada por metro, Transmilenio y Tren de Cercanías, se medirá con el modelo de transporte el tiempo medio de acceso por el viajero a dicho sistema, considerándose que la alternativa de metro que obtiene un mejor resultado frente al presente indicador es aquella que permite un menor tiempo de acceso al sistema.
Unidad de medición	Minutos
Signo	-

## Objetivo 2.2. Inducir una mayor captación de los modos de transporte público (inducción + atracción)

Para la evaluación de las diferentes propuestas de red, resulta relevante el conocimiento y estimación de la demanda de servicio, tanto la inducida como la atraída de otros modos de transporte público; en este sentido, se plantea la cuantificación de cuatro indicadores descritos a continuación:

2.2.1.		Demanda captada del modo privado
Metodología de cálculo	de	<b><i>Demanda captada por el transporte público al modo privado en hora pico</i></b>  Para cada una de las distintas alternativas de red, y tomando en consideración la red formada por el resto de modos públicos, se medirá con el modelo de transporte la demanda que la configuración del sistema de transporte público propuesta permite captar al modo privado, considerándose que la alternativa de metro que obtiene un mejor resultado frente al presente indicador es aquella que permite una mayor captación de viajeros del modo privado.
Unidad de medición		Nº pasajeros
Signo		+

2.2.2.		Demanda del Sistema de Transporte Masivo
Metodología de cálculo	de	<b><i>Volumen de usuarios de los sistemas de transporte masivo en hora pico</i></b>  Mediante el modelo de transporte se evaluará el resultado de viajes en transporte público masivo para la hora pico, para las distintas alternativas de red de metro propuestas.  La alternativa que genere un mayor volumen de demanda será la que obtenga un mejor resultado para el presente indicador.
Unidad de medición		Nº pasajeros
Signo		+

2.2.3. Demanda inducida	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Demanda inducida por el transporte público en hora pico</i></b></p> <p>Para cada una de las distintas alternativas de red, y tomando en consideración la red formada por el resto de modos públicos, se medirá con el modelo de transporte la demanda que la configuración del sistema de transporte público propuesto permite inducir, considerándose que la alternativa de metro que obtiene un mejor resultado frente al presente indicador es aquella que permite una mayor inducción de viajes.</p> <p><i>Definición de demanda inducida: demanda de nueva generación, causada por un incremento de la movilidad de las personas por efecto de la mejora de la red de transporte público</i></p>
Unidad de medición	Nº pasajeros
Signo	+

2.2.4. Demanda captada al taxi	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Demanda captada por el transporte público al taxi en hora pico</i></b></p> <p>Para cada una de las distintas alternativas de red, y tomando en consideración la red formada por el resto de modos públicos, se medirá con el modelo de transporte la demanda que la configuración del sistema de transporte público propuesta permite captar al taxi en hora pico, considerándose que la alternativa de metro que obtiene un mejor resultado frente al presente indicador es aquella que permite una mayor captación de viajeros del taxi.</p>
Unidad de medición	Nº pasajeros
Signo	+

### Objetivo 2.3. Adecuación tecnológica a los corredores con demanda tipo metro

Cada alternativa de red será valorada en relación a su adecuación tecnológica a los corredores de demanda tipo metro, midiéndose el siguiente indicador:

2.3.1. Adaptación de la tecnología metro a los tramos de demanda	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Desviación de la demanda en hora pico-sentido respecto a la capacidad máxima teórica de la tecnología propuesta en cada corredor metro</i></b></p> <p>A partir del modelo de transporte, se determinará para cada corredor metro propuesto el nivel de demanda obtenido en el año 2038.</p> <p>Este dato se contrastará con la bibliografía internacional que existe para la determinación de las capacidades teóricas (estándares y máximas para la hora pico) para las tecnologías de transporte tipo metro:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Metro pesado convencional</li> <li>- Metro ligero</li> </ul> <p>Conviene mencionar que los datos de capacidades máximas que se indican a continuación se han calculado partiendo de estándares internacionales de operación, y asegurando en nivel de confort para los pasajeros:</p> <p><b>Metro pesado convencional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hora valle: 40.000-60.000 pax/h-sentido</li> <li>- Hora pico: 60.000-80.000 pax/h-sentido</li> </ul> <p><b>Metro ligero:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hora valle: 25.000-40.000 pax/h-sentido</li> <li>- Hora pico: 40.000-45.000 pax/h-sentido</li> </ul> <p><b>Nota:</b> configuraciones de operación supuestas en el cálculo:</p> <p><b>Metro pesado convencional:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 80000 pax/h-sentido: intervalo de 90 segundos, 40 trenes de 8 coches/hora</li> <li>- 60.000 pax/h-sentido: intervalo de 90 segundos, 40 trenes de 6 coches/hora</li> <li>- 40.000 pax/h-sentido: intervalo de 134 segundos, 27 trenes de 6 coches/hora</li> <li>- 25.000 pax/h-sentido: intervalo de 211 segundos, 17 trenes de 6 coches/hora</li> <li>- 20.000 pax/h-sentido: intervalo de 263 segundos, 14 trenes de 6</li> </ul>



2.3.1. Adaptación de la tecnología metro a los tramos de demanda	
	<p>coches/hora</p> <p>Metro ligero:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 40.000 pax/h-sentido: Intervalo de 63 segundos, 57 trenes de 4 coches/hora</li> <li>- 25.000 pax/h-sentido: Intervalo de 100 segundos, 37 trenes de 4 coches/hora</li> <li>- 20.000 pax/h-sentido: intervalo de 128 segundos, 28 trenes de 4 coches/hora</li> </ul> <p><i>Fuente: CORREDORES URBANOS DE TRANSPORTE PARA ALTAS DEMANDAS, Seminario Soluciones integradas del transporte, Porto Alegre, 2007</i></p> <p>En cada corredor de cada alternativa, se medirá la desviación (D) de la forma siguiente:</p> $D_{ij} = D_{ej} - D_{mj}$ <p>Siendo,</p> <p><math>D_{ij}</math>: desviación obtenida en el corredor j de la alternativa i para la hora pico</p> <p><math>D_{ej}</math>: demanda teórica de la tecnología que se haya propuesto para el corredor j (80.000 pax/h-sentido para el metro pesado convencional y 45.000 pax/h-sentido para el metro ligero)</p> <p><math>D_{mj}</math>: demanda del corredor j con la tecnología propuesta obtenida del modelo</p> <p>Posteriormente, para cada alternativa se calculará la desviación promedio, mediante la siguiente fórmula:</p> $\bar{D}_i = \frac{\sum_j D_{mj}}{\sum_j D_{ij}}$ <p>La unidad de medición de la desviación promedio será un porcentaje.</p> <p>La red que genere una menor desviación será la que obtenga un mejor desempeño en este indicador</p>
Unidad de medición	%
Signo	-

### Eje 3: Impacto sobre la oferta de transporte

Análogamente al eje anterior, se presentan una serie de indicadores seleccionados específicamente para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en materia de oferta de transporte asociada a las alternativas de red analizadas:

#### Objetivo 3.1. Diseñar una red de metro de amplia cobertura y operacionalmente productiva

Con el objeto de valorar la eficiencia operativa de cada alternativa de red, así como su cobertura, se plantean los siguientes tres indicadores:

3.1.1.		IPK de red Metro
Metodología de cálculo	de	<p><b><i>Índice de pasajeros por vehículo-kilómetro (IPK)</i></b></p> <p>A partir del modelo de transporte se obtendrán los datos correspondientes a los pasajeros que emplean cada línea de metro para el escenario del año 2038. En base a la definición de los servicios realizados para cada alternativa de desarrollo, se calcularán los veh-km recorridos en cada línea de metro.</p> <p>El IPK es el cociente entre ambos factores, siendo la alternativa que arroje un IPK más alto la que obtendrá un mejor desempeño para este indicador.</p>
Unidad de medición		Pax/veh-km
Signo		+

3.1.2.		Disposición de patios y talleres
Metodología de cálculo	de	<p><b><i>Km muertos recorridos desde las cabeceras de líneas hasta patios y talleres</i></b></p> <p>En base al diseño realizado de cada alternativa de red de metro, se identificará la disposición de patios y talleres destinados a la operación del sistema, midiéndose la longitud física (km) hasta los mismos.</p> <p>Tomándose en consideración la definición de los servicios para cada línea en cada alternativa (unidades de trenes, frecuencias, etc.), se calcularán las distancias totales recorridas para un día operacional tipo en concepto de retorno a patios y traslados a talleres, obteniéndose el número de km muertos totales recorridos en cada alternativa</p> <p>A la alternativa que requiera un menor número de km muertos recorridos se le asignará la puntuación más alta.</p>
Unidad de medición		Km muertos totales recorridos
Signo		-

3.1.3. Cobertura de red	
Metodología de cálculo	<p><b>Total de superficie cubierta por la red metro</b></p> <p>A partir del diseño en planta de cada propuesta de red, se calculará la superficie cubierta del siguiente modo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– En las estaciones, la superficie corresponderá a la de un círculo de radio 500 metros centrado en la estación</li> <li>– Para los corredores, se definirá una superficie de cobertura longitudinal a las líneas, 500 metros a cada lado de la línea</li> </ul> <p>La suma de todas estas superficies determinará la cobertura de la red, considerándose la puntuación directamente proporcional a la superficie cubierta.</p>
Unidad de medición	m <sup>2</sup>
Signo	+

### Objetivo 3.2. Favorecer la racionalización de los recursos de la red de transporte público convencional, en condiciones de eficiencia

Cada una de las alternativas de red propuestas será valorada desde un punto de vista de relación con el resto de sistemas de transporte (existentes y previstos), valorándose los siguientes cuatro indicadores:

3.2.1. Nivel de integración con el SITP	
Metodología de cálculo	<p><b>Número de rutas con las que puede producirse intercambio modal</b></p> <p>En base a la definición del escenario del año 2038, se identificarán los puntos de conexión de la red metro (en estaciones) con la red de transporte público convencional acorde con el SITP, de modo que la red que genere puntos de intercambio modal con un mayor número de rutas de bus será aquella que se valore con una mejor puntuación.</p>
Unidad de medición	Nº de rutas
Signo	+

<b>3.2.2. Renovación de flota de transporte colectivo</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Cálculo de unidades sobrantes de la red de transporte público convencional, sin racionalización de la red</i></b></p> <p>En base a la definición del escenario del año 2038, de identificarán los recorridos de las rutas de transporte público convencional.</p> <p>Para aquellas rutas que puedan ser eliminadas por la aparición del metro, se contabilizarán el número de unidades asociadas a ellas, por tratarse de unidades que podrían ser eliminadas del sistema, sin tener en cuenta el proceso de reestructuración del sistema de transporte público convencional que se asocia a la implantación de un sistema masivo en un entorno urbano.</p> <p>La red que genere una mayor cantidad de unidades a eliminar del sistema será aquella que obtenga un mejor desempeño en la evaluación para este indicador.</p>
Unidad de medición	Nº de unidades de bus
Signo	+

<b>3.2.3. Traslape del transporte colectivo con el metro</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Sumatorio de km de las rutas convencionales que traslapan con la red de metro</i></b></p> <p>En base a la definición del escenario del año 2038, de identificarán los recorridos de las rutas de transporte público convencional, con el fin de calcular los km de traslape entre dichas rutas y los corredores de metro propuestos.</p> <p>La red que genere una mayor longitud de traslape será aquella que obtenga un menor desempeño en la evaluación para este indicador.</p>
Unidad de medición	Km
Signo	-

<b>3.2.4. Intermodalidad con sistemas de transporte no motorizados</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Nodos de intermodalidad con la red de ciclorrutas</i></b></p> <p>En base a la definición del escenario del año 2038, de identificarán los puntos de conexión de la red metro (en estaciones) con el sistema de ciclorrutas definido para dicho horizonte, de modo que la red que genere un</p>

<b>3.2.4. Intermodalidad con sistemas de transporte no motorizados</b>	
	<p>mayor número de puntos de intercambio modal será aquella que se valore con una mejor puntuación.</p> <p>De no disponerse de la malla de ciclorrutas para el año 2038, se realizaría la evaluación con la malla actual.</p>
Unidad de medición	Nº de conexiones
Signo	+

### Objetivo 3.3. Compatibilizar la red metro con el sistema de transporte masivo previsto

Concretamente, a nivel de relación con el transporte público de la ciudad, se valorará la relación de cada una de las alternativas de red con la red de Transmilenio en base a la valoración de los siguientes tres indicadores:

<b>3.3.1. IPK resultante en las líneas Transmilenio</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Variación de la productividad en las líneas Transmilenio resultante de la operación de la red Metro</i></b></p> <p>A partir del modelo de transporte se obtendrán los datos correspondientes a los pasajeros que emplean cada línea de metro para el escenario del año 2038.</p> <p>En base a la definición de los servicios realizados para cada alternativa de desarrollo, se calcularán los veh-km recorridos en cada línea de metro.</p> <p>El IPK es el cociente entre ambos factores, siendo la alternativa que arroje un IPK más alto la que obtendrá un mejor desempeño para este indicador.</p>
Unidad de medición	Pax/veh-Km
Signo	-

<b>3.3.2. Estaciones de intercambio de pasajeros entre Metro y Transmilenio</b>	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Número de estaciones que permiten la intermodalidad entre Metro y Transmilenio</i></b></p> <p>Partiendo de la definición del escenario del año 2038, de identificarán los puntos de conexión de la red metro (en estaciones) con el sistema de Transmilenio (en estaciones) definido para dicho horizonte, de modo que la</p>

3.3.2. Estaciones de intercambio de pasajeros entre Metro y Transmilenio	
	red que genere un mayor número de puntos de intercambio modal será aquella que se valore con una mejor puntuación.
Unidad de medición	Nº de conexiones
Signo	+

3.3.3. Coordinación de servicios entre Metro y Transmilenio	
Metodología de cálculo	<p><b>Tiempo medio de transbordo entre Metro y Transmilenio</b></p> <p>A partir del modelo de transporte se obtendrán los datos correspondientes al tiempo medio de transbordo entre ambos sistemas.</p> <p>La propuesta red que implique un menor tiempo de transbordo entre Metro y Transmilenio será aquella que se valore con una mejor puntuación.</p>
Unidad de medición	Minutos
Signo	-

#### Eje 4: Impacto ambiental

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en relación a diferentes aspectos ambientales asociados a las alternativas de red analizadas:

##### Objetivo 4.1. Garantizar la coherencia con la estructura ecológica principal

Con el fin de evaluar el nivel de cumplimiento del presente objetivo se han definido los siguientes dos indicadores:

4.1.1. Interferencia con la estructura ecológica principal	
Metodología de cálculo	<p><b>Superficie dentro del ámbito de influencia de la estructura ecológica principal</b></p> <p>Para las distintas alternativas de redes de metro planteadas, se determinará la superficie de la estructura ecológica principal que entre en contacto con la red de metro, considerando que la propuesta que menos interfiera con dicha estructura será la que obtenga la puntuación más alta en el presente indicador</p>

4.1.1. Interferencia con la estructura ecológica principal	
Unidad de medición	Ha
Signo	-

4.1.2. Potencial magnitud de los impactos derivados de la implantación	
Metodología de cálculo	<p><b>Minimización de los impactos derivados de la implantación</b></p> <p>Una vez establecidas las distintas alternativas de red y su tipología constructiva, el conjunto de expertos ambientales del Grupo Consultor realizará una evaluación comparada de los impactos ambientales que genere cada propuesta.</p> <p>Una vez se cuente con la validación de estas hipótesis por parte del Cliente, se asignará la mayor puntuación (valor adimensional) para este indicador a aquella alternativa que genere un menor impacto ambiental.</p> <p>Nota: evaluación comparada implica que no se determinarán de forma exhaustiva todos los impactos, sino aquellos que generen diferencias entre las distintas propuestas.</p>
Unidad de medición	Valor adimensional
Signo	-

4.1.3. Afectación de recursos hídricos superficiales y subterráneos	
Metodología de cálculo	<p><b>Minimización de la afectación a recursos hídricos superficiales y subterráneos</b></p> <p>Una vez establecidas las distintas alternativas de red y su tipología constructiva, el conjunto de expertos ambientales del Grupo Consultor realizará una evaluación comparada de la afectación a los recursos hídricos superficiales y subterráneos que genere cada propuesta.</p> <p>Una vez se cuente con la validación de estas hipótesis por parte del Cliente, se asignará la mayor puntuación (valor adimensional) para este indicador a aquella alternativa que genere un menor impacto ambiental.</p>
Unidad de medición	Valor adimensional
Signo	-

#### Objetivo 4.2. Contribuir a reducir las externalidades negativas del esquema de transporte actual

Para evaluar el nivel de cumplimiento del objetivo 4.2. atribuible a las diferentes propuestas de red de metro, se han definido los siguientes indicadores:

4.2.1. Reducción del consumo de combustibles fósiles	
Metodología de cálculo	<p><b>Disminución del consumo de combustibles fósiles</b></p> <p>La modelación de las distintas alternativas para el año 2038 permitirá calcular la cantidad de km recorridos por cada modo de transporte, tanto público como privado).</p> <p>La comparación de este resultado con la situación simulada en el escenario del 2038 sin metro, permitirá cuantificar las mejoras (positivas o negativas) que cada alternativa de red ofrece respecto el escenario sin metro.</p> <p>Estas diferencias de distancias recorridas se transformarán en reducción del combustible fósil consumido mediante el uso de las ratios unitarios de consumo para cada tecnología que emplee combustibles fósiles (vehículo privado, transporte público colectivo, taxis, etc.)</p> <p>La alternativa que genere un mayor ahorro será la que obtenga una mejor puntuación en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	Volumen
Signo	+

4.2.2. Disminución de ruido	
Metodología de cálculo	<p><b>Variación de los niveles de ruido generados en la malla arterial de corredores de movilidad de la ciudad</b></p> <p>De la simulación de las diferentes propuestas de red para el año 2038 se obtendrá el nivel de tráfico para cada uno de los corredores de movilidad definidos como parte de la malla arterial de movilidad de la ciudad (ver indicador 1.2.3.). La comparación de estas alternativas respecto al nivel de tráfico que se obtenga al simular el escenario del año 2038 sin metro, permitirá calcular el porcentaje de variación para cada alternativa.</p> <p>La propuesta de red que arroje un mayor porcentaje en términos de reducción de los niveles de tráfico en la malla arterial de movilidad de la ciudad será la que obtenga una mayor puntuación para este indicador.</p>
Unidad de medición	%
Signo	+



### Objetivo 4.3. Mitigar los impactos ambientales derivados de la operación del sistema

La valoración de cada alternativa de red en relación a sus impactos ambientales derivados de su operación se estructura en base a los siguientes indicadores:

4.3.1. Efecto barrera visual	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Km de red visibles en superficie</i></b></p> <p>La medición del efecto barrera visual que genera una infraestructura como es el metro se propone con la siguiente metodología:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcular la longitud de red en superficie y en viaducto</li> <li>2. Considerando que la red subterránea no produce efecto barrera visual y que los tramos en viaducto y en superficie generan una contaminación visual relevante, se calculará:</li> </ol> $Eb = \alpha \cdot L_{viaducto} + \beta \cdot L_{superficie}$ <p>Siendo:</p> <p>Eb = efecto barrera visual (medido en km)</p> <p>Lviaducto = longitud total de los tramos en viaducto</p> <p>Lsuperficie = longitud total de los tramos en superficie</p> <p>= factor de penalización para tramo en viaducto</p> <p>= factor de penalización para tramo en superficie</p> <p>&gt;</p> <p>La propuesta de red que arroje una longitud menor para Eb será aquella que obtenga un mejor desempeño para el presente indicador.</p>
Unidad de medición	Km
Signo	-

## Eje 5: Impacto socio-económico y cultural

A continuación se presentan los indicadores seleccionados para cuantificar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en relación a diferentes aspectos socio-económicos y culturales asociados a las alternativas de red analizadas.

En términos generales, conviene mencionar que puesto que el análisis se realiza a largo plazo, se emplearán precios sombra, en contraposición a los precios de mercado.

### Objetivo 5.1. Favorecer la mejora de las condiciones de accesibilidad de la población de menores recursos

Para la valoración de cada alternativa de red en términos de mejora de la calidad de vida de aquellos estratos sociales más desfavorecidos se han determinado los siguientes indicadores:

5.1.1. Accesibilidad a los estratos de menores recursos	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Demanda de estratos 1,2,3 / demanda total del sistema</i></b></p> <p>La modelización de las distintas alternativas de red permitirá cuantificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– La demanda total del sistema metro</li> <li>– El volumen de demanda asociada a las distintas zonas de transporte consideradas (entre ellas, las correspondientes a los estratos sociales de menores recursos)</li> </ul> <p>Dadas estas informaciones para cada una de las alternativas de red, la relación entre ambas permite valorar el peso de la demanda de los estratos de menores recursos dentro de la demanda total, indicativo de la accesibilidad a cada alternativa de red por parte de dichos estratos.</p> <p>La alternativa de red que suponga un mayor cociente será la que obtenga una mejor puntuación en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	%
Signo	+

<b>5.1.2. Ahorro en los tiempos de viaje de los estratos 1-2-3</b>	
Metodología de cálculo	<p><b>Ahorro de tiempo en los desplazamientos en hora punta de los viajes realizados por residentes pertenecientes a estratos 1, 2, y 3</b></p> <p>De la modelización de cada una de las alternativas de red para el año 2038 se obtendrán los tiempos de desplazamiento de la movilidad asociada a cada una de las zonas de transporte, en particular las zonas de estratos 1,2 y 3.</p> <p>Comparándose dichos valores para cada alternativa de red con los detectados en dichas zonas en la situación base para el año 2038 (sin sistema metro), se calculará la variación en tiempo del conjunto de desplazamientos considerados.</p> <p>La alternativa de red con mayor diferencia será aquella que mejor puntuación obtenga del indicador.</p>
Unidad de medición	Horas
Signo	+

### **Objetivo 5.2. Contribuir a la reducción de las externalidades negativas del tránsito**

Los siguientes tres indicadores tienen por objeto cuantificar la reducción de costes externos del tránsito viario debido a la implantación de una determinada alternativa de red:

<b>5.2.1. Ahorro en costos operacionales</b>	
Metodología de cálculo	<p><b>Ahorro en costos operacionales por aumento de la velocidad de circulación del SITP</b></p> <p>Las diferentes alternativas de red planteadas, una vez modeladas, permitirán concebir distintos sistemas integrales de transporte público.</p> <p>Para cada uno de estos, se valorará la velocidad promedio de circulación en los diferentes sistemas de transporte integrados, lo cual derivará en un costo operacional determinado para cada uno de ellos.</p> <p>Aunando los costos operacionales para cada uno de los sistemas de transporte en cada sistema resultante de cada alternativa de red Metro planteada, se cuantificará el coste operacional del sistema que, comparado con el escenario del año 2038 sin metro, permitirá cuantificar el correspondiente ahorro.</p> <p>La propuesta de red que suponga un mayor ahorro de costos operacionales será la que obtenga una mayor puntuación del indicador.</p>

5.2.1. Ahorro en costos operacionales	
Unidad de medición	COP
Signo	+

5.2.2. Disminución de la congestión	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Disminución del tiempo de viaje medio respecto la situación actual</i></b></p> <p>De la simulación de las diferentes propuestas de red que se planteen se obtendrán los correspondientes escenarios de transporte producto del nuevo esquema de transporte de la ciudad.</p> <p>El efecto de cada alternativa de red sobre la movilidad global se traducirá, en particular, en un nuevo esquema de transporte privado, caracterizado por una determinada demanda y distribución sobre la red condicionadas por el efecto de los nuevos servicios de transporte masivo.</p> <p>La propuesta de red que suponga una mayor captación de viajeros al transporte privado, entre otros, contribuirá a la reducción de tráfico en la red y en consecuencia, a una reducción de la congestión respecto a la situación de partida actual. La interpretación de dicha disminución de la congestión en términos económicos servirá para cuantificar el indicador.</p>
Unidad de medición	COP
Signo	+

5.2.3. Disminución de accidentes	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Reducción de los costos asociados a la siniestralidad</i></b></p> <p>La reducción de la demanda viaria producto de la implementación de las diferentes alternativas de red llevará implícita una reducción de la accidentalidad vial.</p> <p>En este sentido, la alternativa de red que suponga una mayor captación por parte del transporte público en detrimento del transporte privado, supondrá a su vez una mayor reducción del número total de accidentes en el sistema.</p> <p>La cuantificación monetaria de dicha disminución (tomando en consideración los costos estándares por accidentes en Bogotá) servirá para cuantificar el indicador.</p> <p>La propuesta de red que arroje un mayor ahorro por siniestralidad será la que obtenga una mejor puntuación en el presente indicador.</p>
Unidad de medición	COP
Signo	+

### Objetivo 5.3. Mejora de las condiciones sociales y culturales de la población

Cada una de las alternativas de red propuestas será valorada desde un punto de vista de impacto positivo perceptible por la población afectada, valorándose los siguientes indicadores:

5.3.1. Generación de empleo	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Empleos directos e indirectos generados en la operación del sistema</i></b></p> <p>Establecidas las distintas alternativas de red a ser valoradas, cada una de ellas se caracterizará en términos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empleo directo generado como consecuencia de la entrada en operación del nuevo sistema (ya sean asociados al nuevo sistema de transporte o a servicios complementarios al mismo)</li> <li>- Empleo indirecto generado por consolidación de actividades o generación de nuevas centralidades en el territorio servido por el nuevo sistema de transporte</li> </ul> <p>La alternativa de red que aúne mayor número de nuevos empleos será aquella que mayor puntuación obtenga del indicador.</p>
Unidad de medición	Nº empleos
Signo	+

5.3.2. Reasentamientos	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Población que deberá ser desplazada por la implementación del metro</i></b></p> <p>Cada una de las alternativas de red planteadas supondrá una afectación espacial, concretamente de espacio residencial, la cual supondrá la necesidad de reubicar población en otras zonas.</p> <p>La alternativa de red cuya afectación espacial suponga una menor afectación a viviendas, y más concretamente a personas habitantes en dicho espacio, obtendrá una mejor puntuación en dicho indicador (menor número de personas afectadas).</p>
Unidad de medición	Nº personas
Signo	-

5.3.3. Potencial de reducción de conflictos culturales	
Metodología de cálculo	<p><b>Población en áreas conflictivas atendidas</b></p> <p>La puesta en funcionamiento de sistemas de transporte de calidad que sirvan a áreas marginales de la ciudad es un modo de reducir los conflictos socio-culturales en dichos espacios.</p> <p>Particularmente en Colombia, se cuenta con experiencias previas que demuestran que la accesibilidad de estos sectores a un sistema de transporte tipo metro permite mejorar los niveles de convivencia ciudadana (en particular, mencionar como ejemplo el caso de Santo Domingo en Medellín, donde la conexión de este barrio al sistema metro mediante una línea del Metrocable ha permitido reducir los niveles de criminalidad y disturbios focales.</p> <p>En este sentido, se evaluará para las distintas propuestas el número de habitantes que habitan en áreas calificadas como conflictivas (definición que se realizará en consenso con el Cliente)</p> <p>La alternativa de red que atienda un mayor número de población será considerada como la propuesta con mayor potencial para la reducción de conflictos culturales.</p>
Unidad de medición	Nº habitantes
Signo	+

## Eje 6: Impacto financiero

Finalmente, se presentan una serie de cinco indicadores seleccionados para valorar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos en relación a aspectos financieros para cada alternativa de red:

### Objetivo 6.1 Asegurar un costo de inversión que pueda ser soportado financieramente por el Distrito Capital incorporando la participación de privados en el desarrollo del proyecto.

La capacidad de financiación de la inversión asociada a cada alternativa de red se valora en base al cálculo del siguiente indicador:

6.1.1. Capacidad de Financiación de la Inversión	
Metodología de cálculo	<p><b>Capacidad de Financiación de la Inversión</b></p> <p>Es para el Grupo Consultor una realidad que los recursos disponibles por el Distrito en relación los requerimientos de inversión que se estiman serán necesarios para llevar a cabo la Primera Línea del Metro para la ciudad son limitados a pesar de que las finanzas del Distrito son bastante sanas en la actualidad. Este es un proyecto, que como ya ha sido mencionado</p>

### 6.1.1. Capacidad de Financiación de la Inversión

anteriormente, puede consumir las capacidades de financiación disponibles para la ciudad principalmente durante los años en los cuales se realice la construcción de la infraestructura del Metro.

Es derivado de esta limitación que surge la necesidad de evaluar para las distintas alternativas de red metro que se planteen la capacidad financiera del Distrito para soportar adecuadamente los requerimientos de inversión que cada una de ellas represente. Adicionalmente, se deberá incorporar en el cálculo del indicador que se establezca para ponderar esta situación, la posibilidad de vinculación de privados al desarrollo de la infraestructura del proyecto que reduzca la presión existente sobre las finanzas del Distrito.

De esta forma, el indicador que se pretende plantear aquí incorporara la capacidad de financiación del Distrito después de reducir los montos de inversión del proyecto por la incorporación de capital privado al mismo.

Otro aspecto a tener en cuenta para calcular este indicador y otros que involucren costos estimados de inversión, de operación y de mantenimiento principalmente, será el hecho de que dichos datos tendrán unos valores gruesos y de alguna manera superficiales por la poca madures en el conocimiento y definición detallados de tipologías, tipos constructivos a ser utilizados, entre otros aspectos.

Por otra parte, y considerando la importancia de la tasa de descuento utilizada en el cálculo de este indicador, se evaluará la posibilidad de incorporar ejercicios de sensibilidad del indicador a dicha tasa.

La forma de cuantificar el objetivo aquí planteado se detalla a continuación:

Datos de Ingreso al Indicador:

- MI: Monto estimado de la inversión para el desarrollo del proyecto incluido material móvil para el año (i).
- MP: Monto estimado de inversiones en el proyecto que pueden ser asumidos por el sector privado (valor estimado de las obras de infraestructuras asociadas a las estaciones, material móvil, montos estimados de inversión en infraestructura asociados a tramos de la Primera Línea del Metro que no sean desarrollados de manera subterránea) para el año (i).
- CE: Capacidad estimada de financiación del Distrito en Valor Presente.
- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente

Forma de cálculo del indicador:

6.1.1. Capacidad de Financiación de la Inversión	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CF: Capacidad de Financiación del Distrito</li> <li>- Al Valor Presente de monto estimado total de la inversión le restamos el monto total de las inversiones que pueden ser asumidas por el privado</li> <li>- La capacidad estimada de financiación del Distrito en Valor Presente se divide entre el número resultante del cálculo realizado anteriormente.</li> </ul> $CF = \frac{CE}{\sum \frac{MI_i - MP_i}{(1+T)^i}}$ <p>El valor resultante de aplicar la formula anterior sería un porcentaje que determina que porción del proyecto puede ser financiado por el Distrito.</p>
Unidad de medición	%
Signo	+

**Objetivo 6.2. Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones, del riesgo de sobrecostos en las inversiones y de los subsidios para el sistema**

La evaluación de este objetivo del eje financiero se articula en base a un total de tres indicadores:

6.2.1. Valor Presente Neto (VPN) de la inversión por km de Proyecto	
Metodología de cálculo	<p><b>Valor Presente Neto (VPN) de la inversión por km de Proyecto</b></p> <p>Este objetivo busca que se determine, para las distintas alternativas de red metro determinadas, cual tendría un Valor Presente Neto menor por kilómetro construido de red de tal manera que se busque optimizar los valores invertidos en el desarrollo del proyecto incluido el material móvil requerido para un nivel de operación inicialmente estimado.</p> <p>Para efectos de calcular este indicado se definirá un horizonte de tiempo igual para todas las alternativas de red a ser evaluadas.</p> <p>Por otra parte, y considerando la importancia de la tasa de descuento utilizada en el cálculo de este indicador, se evaluará la posibilidad de incorporar ejercicios de sensibilidad del indicador a dicha tasa.</p> <p>La forma de cuantificar el objetivo aquí planteado se detalla a continuación:</p>



6.2.1. Valor Presente Neto (VPN) de la inversión por km de Proyecto	
	<p>Datos de ingreso al indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MI (i): Monto estimado de inversión para el desarrollo del proyecto incluido material móvil para el año (i).</li> <li>- KM: Kilómetros de construcción para cada una de las alternativas de redes propuesta.</li> <li>- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente</li> </ul> <p>Forma de cálculo del indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MITK: Monto total estimado de la inversión por kilómetro en Valor Presente para el desarrollo del proyecto incluido material móvil requerido para la operación del sistema</li> </ul> $MITK = \frac{\sum \frac{MI_i}{(1+t)^i}}{KM}$ <p>El valor resultante de aplicar la formula anterior sería un valor en Pesos o Dólares que determina el Valor Presente estimado de inversión por kilómetro de cada alternativa de red planteada. Como se mencionó anteriormente, se pretende premiar aquellas alternativas que resulten en valores menores de este indicador.</p>
Unidad de medición	COP ó USD / Kilómetro
Signo	-

6.2.2. Riesgo por costos adicionales asociados a la construcción	
Metodología de cálculo	<p>El objetivo aquí presentado busca determinar e incorporar en el análisis a realizar el riesgo asociado a los posibles sobrecostos que eventualmente se podrían presentar al implementar las distintas alternativas de red desarrolladas. Este objetivo busca complementar el anteriormente presentado y relacionado con la cuantificación de los costos de inversión asociados al desarrollo del proyecto, ya que permitiría asociarle a cada valor de inversión estimado un posible riesgo de costos adicionales.</p> <p>Este objetivo puede ser medido de distintas formas dependiendo de la disponibilidad de los datos de entrada para su cálculo. Es así como se plantean dos alternativas para cuantificar el indicador aquí contemplado:</p>

## 6.2.2.

### Riesgo por costos adicionales asociados a la construcción

#### Alternativa 1:

Datos de Ingreso al Indicador:

- MIT: Monto total estimado de la inversión para el desarrollo del proyecto sin incluir material móvil en Valor Presente.
- MT: Metros estimado de túneles a ser construidos para las distintas alternativas de red metro a ser analizadas.
- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente

Forma de Cálculo del Indicador:

- RS: Riesgo de Sobrecostos

$$RS = \frac{MT}{MIT}$$

El valor resultante de aplicar la formula anterior sería un porcentaje que determina que porción de la inversión del proyecto esta asociada con construcción de túneles. Se premiara aquellas alternativas de red metro que minimicen este indicador.

#### Alternativa 2:

Datos de Ingreso al Indicador:

- MIT: Monto total estimado de la inversión para el desarrollo del proyecto sin incluir material móvil en Valor Presente.
- MCA: Monto estimado de los costos adicionales que se podrían presentar para las distintas alternativas de red metro a ser analizadas en Valor Presente.
- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente

Forma de Cálculo del Indicador:

- RS: Riesgo de Sobrecostos

$$RS = \frac{MCA}{MIT}$$

El valor resultante de aplicar la formula anterior sería un porcentaje que determina que tanto de la inversión puede tener riesgo de costos adicionales. Se premiara aquellas alternativas de red metro que minimicen

6.2.2. Riesgo por costos adicionales asociados a la construcción	
	este indicador.
Unidad de medición	%
Signo	-

6.2.3. Minimizar los Subsidios en la operación y mantenimiento del sistema	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Cálculo de los subsidios en la operación y mantenimiento del sistema</i></b></p> <p>Poder minimizar los costos asociados a la operación y mantenimiento de forma tal que permitan no generar subsidios, o en caso de presentarse, minimizar los mismos, es para el Distrito y para el Grupo Consultor, tan o más importante que el hecho de minimizar los costos asociados al desarrollo del proyecto. Puede darse el caso que se decida hacer un esfuerzo adicional en temas de financiación de la infraestructura del proyecto, si el resultado de este esfuerzo se viera compensado con gastos de operación y mantenimiento que, no generen, o minimicen los valores a ser aportados por la Ciudad durante la vida del proyecto como consecuencia de tener tarifas técnicas por encima de las posibles tarifas a usuarios a ser implementadas.</p> <p>Para efectos de calcular este indicador se definirá un horizonte de tiempo igual para todas las alternativas de red a ser evaluadas.</p> <p>Por otra parte, y considerando la importancia de la tasa de descuento utilizada en el cálculo de este indicador, se evaluará la posibilidad de incorporar ejercicios de sensibilidad del indicador a dicha tasa.</p> <p>Se buscará que la alternativa de red más favorecida sea aquella que minimice los valores presentes netos de los subsidios a ser aportados por el Distrito o que presente una menor tarifa técnica para el sistema. Por lo anterior, y al igual que en el caso anterior, existen dos alternativas para determinar este indicador las cuales se presentan a continuación:</p> <p>Alternativa 1:</p> <p>Datos de Ingreso al Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TT: Tarifa técnica del sistema para los niveles de operación estimados sobre la base de la demanda que tendría cada alternativa de red desarrollada.</li> <li>- TU: Tarifa usuario estimada para el sistema.</li> <li>- DE: Demanda estimada para cada alternativa de red desarrollada.</li> </ul>

<b>6.2.3. Minimizar los Subsidios en la operación y mantenimiento del sistema</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente</li> <li>- N: Número de años para calcular el Valor Presente de los subsidios</li> </ul> <p>Forma de Cálculo del Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MS: Monto de Subsidios en la operación del sistema</li> </ul> $MS = \sum_1^n \left[ \frac{DE_i \times (TU_i - TT_i)}{(1+t)^i} \right]$ <p>El valor resultante de aplicar la formula anterior sería un valor en Pesos o Dólares que determina el Valor Presente estimado de cada alternativa de red planteada. Como se mencionó anteriormente, se pretende premiar aquellas alternativas que resulten en valores menores de este indicador.</p> <p>Alternativa 2:</p> <p>Datos de Ingreso al Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TT: Tarifa técnica del sistema para los niveles de operación estimados sobre la base de la demanda que tendría cada alternativa de red desarrollada.</li> <li>- DE: Demanda estimada para cada alternativa de red desarrollada.</li> <li>- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente</li> <li>- N: Número de años para calcular el Valor Presente de los subsidios</li> </ul> <p>Forma de Cálculo del Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MS: Monto de Subsidios en la operación del sistema</li> </ul> $MS = \sum_1^n \left[ \frac{DE_i \times TT_i}{(1+t)^i} \right]$ <p>El valor resultante de aplicar la formula anterior sería un valor en Pesos o Dólares que determina el Valor Presente estimado de cada alternativa de red planteada. Como se mencionó anteriormente, se pretende premiar aquellas alternativas que resulten en valores menores de este indicador.</p>
Unidad de medición	COP
Signo	-

### Objetivo 6.3. Posibilidad de generación de ingresos colaterales

El cálculo del siguiente indicador articula la valoración de cada alternativa de red en relación a las oportunidades de generación de ingresos colaterales para el operador de metro:

6.3.1. Posibilidad de generación de ingresos colaterales	
Metodología de cálculo	<p><b><i>Generación de ingresos colaterales</i></b></p> <p>El objetivo aquí presentado busca determinar e incorporar en el análisis a realizar la estimación global y muy preliminar de ingresos colaterales que se puedan captar por el desarrollo del sistema.</p> <p>La forma de cuantificar el objetivo aquí planteado se detalla a continuación:</p> <p>Datos de Ingreso al Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MI (i): Monto estimado de inversión para el desarrollo del proyecto incluido material móvil para el año (i).</li> <li>- T: Tasa anual a ser utilizada para el cálculo del Valor Presente</li> <li>- IC: Estimación Global y Preliminar de Ingresos Colaterales</li> </ul> <p>Forma de cálculo del Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PIC: Ingresos Colaterales como porcentaje de la inversión total</li> </ul> $PIC = \frac{IC}{\sum \frac{MI_i}{(1+t)^i}}$ <p>El valor resultante de aplicar la formula anterior sería un porcentaje que determina que tanto de la inversión puede ser recuperada a través de ingresos colaterales al sistema. Se premiara aquellas alternativas de red metro que maximicen este indicador.</p>
Unidad de medición	COP
Signo	+

## **7.2 Concordancia de la propuesta inicial de indicadores de evaluación de redes con los requerimientos de los Términos de Referencia**

En base a los alcances establecidos en los Términos de Referencia con relación a los criterios de evaluación, se han determinado las correspondencias entre los ítems de análisis establecidos en los documentos de licitación y los indicadores definidos en la presente metodología.

En este sentido, la siguiente tabla recopila el conjunto de criterios definidos por los Términos de Referencia y el tratamiento que se ha otorgado a cada uno de ellos en la metodología desarrollada en el presente Informe.

Conviene mencionar que la metodología incluye un mayor número de indicadores que los que especifican los Términos de Referencia. Para aquellos criterios de evaluación que especifican los documentos licitatorios que no han sido incorporados en la metodología se incluyen las justificaciones correspondientes en la tabla siguiente.

Como aspecto primordial, conviene mencionar que la metodología objeto del presente producto tiene como fin determinar cuál de las redes propuestas es la más conveniente para Bogotá, por lo que la selección de indicadores atiende a criterios que sean comparables entre redes y orientados a discernir qué propuesta representa mayores beneficios en cada caso.

Previa aplicación de la metodología, se habrán desarrollado las distintas alternativas de redes, diseñadas bajo unos criterios que convendrá exponer, puesto que constituirán las premisas básicas de diseño con las que el Grupo Consultor habrá desarrollado las diferentes propuestas. En este sentido, algunos criterios que se tomen consideración para el diseño de alternativas, ya no formarán parte de la metodología de comparación de redes, puesto que serán premisas comunes para todas las propuestas. Como ejemplo mencionar que la no afectación de elementos naturales protegidos o culturales (patrimonio histórico) deben ser premisas de diseño y no criterios de comparación de alternativas. De igual modo, hay aspectos como la capacidad de suministro de la ciudad que no deben interferir en la decisión de la red a desarrollar, puesto que se considera una premisa de partida que si la red de Metro es una necesidad, la ciudad debe garantizar el suministro energético (este aspecto se puede valorar como inversión del sector público que entraría en una evaluación costo-beneficio, pero no debe condicionar la elección de la propuesta).

Asimismo, otro punto a tomar en consideración es que la metodología parte de la premisa de que la decisión de desarrollar una red de Metro es un hecho, por lo que los impactos se medirán siempre en términos relativos y no absolutos, puesto que el objetivo de la actividad no consiste en realizar una medición de todos los impactos que produce la implantación de un Metro, sino en determinar qué propuesta es la que genera un menor impacto.

En este orden de ideas conviene mencionar también que es esencial para la evaluación que los impactos producidos durante la construcción de la red no deben influir en la decisión de qué red se debe implementar. Todas las propuestas van a generar impactos en ruido durante la construcción, generación de material de desecho a remover, etc. pero el Grupo Consultor considera que por ejemplo el volumen de escombros generados no debe determinar si una línea de Metro se desarrolla o no. Ciertamente la generación de escombros tendrá un impacto en la ciudad, y se deberán establecer medidas para su tratamiento, pero no deben condicionar el trazado del Metro ni su tipología constructiva. De igual modo, la afectación al sistema de árboles de la ciudad, aspecto comentado en reuniones previas con el Cliente, sin duda es un impacto que debe mitigarse mediante establecimiento de normativas para el desarrollo del Metro (por ejemplo generar la obligación de que todo árbol afectado debe o bien trasplantarse o bien

sustituirse por un número determinado de nuevas plantaciones) pero no debe puntuarse negativamente a una propuesta por el hecho de que afecte una mayor cantidad del árboles que otra, puesto que se puede compensar mediante una inversión en reposición y traslado de árboles.

Una vez se haya seleccionado la propuesta de red, se llevará a cabo un proceso de priorización de las líneas, de modo que se determine cuál debe ser la Primera Línea de Metro. Es entonces cuando se empleará otro conjunto de criterios de priorización de líneas, que será distinto de los criterios para la formulación de alternativas y los indicadores para la evaluación comparada de redes.

En relación con este último aspecto, criterios como la ecoeficiencia durante la construcción, la afectación de árboles o aspectos como el vertimiento y manejo de escombros serían de utilidad, puesto que una gran afectación podría conllevar un costo asociado demasiado elevado para una primera línea.

A continuación se presenta la tabla de correspondencia entre los Términos de Referencia y la metodología multicriterio de evaluación de redes de Metro:

**Tabla 7-1. Correspondencia entre los Términos de Referencia y la metodología multicriterio de evaluación de redes de Metro**

Criterios de evaluación establecidos por los Términos de Referencia		Consideración dentro de la metodología de evaluación propuesta	
<b>Socioeconómica</b>	Beneficios, basado en el modelo de transporte	Demanda en cada alternativa	2.2.
		Trasbordos	2.1.2.
		Ahorros de tiempo de los usuarios de transporte	5.1.2.
		Beneficios ambientales	Indicadores del eje 4
		Población servida en distintos radios	1.2.1.
		Valorización inmobiliaria	1.3.3.
		Ahorros de costos de operación de vehículos automotores	5.2.1.
	Ahorros por reducción de accidentes	5.2.3.	
Costos, basado en	De construcción	6.2.	

Criterios de evaluación establecidos por los Términos de Referencia			Consideración dentro de la metodología de evaluación propuesta
	experiencias internacionales con adaptaciones al medio local	Mantenimiento	6.3.1.
		Operación	6.3.1.
		Propondrá el conjunto de indicadores socio-económicos	Indicadores del eje 5
Tarifaria	Se evaluarán condiciones tarifarias generales considerando como mínimo las siguientes dos hipótesis tarifarias y una tercera propuesta por el Consultor	Tarifa integrada, plana y única para todo el sistema,	Se emplean directamente en los indicadores 6.3., además que se utilizarán los escenarios tarifarios que estipulan los TDR en los procesos de modelación asociados
		Tarifa integrada, plana y diferenciada para el metro	
	En cada escenario de corto, mediano y largo plazo se definirá la tarifa de equilibrio Demanda-Costos de Operación		Este aspecto forma parte de los productos relacionados con la modelación, es una actividad previa a la evaluación de alternativas
Urbanística	Identificar y evaluar los impactos generados en cada una de las estructuras, sectores y sistemas de la ciudad y en su relación con la región (terminales satélites, aeropuerto, tren de cercanías, etc.)	La integración e impacto urbano-regional	1.1.3.
		Distribución equilibrada y sostenible en el territorio (POT)	1.1.1.
		Fortalecimiento de las localidades y de las centralidades de acuerdo a su función	1.1.2. y 1.2.2.
		Relación (distancia, accesibilidad) con respecto a los equipamientos urbanos por escala	1.2.2.
		Requerimientos de suelo para su implementación	No se valora la necesidad de suelo como tal, sino que se emplean factores relacionados con el uso del suelo en los



Criterios de evaluación establecidos por los Términos de Referencia		Consideración dentro de la metodología de evaluación propuesta	
		indicadores del objetivo 1.3.	
		Efecto barrera	4.3.1.
		Mayor aprovechamiento del suelo en edificabilidad e intensidad de usos	1.3.1.
		Generación de espacio público y áreas verdes	1.3.5.
		Impacto económico y fiscal	Indicadores del eje 6
		Otras que permitan la comparación objetiva de las alternativas planteadas	Se consideran indicadores adicionales a los que sugieren los TDR en la metodología propuesta
<b>Integración con el PMM</b>	Articulación con los elementos estructurantes del plan maestro de movilidad	SITP	3.2.1.
		Intercambiadores modales	3.2.4 y 3.3.2.
		Estacionamiento	No se considera relevante para una metodología de comparación de redes de metro. Podría considerarse para la posterior priorización de líneas
		Redes Peatonales	3.3.2. pero orientado a redes de ciclorrutas; las redes peatonales no se consideran relevantes a este nivel de análisis
		Zonas de Actividad Logística (ZAL)	No se incluye por no considerarse que sea relevante para una red de transporte de pasajeros que interactúe con una zona orientada al tratamiento de cargas, y más teniendo en cuenta que la

Criterios de evaluación establecidos por los Términos de Referencia			Consideración dentro de la metodología de evaluación propuesta
			polarización de nodos logísticos que existe en Bogotá no genera la opción de atender a grandes volúmenes de desplazamientos por movilidad obligada mediante la localización de una parada de metro en una ZAL
		Planes y programas relacionados con transporte y desarrollo urbano – regional (tren cercanías)	3.2.1. (se evalúa el escenario de red completa, para el año 2038, por lo que se toman en consideración todos los planes y programas al montar las redes de futuro y evaluar aspectos urbanísticos)
<b>Accesibilidad</b>	Elaboración de índices numéricos y espaciales de accesibilidad general de la población al sistema	Salud	1.2.2. y 1.2.4.
		Educación	
		Recreación	
		Demás definidos en el Sistema de Equipamientos	
<b>Redes de servicios públicos</b>	Evaluación de interferencias importantes con la infraestructura de redes matrices de servicios públicos, que generen alto impacto por renovaciones, traslados y/o proyectos futuros.		1.2.5.
<b>Ambientales</b>	Ecoeficiencia de cada alternativa durante la construcción y operación valorada en:	Generación de espacio público, áreas verdes, arbolado urbano y aportes al paisajismo o su afectación	Parcialmente considerado en el 1.3.5. (generación de espacio público) y en el eje 4 (temas ambientales) pero sólo durante fase de operación. La fase constructiva no se considera.
	Interferencia con elementos de la estructura Ecológica Principal y sus medidas de control, mitigación o compensación: Impactos ambientales por kilómetro por cada alternativa y sus	Auditivo	4.2.2.
		Vibraciones	Criterio considerable en la priorización de líneas, no en la evaluación comparada de redes
		Emisiones (gases,	4.2.1.

Criterios de evaluación establecidos por los Términos de Referencia		Consideración dentro de la metodología de evaluación propuesta
medidas de control, mitigación o compensación elevado, a nivel y subterráneo, la proporción de estos	partículas)	
	Generación y manejo integral de escombros	Criterio considerable en la priorización de líneas, no en la evaluación comparada de redes
	Vertimientos	Criterio considerable en la priorización de líneas, no en la evaluación comparada de redes
	Afectación del suelo	Indicadores del objetivo 1.3. y del 4.1.
	Afectación del recurso hídrico superficial y subterráneo	4.1.3.
	Residuos sólidos y sólidos peligrosos	Sólo se generan en talleres, por lo que no deben formar parte de la evaluación.
	Disposición de elementos químicos, combustibles y aceites	Sólo se generan en talleres, por lo que no deben formar parte de la evaluación.
	Contaminación visual	4.3.1.
	Afectación de flora y fauna.	Criterio considerable en la priorización de líneas, no en la evaluación comparada de redes
	Otros	Se consideran otros aspectos en la evaluación multicriterio
<b>Adquisición, expropiación y/o relocalización</b>	Elaboración de un estimado del área posiblemente intervenida para la construcción de cada alternativa, proponiendo indicadores que permitan evaluar los desplazamiento de población impactos que genere el desplazamiento de población desplazamiento de población	Se consideran los reasentamientos en el indicador 5.3.2. Las expropiaciones deben formar parte de la priorización de líneas.
<b>Suministro de</b>	Evaluación del consumo energético de los	Se considera una premisa que

Criterios de evaluación establecidos por los Términos de Referencia		Consideración dentro de la metodología de evaluación propuesta
<b>energía</b>	distintos tipos en cada alternativa y análisis de la capacidad de suministro de energía de la ciudad	la ciudad debe garantizar el suministro de energía.  El consumo energético se valora en el indicador 4.2.1.
<b>Captación de usuarios al sitp</b>	Impacto en la distribución modal de los viajes de la ciudad.	Indicadores del objetivo 2.2.
<b>Riesgos naturales</b>	Vulnerabilidad de la red ante situaciones de riesgos naturales (inundaciones, terremotos, etc.)	No se considera un indicador relevante para la determinación de la red, puesto que todas las alternativas estarán sometidas a niveles similares de afectación ante catástrofes naturales, por lo que no sería un indicador que contribuyera a diferenciar el desempeño de las diferentes propuestas de red.