



Alamys

Asociación Latinoamericana  
de  
Metros y Subterráneos



Metro  
de Bogotá

METRO DE  
BOGOTÁ S.A.





Alamys

Asociación Latinoamericana de  
Metros y Subterráneos

## Bogotá D.C.

Superficie Urbana: 390 Km2

Población: 8.081 millones de habitantes

### MOVILIDAD:

#### Viajes diarios motorizados:

- **BRT – TransMilenio:** ..... 2.560.569
- **Privado automóvil:**.....1.756.003
- **Privado Motocicleta:** .....806.930
- **Taxi:**.....728.503

### TRANSMILENIO

- **Troncales:** .....110 Km
- **Buses:**.....1.392
- **Estaciones:** .....155

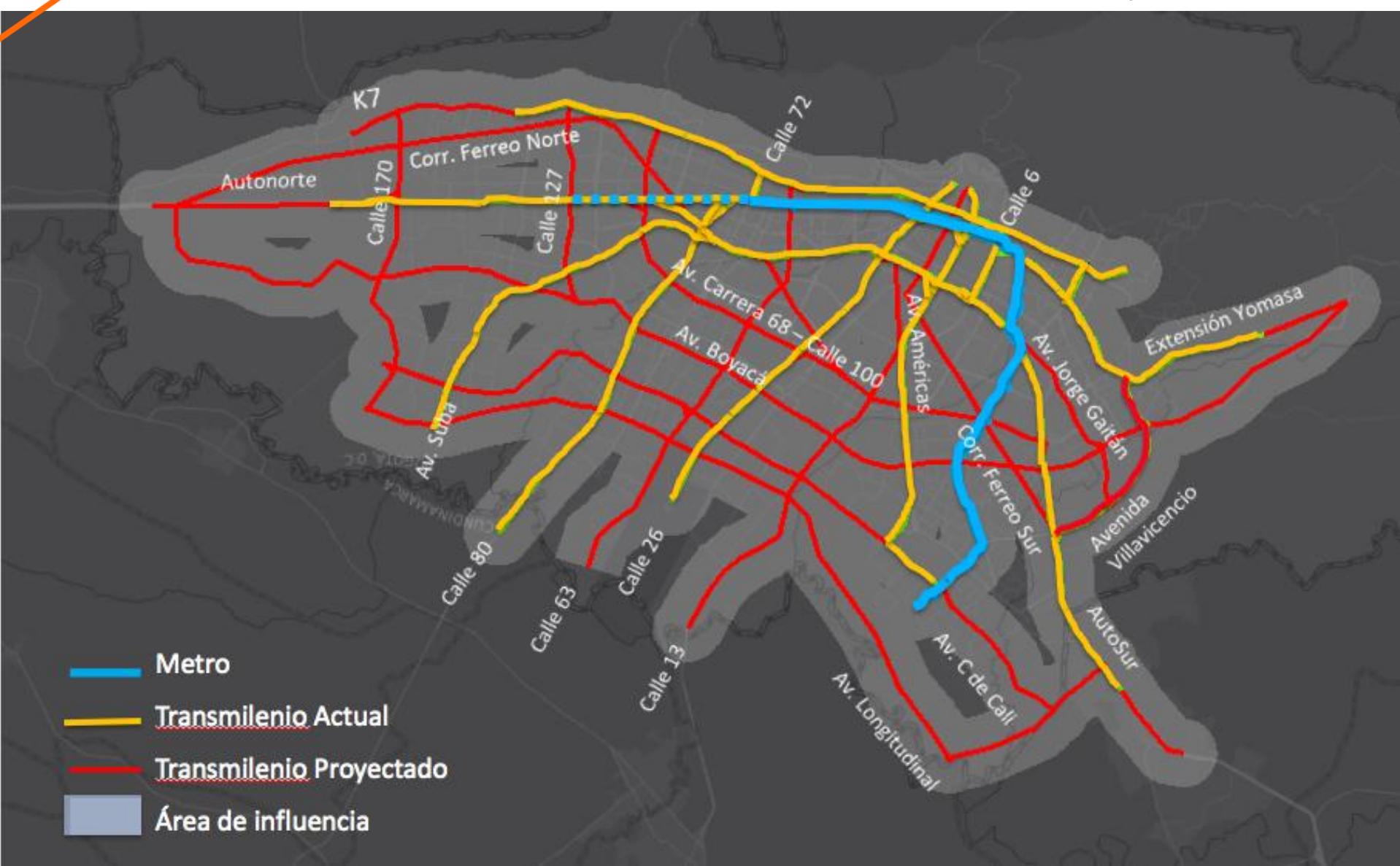
**VEHÍCULOS PARTICULARES:** ...1.508.523

**TAXIS:** .....52.437

**MOTOS:** .....466.046

# ESTRUCTURACION OBJETIVO No 1.

1. Identificar el Mejor Trazado y  
Alineamiento Vertical



## ALTERNATIVA SELECCIONADA:

En el año 2022...

...más del 80% de los ciudadanos vivirán a menos de 1 kilómetro de una línea de transporte masivo

# Alternativas de Trazado

**EVALUADAS:**

**1 CORREDOR DE TRANSPORTE**

= **8 ALTERNATIVAS DE TRAZADO**  
**HORIZONTAL Y VERTICAL**

A,B,C,D todo  
elevado

A. Elevado  
hasta Carrera  
50

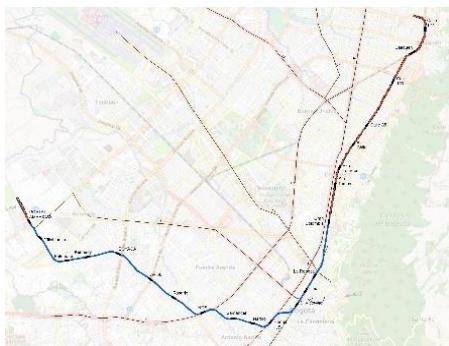
D. Todo  
elevado

Base. Todo  
Subterráneo

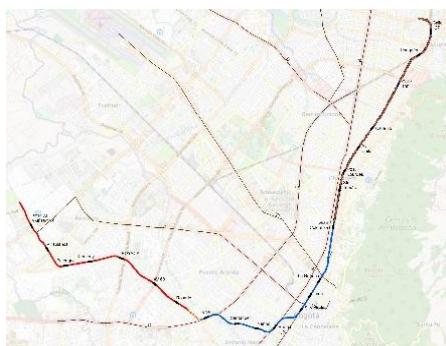
C. Elevado  
hasta Calle 63

B. Elevado  
hasta Calle 26

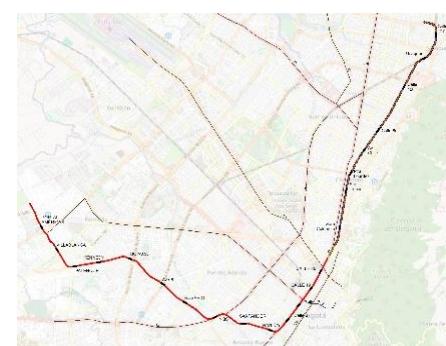
# Alternativas Evaluadas y Comparadas



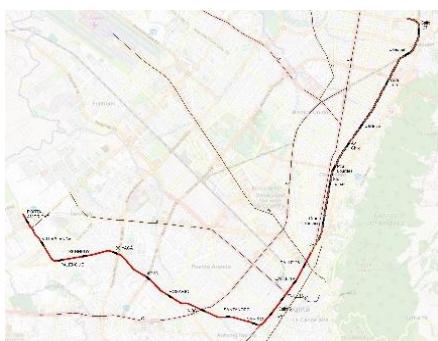
Alternativa base modificada – 100% túnel



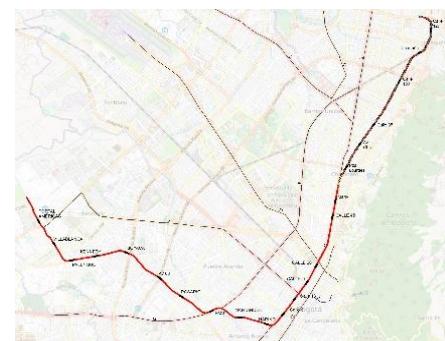
Alternativa A.1 – 68% túnel, 32% viaducto



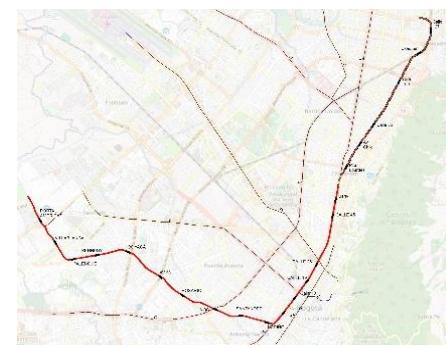
Alternativa B.1 – 41% túnel, 59% viaducto



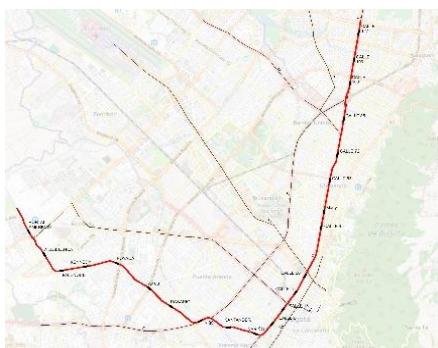
Alternativa B.2 – 41% túnel, 59% viaducto



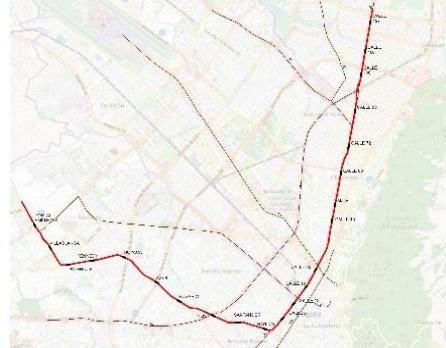
Alternativa C.1 – 31% túnel, 69% viaducto



Alternativa C.2 – 31% túnel, 69% viaducto



Alternativa D.1 – 100% viaducto

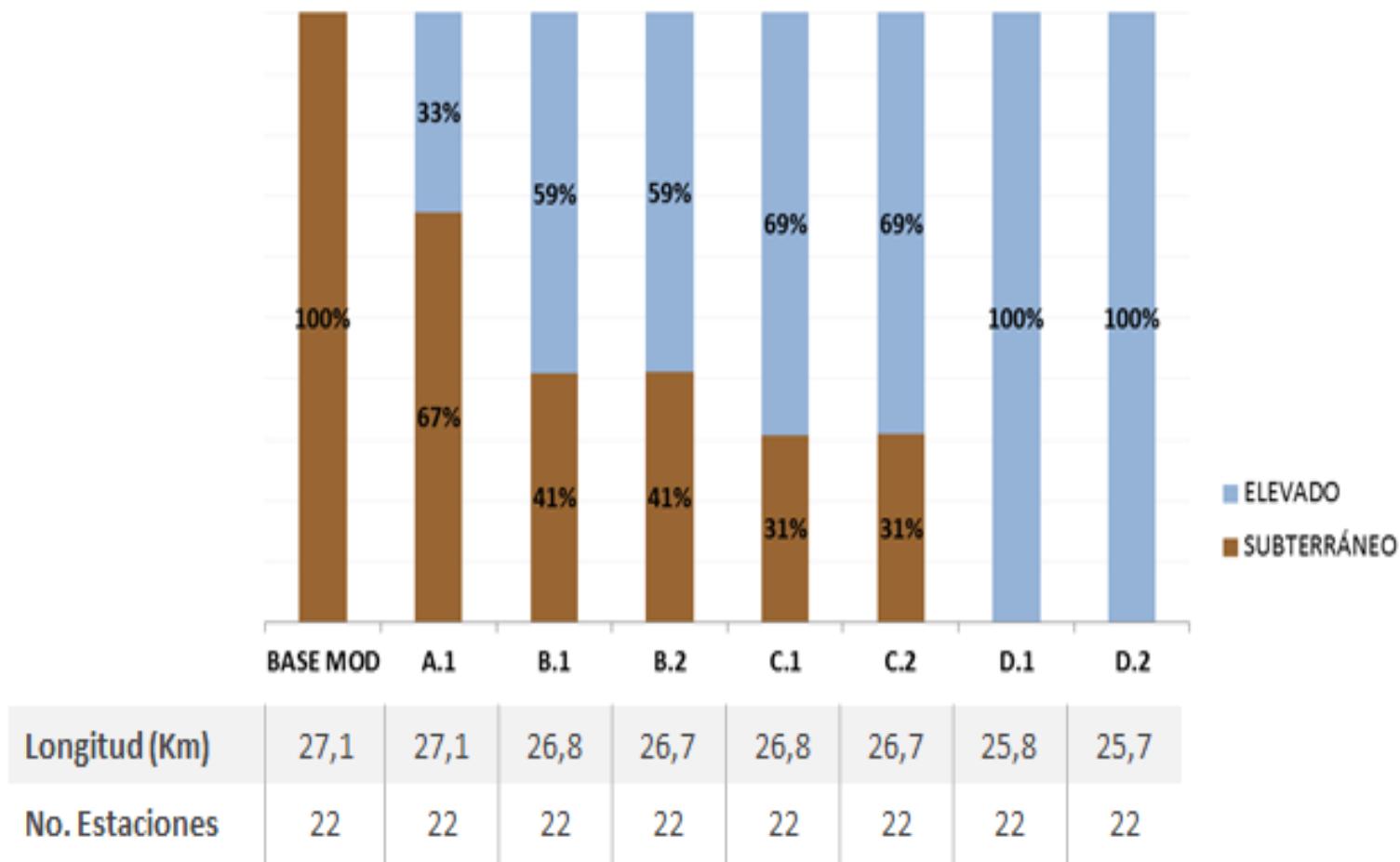


Alternativa D.2 – 100% viaducto

- Transmilenio
- C2**
- Túnel
- Viaducto
- Túnel entre pantallas
- Trinchera transición
- Estaciones



# Alternativas Evaluadas y Comparadas



# MATRIZ MULTICRITERIO

## Indicadores Seleccionados y Ponderados (parte 1)

| Componente Impacto Ambiental |  |              |                               |       |
|------------------------------|--|--------------|-------------------------------|-------|
| CRITERIO                     | INDICADOR  | MEDIDA       | UNIDAD                        | PESOS |
| Fuentes hídricas             | Cruces con cuerpos de agua                             | Cuantitativo | UN                            | 21%   |
| Suelo                        | Generación de escombros durante la obra                | Cuantitativo | M3                            |       |
| Paisajismo                   | Afectación arbórea                                     | Cuantitativo | UN                            |       |
| Ruido y vibraciones          | Generación de ruido por la operación del sistema       | Cuantitativo | dB                            |       |
|                              | Generación de vibraciones por la operación del sistema | Cualitativo  | Alto (3), Medio (2), Bajo (1) | 21%   |

| Componente Proceso Constructivo |   |              |                                       |       |
|---------------------------------|---|--------------|---------------------------------------|-------|
| CRITERIO                        | INDICADOR   | MEDIDA       | UNIDAD                                | PESOS |
| Rendimiento                     | Tiempo total de construcción                              | Cuantitativo | Meses                                 | 22%   |
| Daño emergente y lucro cesante  | Perturbación a vecinos comerciales                        | Cuantitativo | No. predios comerciales/rendimiento   |       |
| Perturbaciones al tráfico       | En el tráfico vehicular                                   | Cuantitativo | M1 de vías cerradas/rendimiento       |       |
|                                 | En la operación del BRT                                   | Cuantitativo | M1 de troncales afectadas/rendimiento |       |
| Ruido y vibraciones             | Generación de ruido por la construcción del sistema       | Cuantitativo | dB/rendimiento                        | 12%   |
|                                 | Generación de vibraciones por la construcción del sistema | Cualitativo  | Alto (3), Medio (2), Bajo (1)         |       |
| Redes de servicio público       | Interferencias con redes principales                      | Cuantitativo | M1 de redes                           |       |

| Componente Urbano-Paisajístico |  |              |                       |          |
|--------------------------------|--|--------------|-----------------------|----------|
| CRITERIO                       | INDICADOR  | MEDIDA       | UNIDAD                | PROMEDIO |
| Renovación urbana              | Potencial de generación de Espacio Público                       | Cuantitativo | M2 de espacio público | 18%      |
|                                | Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios               | Cuantitativo | M2 de edificios       |          |
|                                | Potencial de recuperación de zonas deprimidas                    | Cuantitativo | M2                    |          |
| Impacto urbano                 | Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico | Cuantitativo | M2 impactados         | 16%      |
|                                | Proximidad con fachadas (abajo 10m)                              | Cuantitativo | M1 de fachadas        |          |
|                                | Impacto visual   | Cualitativo  | -                     | 17%      |

# MATRIZ MULTICRITERIO

## Indicadores Seleccionados y Ponderados (parte 2)

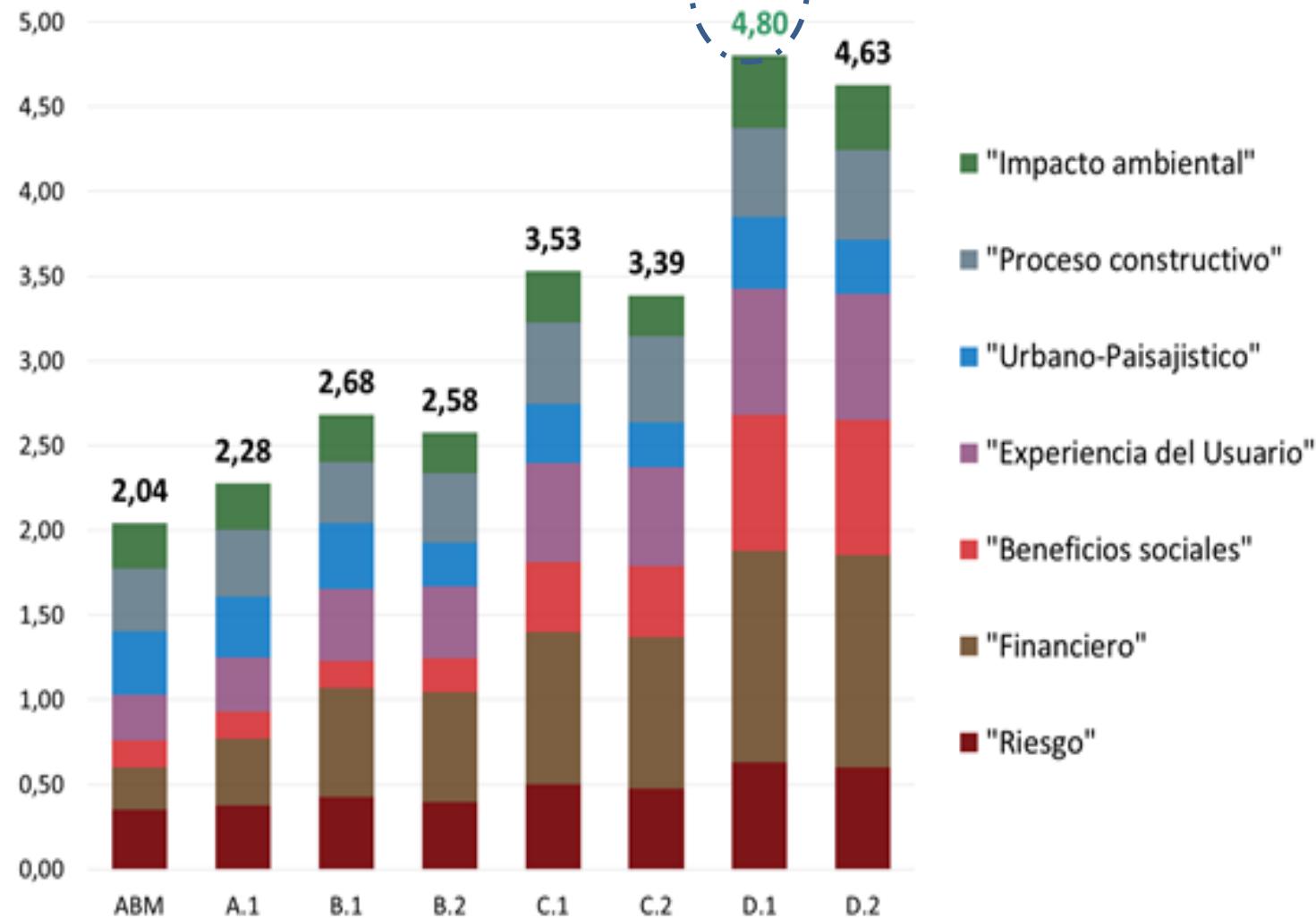
| Componente Experiencia del Usuario             |                          |              |                                  |          |
|--|--------------------------|--------------|----------------------------------|----------|
| CRITERIO                                       | INDICADOR                | MEDIDA       | UNIDAD                           | PROMEDIO |
| Percepción en el uso del sistema de transporte | Apropiación de la ciudad | Cualitativo  | -                                | 34%      |
|  | Percepción de seguridad  | Cualitativo  | -                                | 35%      |
|  | Salubridad e higiene     | Cuantitativo | Mt de tunel, trinchera, viaducto | 31%      |

| Componente Beneficios Sociales |                                  |              |                 |          |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|----------|
| CRITERIO                       | INDICADOR                        | MEDIDA       | UNIDAD          | PROMEDIO |
| Mejoras de transporte          | Pasajeros transportados (HP)     | Cuantitativo | Embarques       | 42%      |
|                                | Ahorros en tiempo                | Cuantitativo | Horas pasajeros | 32%      |
| Integración BRT                | Tiempo promedio de transferencia | Cuantitativo | mn              | 26%      |

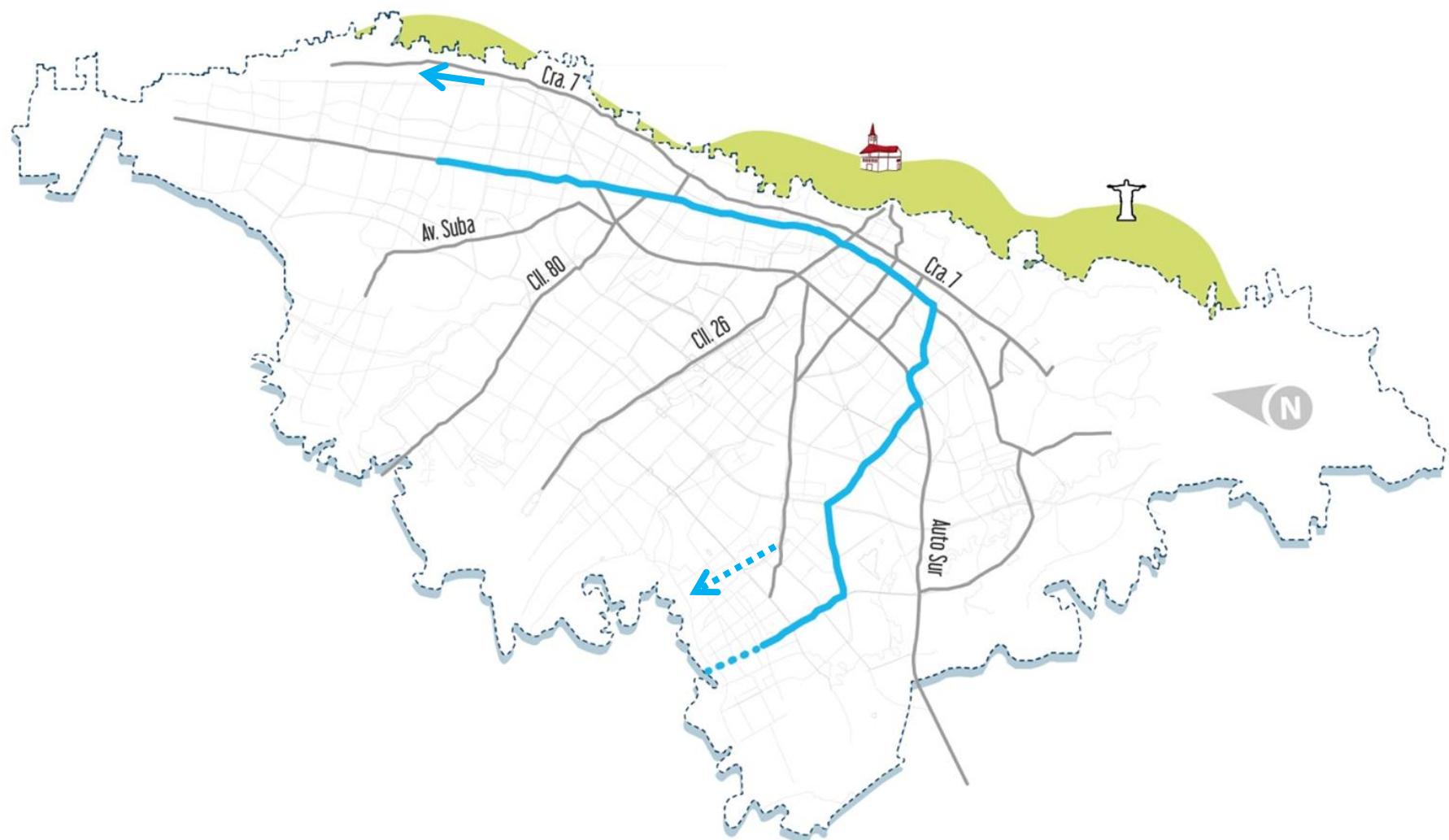
| Componente Financiero          |  |              |                      |          |
|--------------------------------|--|--------------|----------------------|----------|
| CRITERIO                       | INDICADOR  | MEDIDA       | UNIDAD               | PROMEDIO |
| Costos inversión y explotación | Costos de inversión sistema metro por km (con predios) | Cuantitativo | \$COP/km             | 59%      |
|                                | Costos de operación y mantenimiento                    | Cuantitativo | \$COP/tren.kilómetro | 41%      |

| Componente Riesgos         |  |              |            |          |
|----------------------------|--|--------------|------------|----------|
| CRITERIO                   | INDICADOR  | MEDIDA       | UNIDAD     | PROMEDIO |
| Riesgo geotécnico          | Subsistencia y derrumbes                           | Cuantitativo | Mt         | 17%      |
| Riesgo sísmico             | Riesgo sísmico para las estructuras                | Cuantitativo | Mt         | 16%      |
| Riesgo sobre el cronograma | Incertidumbre sobre el rendimiento de construcción | Cuantitativo | Mt/día     | 25%      |
| Riesgo de gestión predial  | Riesgo sobre la gestión predial                    | Cuantitativo | UN predios | 18%      |
| Riesgo financiero          | Incertidumbre sobre el costo del proyecto          | Cualitativo  | -          | 25%      |

## Resultados Matriz de Evaluación Multicriterio



## Mejor Alternativa: D1 ( 100% Viaducto)



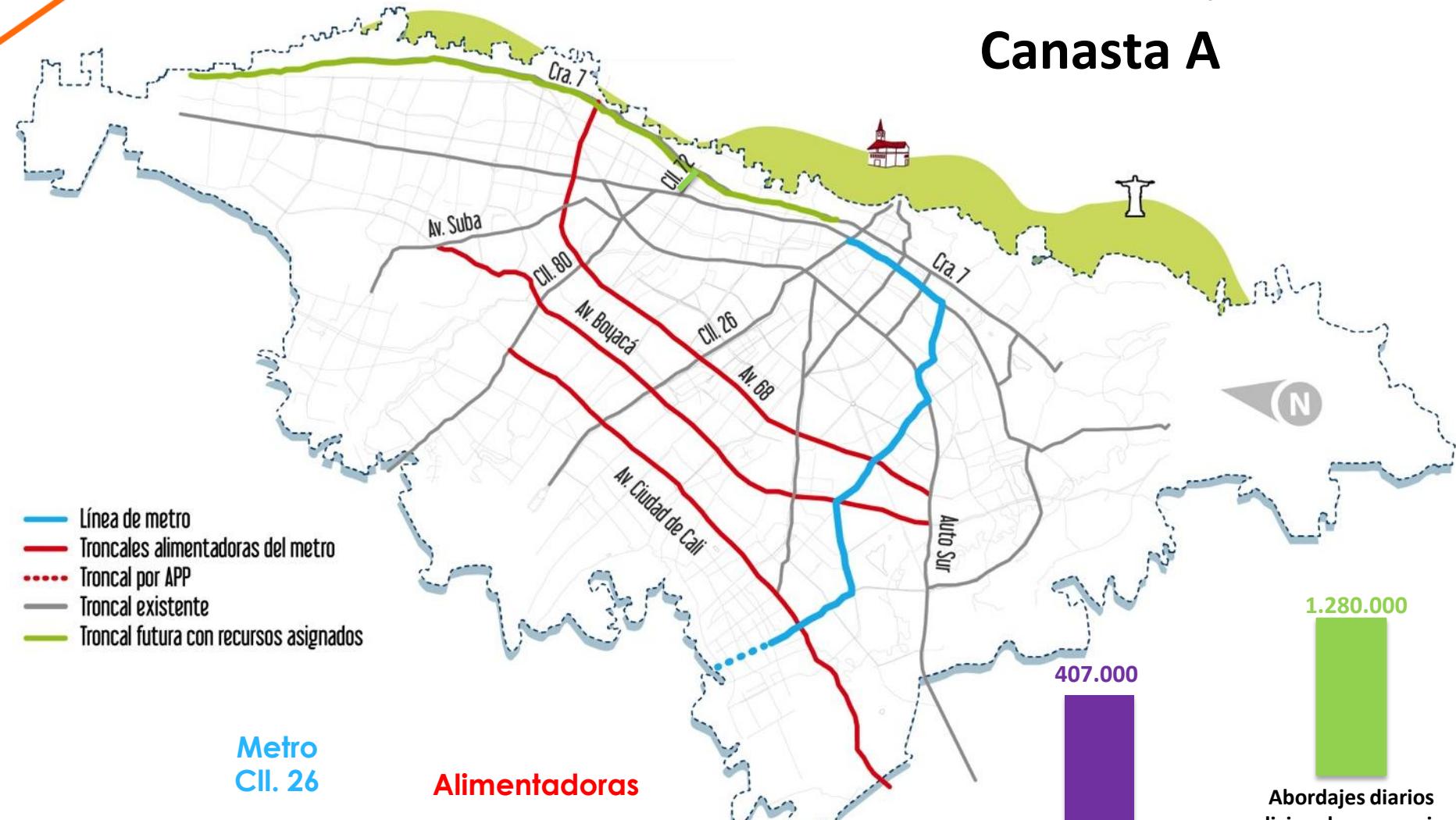
## OBJETIVO No 2.

# Definir Mejor Uso del Presupuesto Disponible

## ESTRUCTURACION: PROCESO DE OPTIMIZACION PLMB

- Hasta este punto del estudio, la comparación fue a largo plazo, sin considerar el presupuesto existente.
- El siguiente objetivo fue identificar la mejor canasta de inversión a partir del presupuesto disponible: 13,9 billones desembolsables entre el 2018 y el 2022 (US4.6 Bn)
- Cual es la mejor canasta? La que ofrece los mayores beneficios para la ciudad (Función Objetivo)
  - Mas ahorros de tiempo para usuarios y no usuarios
  - Mayor cantidad de viajes en transporte público
  - Calidad de esos viajes (confort en el abordaje, en el viaje y en las transferencias de modo).

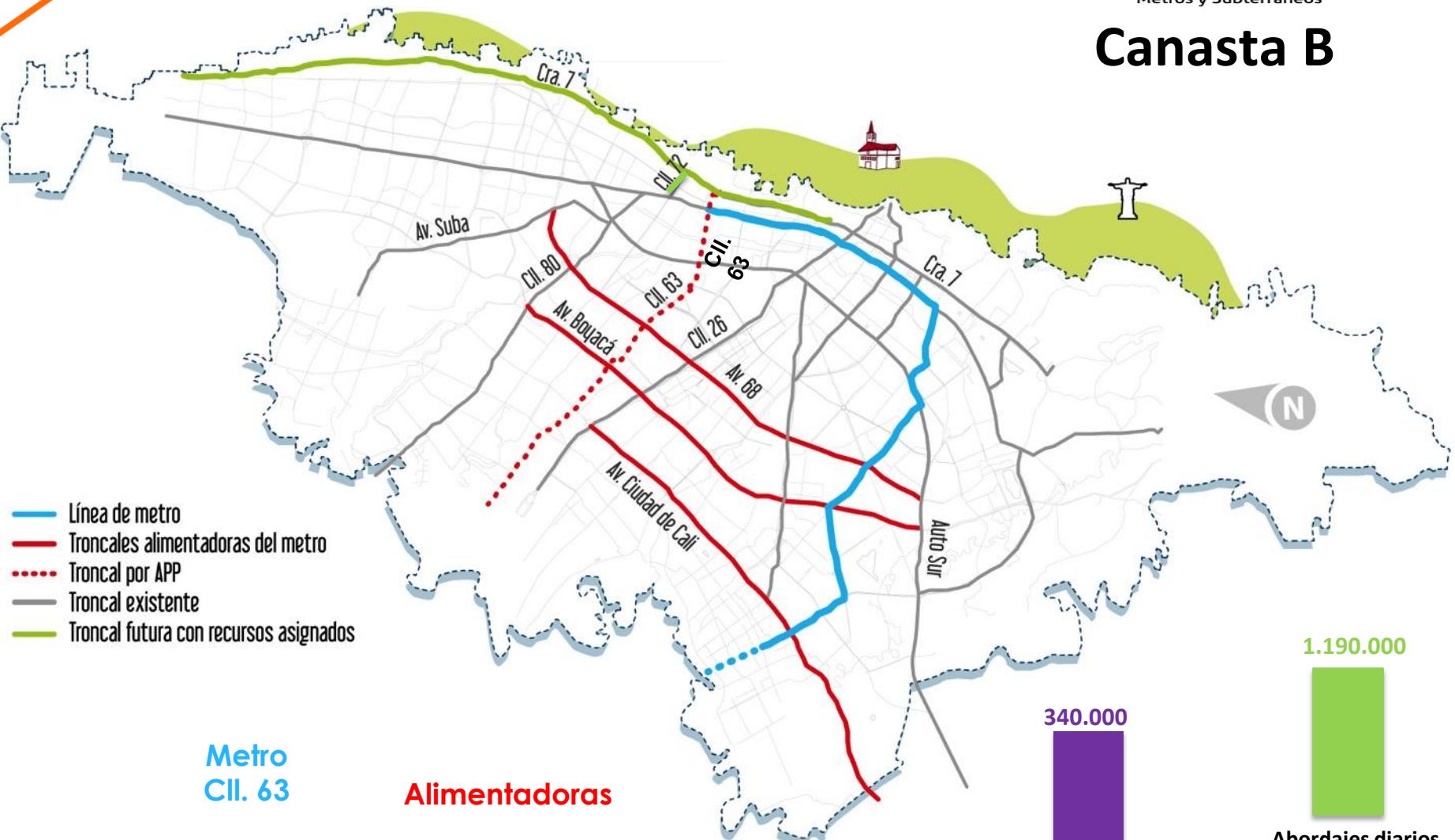
# Canasta A



Ahorro de tiempo al día  
en transporte público  
(horas)

Abordajes diarios  
adicionales en masivo  
(base: 3,520,000)

# Canasta B



## Metro Cll. 63

## Alimentadoras

Longitud (Km)

18

42

Costo  
(Millones COP)

\$9.214.000

\$4.182. 000

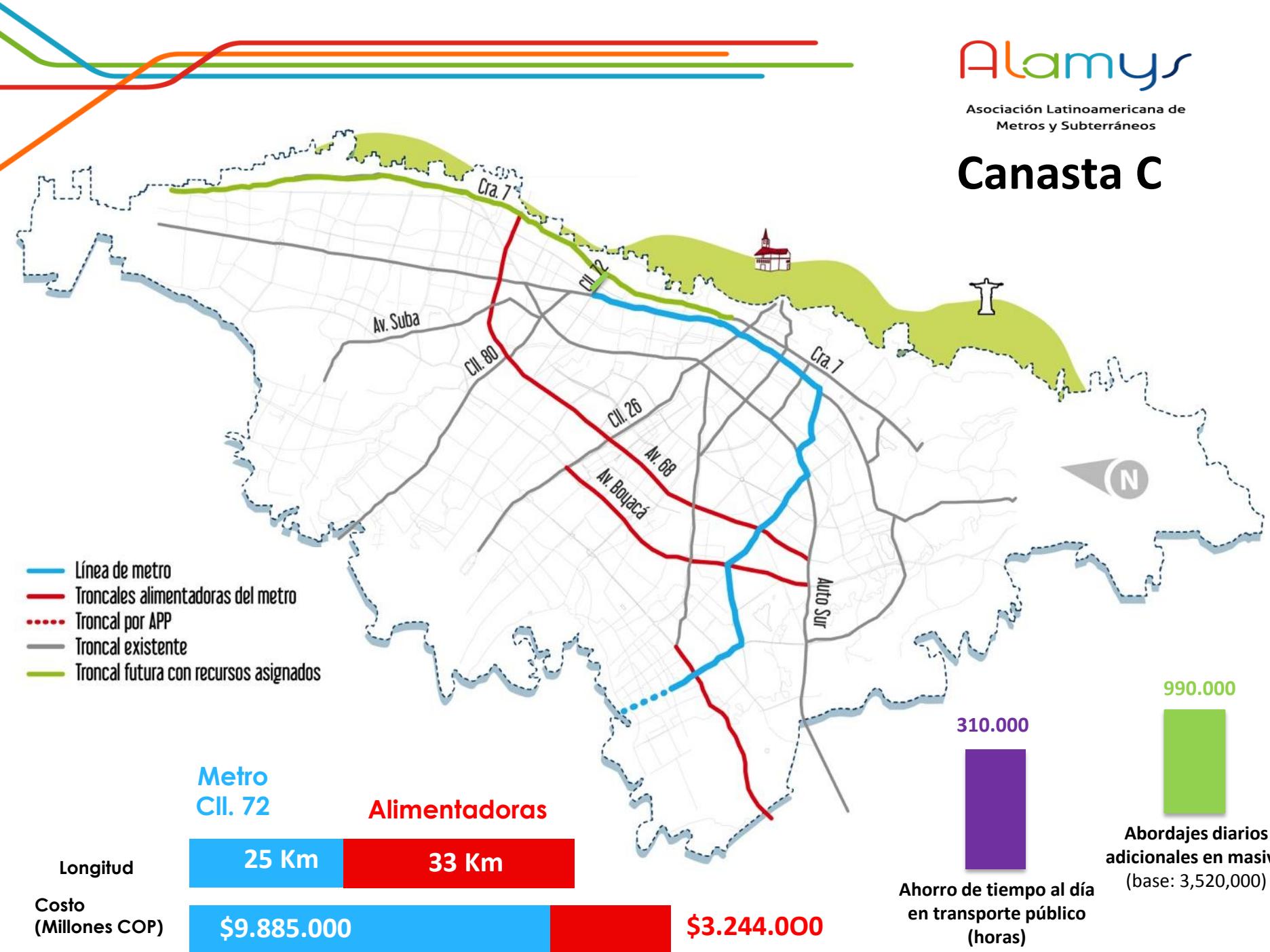
Ahorro de tiempo al día  
en transporte público  
(horas)

340.000

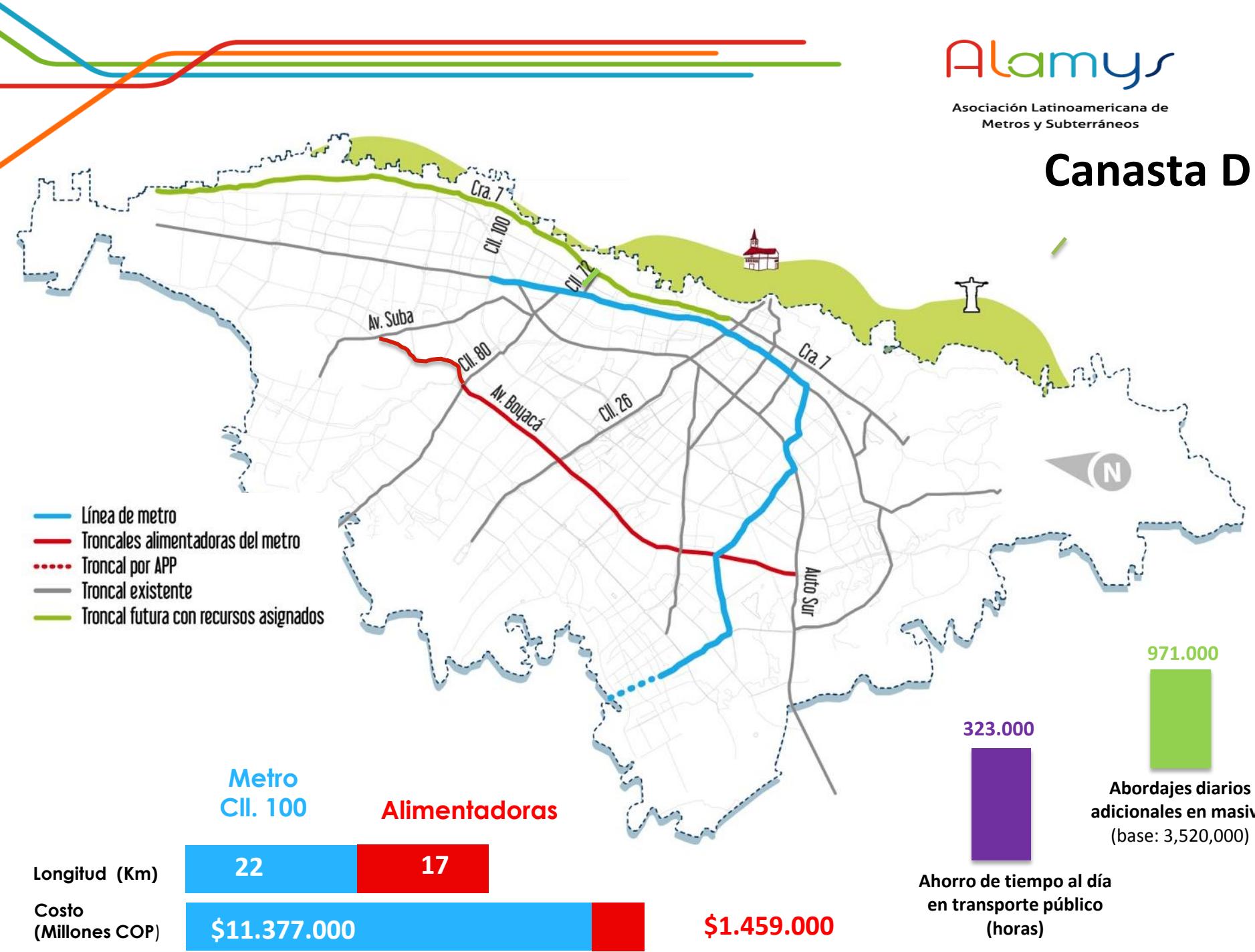
1.190.000

Abordajes diarios  
 adicionales en masivo  
(base: 3,520,000)

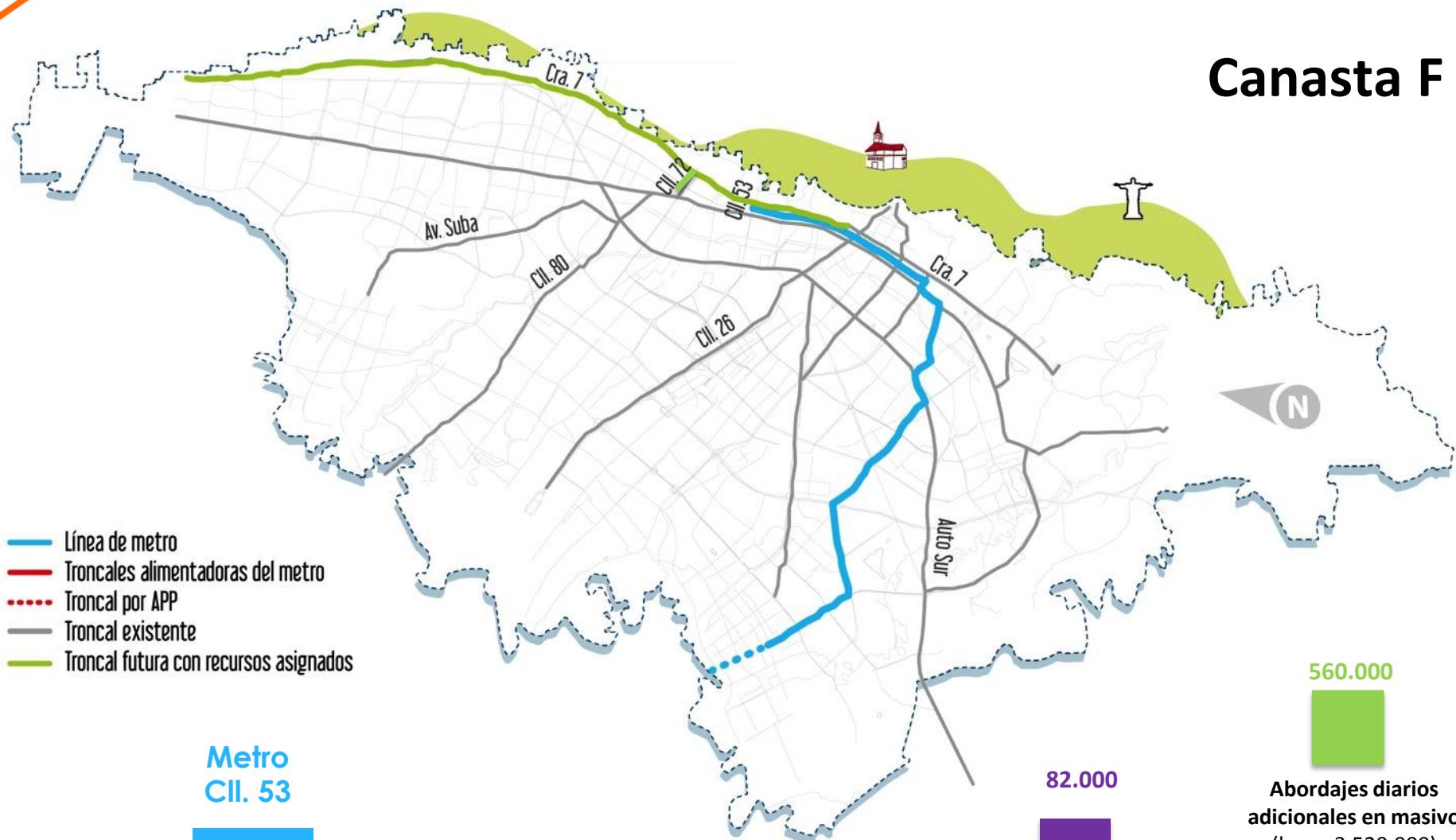
# Canasta C



## Canasta D



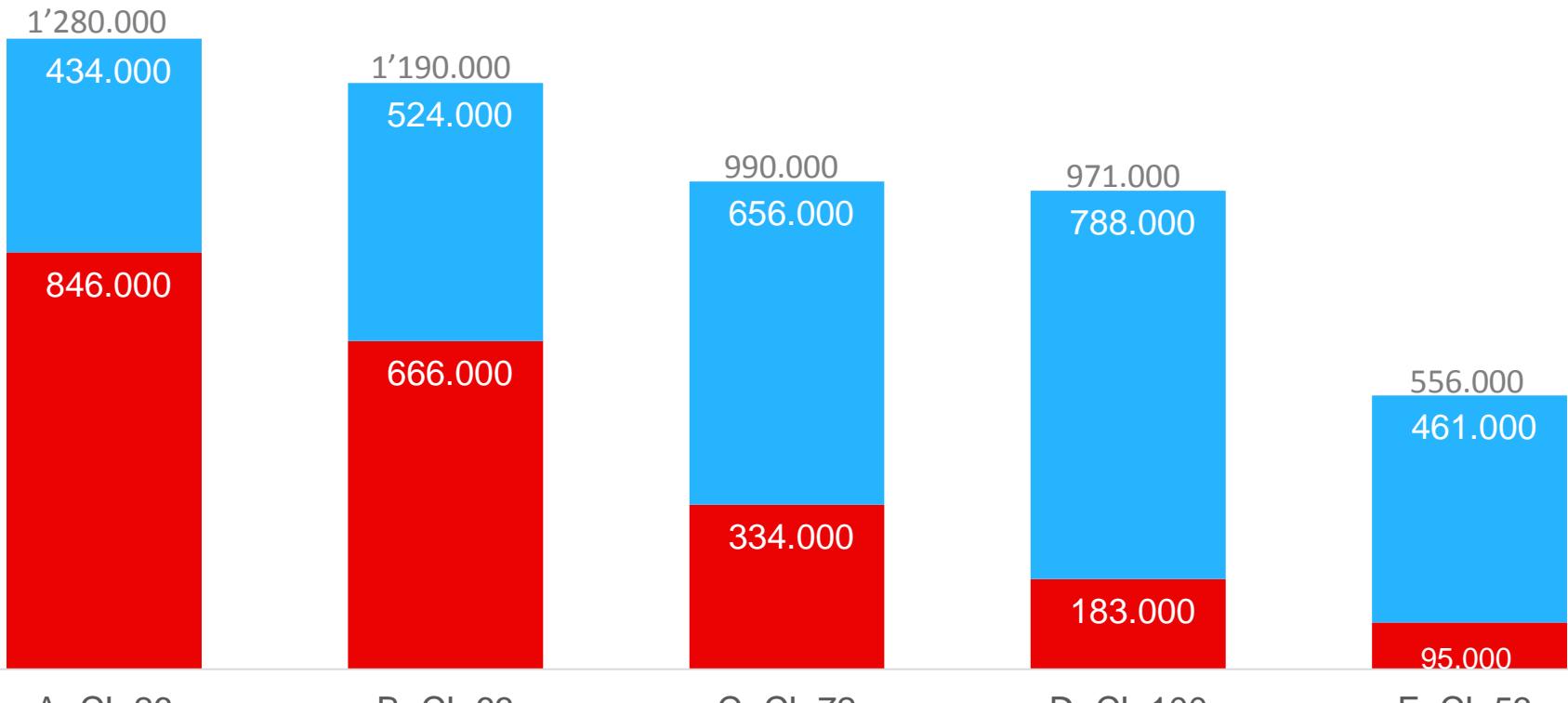
# Canasta F



Ahorro de tiempo al día en transporte público (horas)

# Resumen Resultados año 2030

## Abordajes diarios adicionales en transporte masivo por metro y troncales alimentadoras

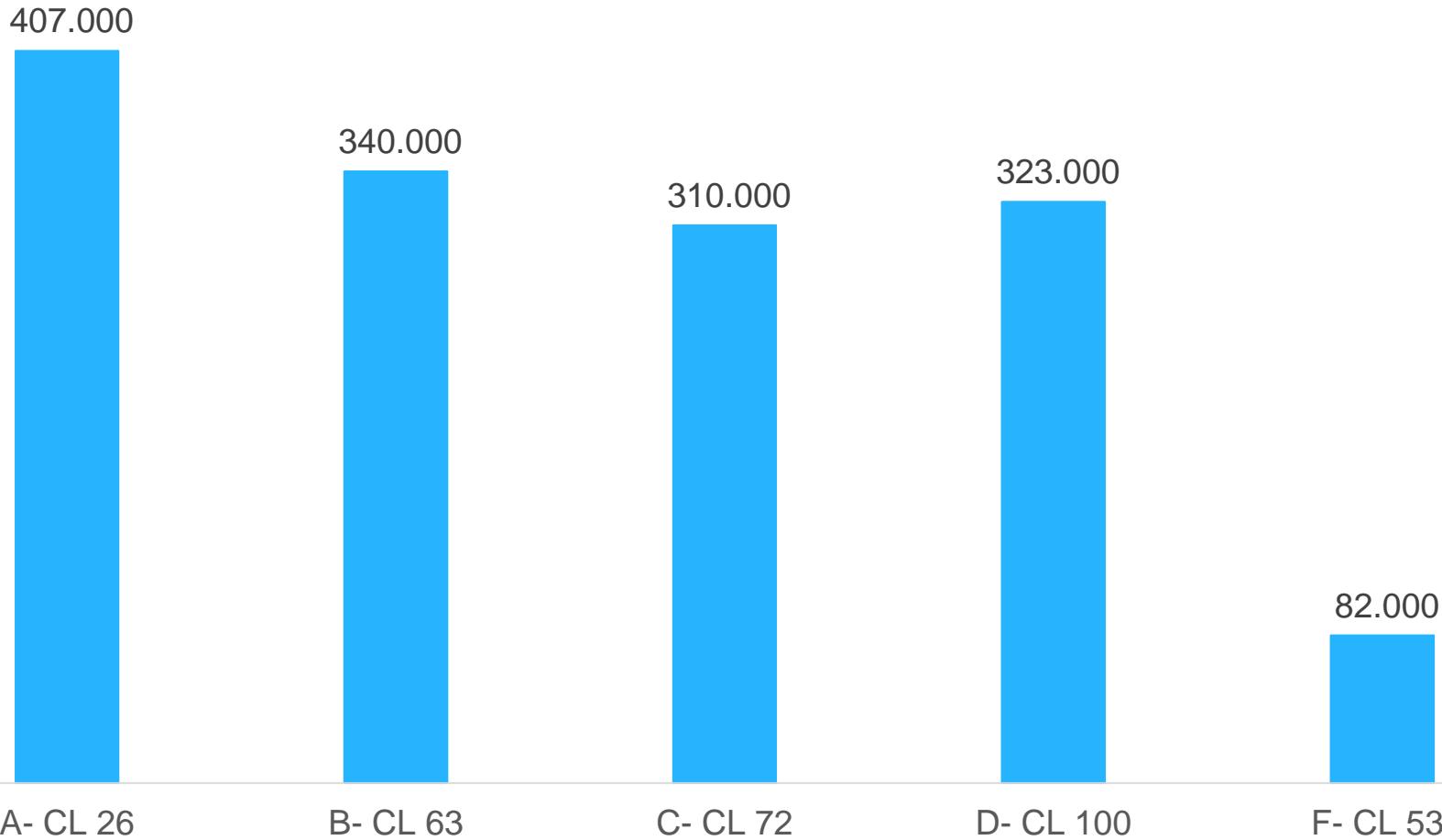


■ Abordajes diarios adicionales en Transmilenio

■ Abordajes diarios adicionales en Metro

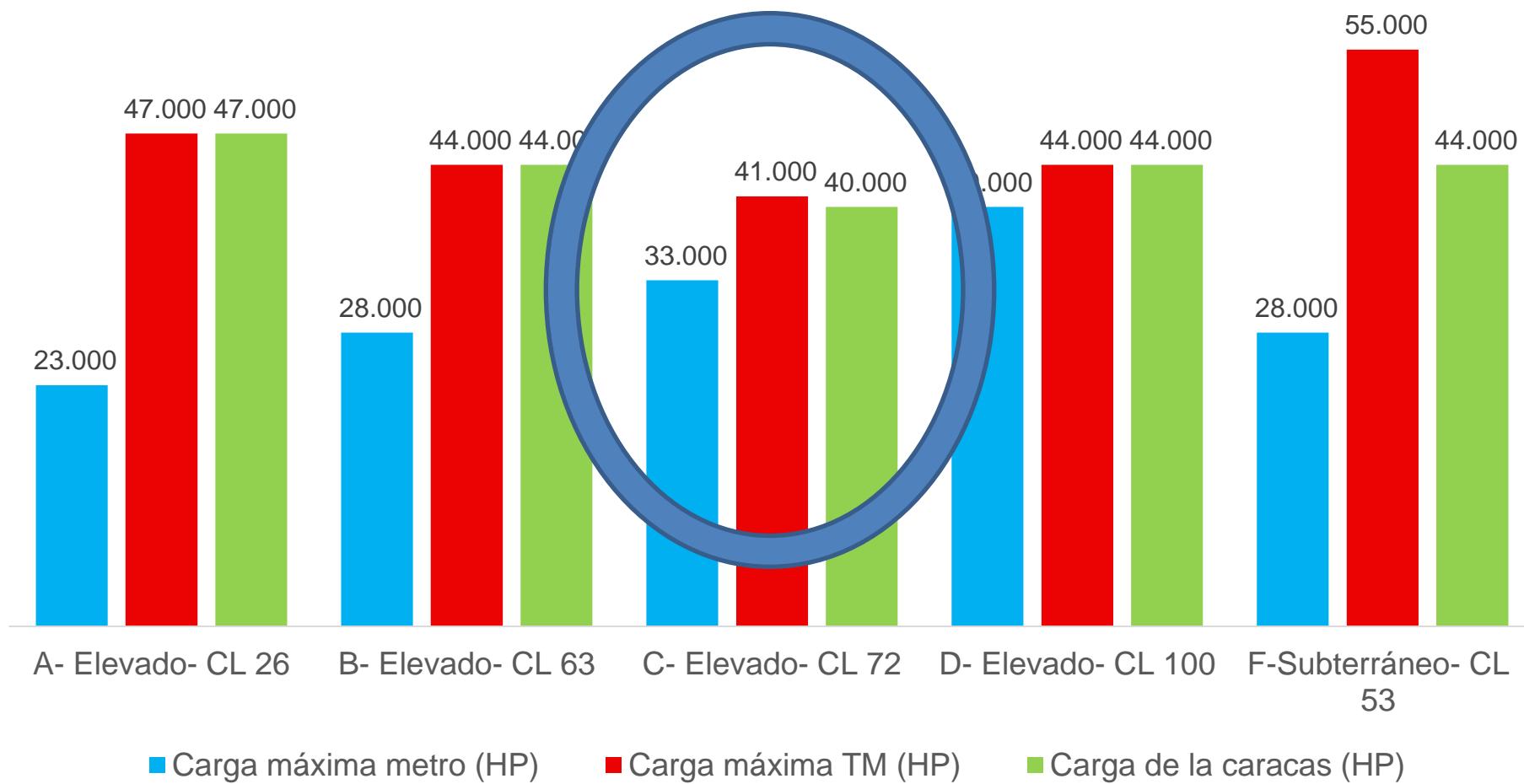
## Resumen Resultados año 2030

Ahorros de tiempo de viaje al día en transporte público (horas)

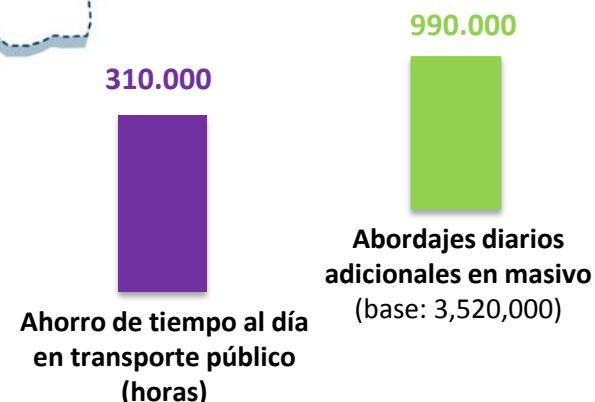
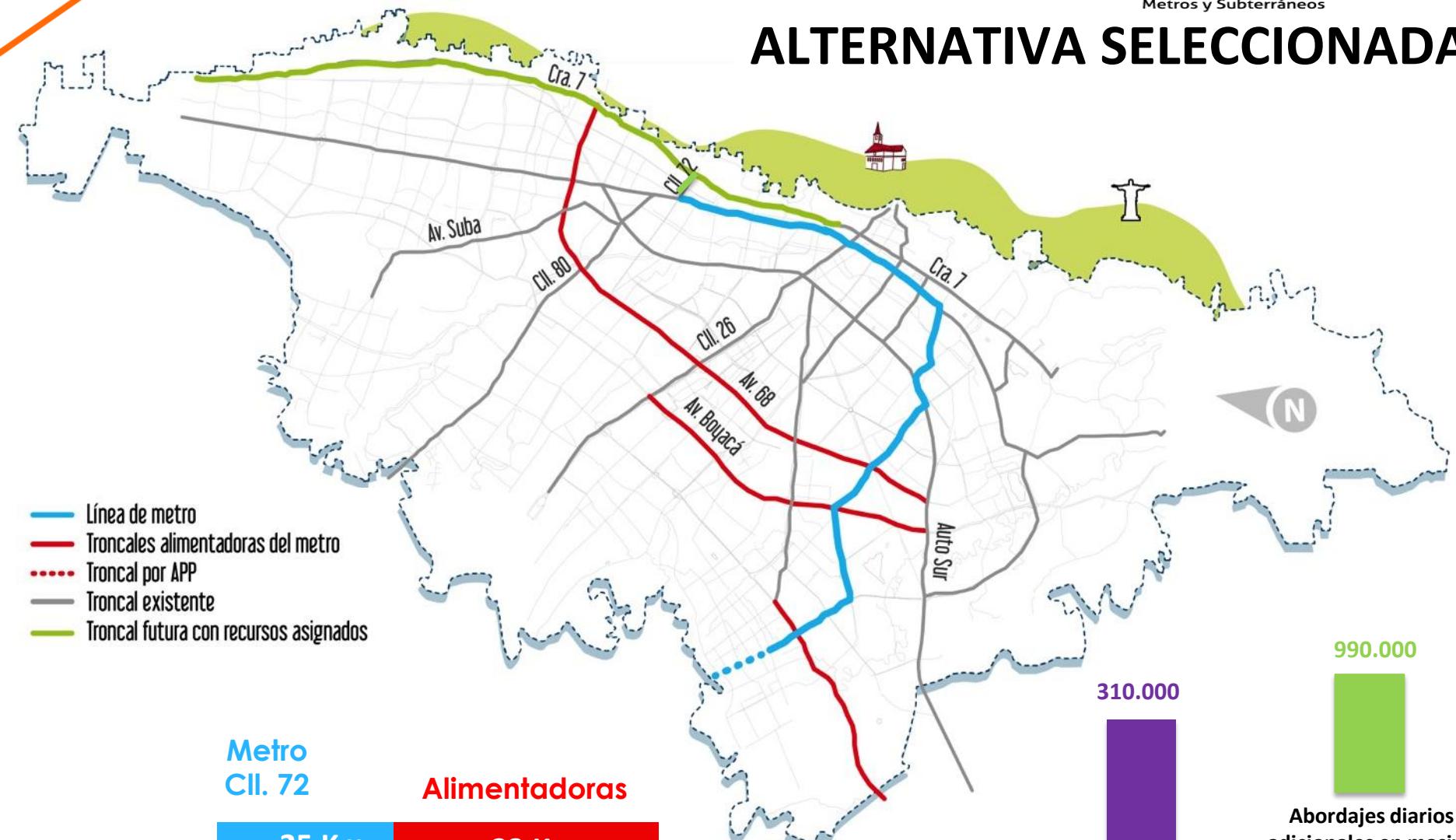


# INDICADOR PROXI DE LA CALIDAD DEL SERVICIO

Cargas máximas de pasajeros en la hora pico  
en las principales líneas del Sistema. Proyección al 2030



# ALTERNATIVA SELECCIONADA:





# Adopción de Criterios para el Diseño del Metro

## PROCESO DE ADOPCIÓN DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL METRO

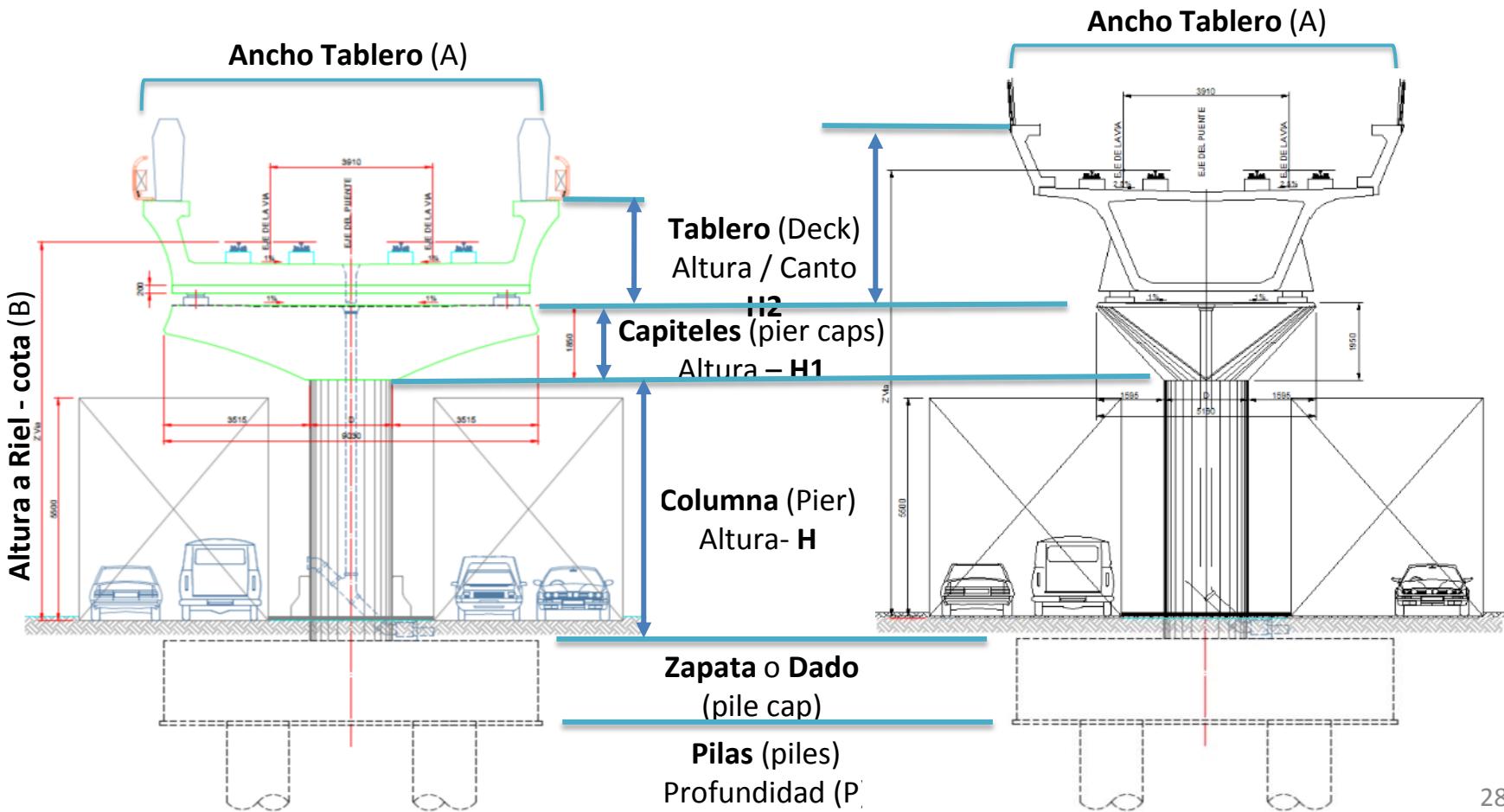


1. El Gerente presenta a la Junta alternativas de diseño, previo conceptos técnicos de los mismos y su revisión sobre la viabilidad presupuestal.
2. También presenta criterios complementarios para guiar la toma de decisiones, considerando al proyecto como un elemento integral de la ciudad.
3. A la Junta le corresponde analizar y definir los criterios técnicos complementarios que deben guiar las decisiones de diseño.
4. Los criterios complementarios que define la junta no son taxativos, y durante el proceso de diseño pueden reconsiderarse a la luz de nueva información o necesidades del proyecto

# *Criterios para definir la Tipología de las Columnas (Pilas o Pilares)*

# Tipología de Columna: Definciones

La columna se entiende como el elemento vertical que soporta el tablero del viaducto.

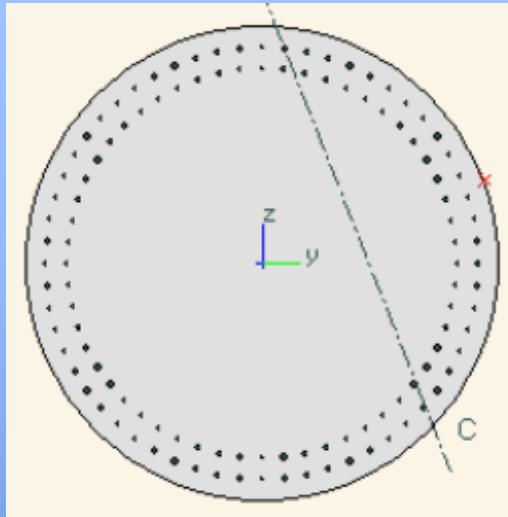


# Alternativas y Criterios Relevantes - Sección Columna

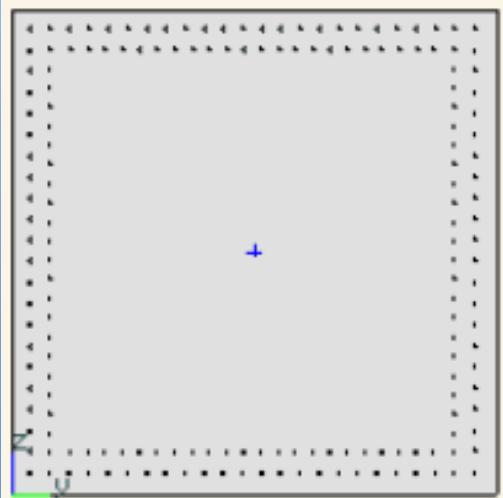
# Tipología de Columna

## Sección y Reforzamiento Típico

Redonda



Cuadrada



# Tipología de Columna - Sección

## Criterios Técnicos de Systra:

- **Systra** analizó en su Diseño Conceptual, secciones cuadradas y redondas
- **Concluyó que las dos tipologías tienen similar costo y facilidad constructiva (a diferencia de las que varían de sección con la altura del elemento).**
- Anota también que la geometría cuadrada es mas eficiente para atender fuerzas laterales, lo cual le permite tener una menor sección lateral (ancho) que el diámetro equivalente de la circular. Las diferencias dependen de la altura.
- Comparación de dimensiones entre las dos tipologías aplicadas al tramo de la Avenida Caracas:

| Zona de Análisis      | Altura Pila (m) | Tipo de sección | Dimensiones (m) | Relación ancho | Área (m <sup>2</sup> ) | Relación Área |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------------|---------------|
| Tramo Avenida Caracas | 7.85            | Redonda         | 2,2 Diametro    | 110%           | 3.80                   | 95%           |
|                       |                 | Cuadrada        | 2X2 Lado        | 100%           | 4.00                   | 100%          |
|                       | 12.5            | Redonda         | 2,7 Diametro    | 113%           | 5.72                   | 99%           |
|                       |                 | Cuadrada        | 2,4x2,4 Lado    | 100%           | 5.76                   | 100%          |

# Tipología de Columna - Sección

## Criterios Arquitectónicos y Paisajísticos:

Las columnas del viaducto serán parte integrante del espacio público y de las estaciones donde se combina Metro con Transmilenio. **Esto implica tener en cuenta criterios tales como:**

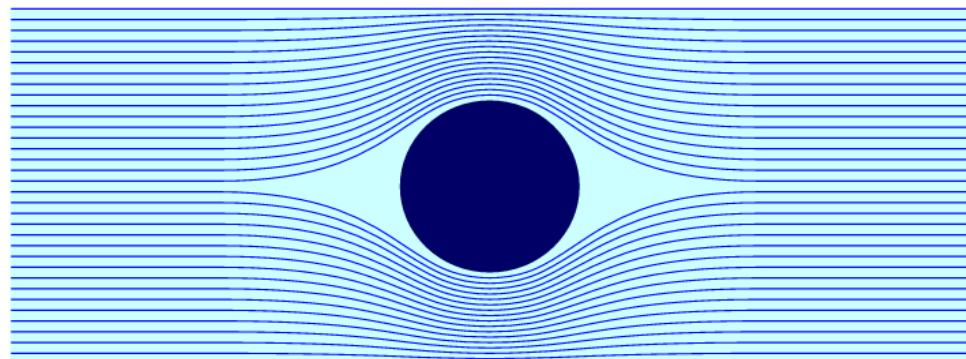
- Relación con el ciclista y el peatón que circula junto a ella
- Su impacto en la seguridad y en la sensación de seguridad: Es mejor la geometría que genera menos posibilidades de ocultamiento de personas
- Vandalismo: Las superficies planas son más vulnerables al pegado de avisos
- Estética e impacto urbano : La superficie redonda ofrece más transparencia al conductor y al observador en diagonal (hipotenusa mayor que diámetro)
- Desgaste: Por tener vértices, la columna de sección cuadrada presenta mayor desgaste en el tiempo

# Tipología de Columna - Sección

## Criterios Operacionales en las Estaciones:

En las estaciones combinadas de Metro y Transmilenio, grandes volúmenes de usuarios transitarán junto a las columnas, por lo cual es importante considerar:

- La sección cuadrada tiene menor ancho y genera mayores espacios de circulación a sus costados
- Sin embargo, la columna circular favorece la circulación de personas (y líquidos) porque induce flujos más continuos, con menos represamiento (flujo laminar)



# Altura del Viaducto y Grado de Horizontalidad

## Alternativas y Criterios Relevantes

# Tipología de Columna

## Altura del Viaducto y Horizontalidad

La altura del viaducto puede variar dentro de un rango conformado por determinantes técnicas:

- **Mínimo Urbanístico:** Correspondiente al gálibo libre de circulación vehicular medido desde el borde de calzada vehicular, más el desarrollo del capitel. Para Bogotá resulta en 7.75 mts aproximadamente y el riel a 9,30 metros, dependiendo también del tipo de viga.
- **Obligado:** Es el resultante de inscribir una estación de doble altura, es decir que tiene a nivel intermedio mezzanine o pasarela; de resolver diferencias topográficas o de salvar el paso sobre otras infraestructuras. En el caso de las estaciones con mezzanine, arroja una altura de riel de 12.5 metros aprox.
- **Admisible:** Corresponde a la máxima altura admisible por consideraciones estructurales y obedece a las condiciones particulares del suelo en cada sitio del viaducto.

# Tipología de Columna

## Ejemplos de Altura del Viaducto

**Altura tablero/columna:** 7.85 m

**Gálibo:** 5.50 m



**Altura tablero/columna:** 12.5 m

**Gálibo:** 10.3 m



# Tipología de Columna: Altura del Viaducto y Grado de Horizontalidad

## Tipos de alineamientos verticales y la relación con altura de columna

- **Alineamiento con perfil ondulado:** la altura de viaducto varía desde el nivel mínimo que se permite y la altura definida por puntos obligados particulares, como las estaciones. Se usa este perfil para generar curvas verticales antes y después de las estaciones. Systra evaluó un perfil ondulado con una altura de columna de 12,5m en estaciones y 7,85m en intersecciones: el resultado es una altura media de 11,0m.
- **Alineamiento con perfil plano:** Por otro lado, se evaluó una alternativa que mantenía una altura constante (horizontal) determinada por la altura de las estaciones de dos niveles.



# Tipología de Columna

## Altura del Viaducto y Horizontalidad

### Concepto Técnico de Systra - Costo del viaducto con diferentes alturas

| Zona                        | Longitud | Coste Unitario  |              | Diferencias |                 |
|-----------------------------|----------|-----------------|--------------|-------------|-----------------|
|                             |          | Perfil Ondulado | Perfil Plano | %           | Costo Total USD |
| Altura media                |          | 11.0 m          | 12.5 m       | 13,6%       |                 |
| Gálibo                      |          | 5.5 m           | 10.3 m       |             |                 |
| Tramo Occidental            | 13.01 km | 26.363 \$/ml    | 27.052 \$/ml | 2,6%        | \$ 8.963.890    |
| Tramo Caracas Calle 13 a 63 | 5.53 km  | 24.165 \$/ml    | 24.913 \$/ml | 3,1%        | \$ 4.136.440    |
| Tramo Caracas Calle 63 a 76 | 1.75 km  | 26.813 \$/ml    | 27.488 \$/ml | 2,5%        | \$ 1.181.250    |
| TOTAL                       | 20.3 km  | 25.790 \$/ml    | 26.494 \$/ml | 2,7%        | \$ 14.281.580   |

- La diferencia de costo entre del viaducto plano de 12.5 m de altura, contra uno ondulado que cumple con el gálibo mínimo, es US\$ 14,3 millones
- En otras palabras, al aumentar 13,6% la altura media de viaducto, el costo de su obra civil sólo aumentaría 2,7%
- El cambio de altura podría representar costos adicionales en otros rubros del presupuesto, que en todo caso serían marginales frente al incremento en la obra civil
- Como se verá más adelante, ahorros en otros capítulos del presupuesto permitirían incorporar este costo adicional en el presupuesto de CAPEX



# *Criterios para seleccionar La Tipología del Viaducto*

# Tipología de Viaducto



| Vigas en I  | Viga Cajón  | Vigas Doble U   | Viga Gran U   |
|---|---|---|---|
| Sistema Estándar y de amplia utilización tanto para viaductos Férreos como Vehiculares, utiliza vigas de sección en I, con una losa superior por donde discurre el tráfico. | Sistema Convencional de amplia utilización, donde se utiliza una viga de forma “cajón”, donde los dos carriles del metro van en la parte superior de la viga. | Sistema con dos vigas con sección transversal en forma de U, donde hay un carril por cada una de las vigas. Tiene igualmente columnas y capiteles. Prefabricación total | Sistema con una sola viga de sección transversal en U (Gran U). Tiene igualmente columnas y capiteles |
| <b>Método de fabricación:</b><br>Prefabricación total de la viga.   | <b>Método de fabricación:</b><br>Serie de dovelas por cada segmento.  | <b>Método de fabricación:</b><br>Prefabricación total de la viga.   | <b>Método de fabricación:</b> Serie de dovelas por cada segmento.                                     |

# Tipología de Viaducto

## Concepto Técnico de Systra: Ventajas de la Gran U sobre la Viga Cajón

Según Systra, la viga “**Gran U**” es la que muestra los mejores resultados. Comparada con la **Viga Cajón**, por ejemplo, estos son los principales puntos a favor:

- Debido a la forma optimizada de la viga Gran U, este elemento tiene un peso menor por unidad de longitud y un menor espesor (altura), por lo cual es más fácil de transportar e izar (**Systra 2016**).
- La forma estructural de la viga Gran U está optimizada para cumplir con funciones adicionales de mitigación de ruido y pasarela de circulación, por lo cual no es necesario adosar elementos prefabricados adicionales (**Systra 2016**).



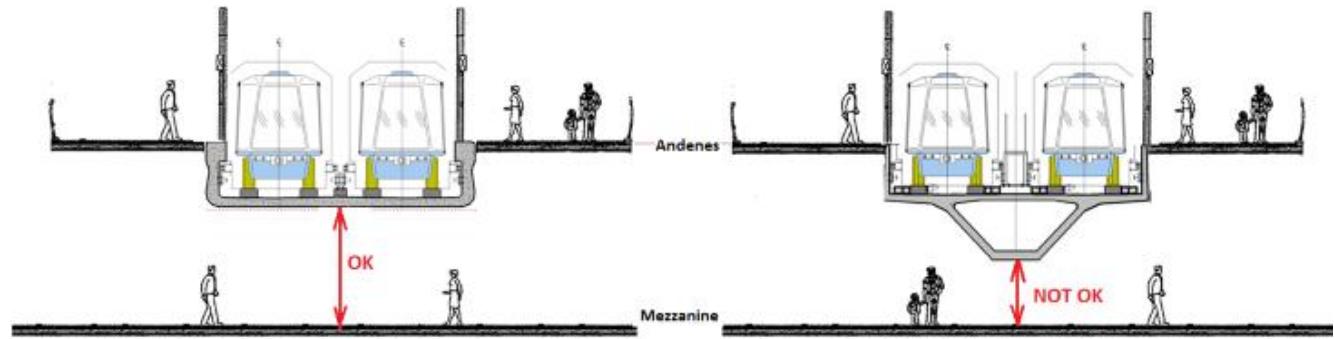
| Comparación de soluciones en tramo de 1 km |               |  |                |
|--|---------------|--|----------------|
| Numero de Vanos                            | 29            |  | 28             |
| Numero de Pilas                            | 30            |  | 29             |
| Nº Aparatos de Apoyo                       | 120           |  | 116            |
| <b>Volumen de concreto (m<sup>3</sup>)</b> |               |  |                |
| Tablero                                    | 5 836         |  | 6 607          |
| Pilas                                      | 1 734         |  | 1 028          |
| Fundaciones                                | 11 646        |  | 13 572         |
| <b>TOTAL</b>                               | <b>19 216</b> |  | <b>21 207</b>  |
| <b>Comparación volumenes de concreto</b>   |               |  |                |
| Tablero                                    | 100%          |  | 113.21%        |
| Pilas                                      | 100%          |  | 59.27%         |
| Fundaciones                                | 100%          |  | 116.54%        |
| <b>TOTAL</b>                               | <b>100%</b>   |  | <b>110.36%</b> |

(1) Systra - Entregable 4A: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada – Profundización infraestructura del viaducto - 22 de noviembre del 2016

# Tipología de Viaducto

## Concepto Técnico de Systra: Otras Ventajas de la Viga Gran U (continuación)

- Mejor solución arquitectónica en estaciones:



- Sobre los costos de obra civil, Systra anota que los de la opción Gran U tiene un menor costo de construcción que la Viga Cagón. \$ 524 M USD comparado con \$ 556 M USD.

# *Criterios para Definir la Tipología de Alimentación Eléctrica (Catenaria o Tercer Riel)*



# Tipología de alimentación eléctrica: Catenaria o Tercer Riel

## Catenaria flexible:

- La línea aérea de contacto está sujeta a una estructura (ménsulas) de tal manera que el sistema tenga una mayor rigidez.
- El hilo se mantiene paralelo en altura a los ríeles ya que sus uniones físicas (péndolas) tienen la longitud correcta en cada punto de la curva.
- Permite la instalación de contrapesos en el poste, que dotan a la estructura de una mayor rigidez.
- Es el sistema de electrificación más usado en ferrocarriles.



# Tipología de alimentación eléctrica: Catenaria o Tercer Riel

## Tercer Riel:

- Transmite una de las polaridades de la energía eléctrica mediante un carril adicional con este fin exclusivo y que es frotado por el tren mediante un patín.
- Al igual que la electrificación por línea aérea de contacto, el circuito se cierra con las propias vías. Esto genera un riesgo para las personas, de modo que esta solución debe ir acompañada de puertas de andén.
- Su instalación y mantenimiento es más barato que la catenaria flexible





*Criterios para Definir*  
*El Grado de Automatización*  
*(Modalidad de Conducción)*

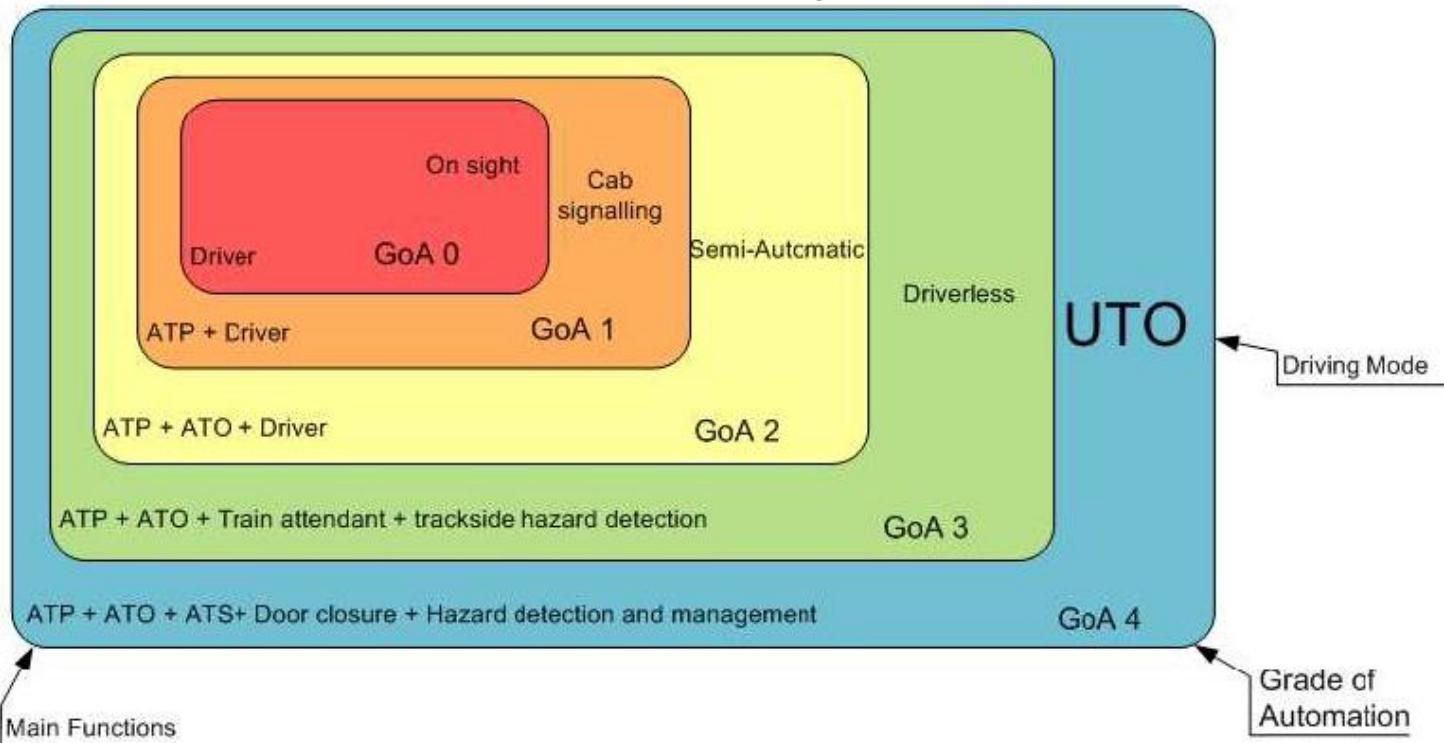
# Grado de Automatización

- El Grado de Automatización corresponde a la tecnología para operar la línea
- Esta decisión se refleja en el modo de conducción de los trenes -con o sin conductor- y en otras funcionalidades tecnológicas, que contribuyen a mejorar la velocidad promedio de circulación y a disminuir el consumo de energía eléctrica. La mayor velocidad de circulación repercute en menor necesidad de trenes.
- Por ejemplo, el grado máximo de automatización -GoA4- implica la especificación de puertas de andén en las estaciones
- El grado dos –GoA2- en cambio, no requiere de puertas de andén, pero no permite instalar otros sistemas automáticos que regulan y sincronizan la aceleración y desaceleración de los trenes, que Systra ha estimado trae ahorros de energía del orden de 13% <sup>1</sup>
- El CAPEX del Proyecto PLMB al que el Gobierno Nacional le reiteró su apoyo en el CONPES 3882 (Ene. 17) considera un metro automático (GoA4)

(1) Entregable No. 10 – SYSTRA. 13.2% corresponde al ahorro de energía obtenido en simulaciones para la Línea 14 de París. El ahorro en horas valle por las herramientas automáticas de supervisión de tráfico las estima Systra en 15% en esas horas. Metro de Santiago estimó en 10% el ahorro de energía en la evaluación de la alternativa UTO para sus dos líneas nuevas.

# Grado de Automatización

## Grados de automatización de los trenes y funciones asociadas



| Sigla | Denominación                | Descripción   |
|-------|-----------------------------|---|
| ATP   | Automatic Train Protection  | Control de velocidad y seguridad anti colisión                      |
| ATO   | Automatic Train Operation   | Poner en marcha, detiene el tren y abre y cierra sus puertas        |
| ATS   | Automatic Train Supervision | Definición de itinerario, regulación de tráfico y ahorro de energía |

# Grado de Automatización

## Inventario de información de soporte y análisis

| Documento  | Enlace  | Fecha        |
|--|---|--------------|
| <b>Entregable 10 de Systra - Recomendaciones para material rodante y sistemas electromecánicos</b> | <a href="https://app.box.com/s/bxnz2jdccsefe0imzqapyjbfflra2q2g">https://app.box.com/s/bxnz2jdccsefe0imzqapyjbfflra2q2g</a> | 15 /09 /2016 |
| <b>Recomendaciones Metro de Santiago - Informe Marzo 2017</b>                                      | <a href="https://app.box.com/s/6uszmg728vw36bzfq9xxfw01vopwea0b">https://app.box.com/s/6uszmg728vw36bzfq9xxfw01vopwea0b</a> | 10/03/2017   |

# Grado de Automatización

- La mayoría de los proyectos de Metro recientes (2010+) han elegido el nivel de automatización GoA4: Santiago (Líneas 3 y 6), Riyadh, Grand Paris (Línea 15), Bruselas (Líneas 3 y 5), Shanghái (Línea 10), Dubái, Singapur (Circle Line) entre otros;
- No se conoce una línea que haya cambiado del nivel GoA4 hacia el GoA2, ni tampoco una red GoA2 que haya migrado a GoA4
- Systra recomienda que si el CAPEX no es un factor limitante, la mejor elección es un nivel de automatización GoA4 desde el inicio.
- El ejercicio de valor presente neto financiero arroja un resultado negativo del orden de US 21 M, con relación B/C del 79%. Sin embargo, al considerar la mayor velocidad y confiabilidad que ofrece la automatización, que se expresa en ahorro de tiempo de los usuarios, la inversión se justifica plenamente.

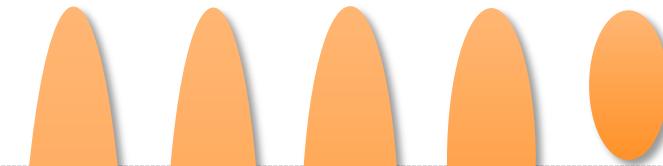
# Modelos Contractuales

## Alternativas

### COMPONENTE

A    B    C    D    E

ESTRUCTURA



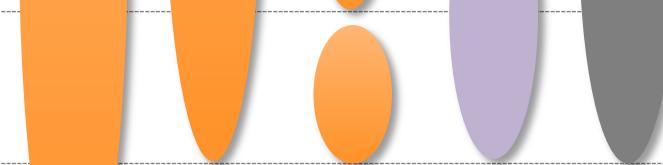
SISTEMAS DE CONTROL



TRENES



OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO



EDIFICIOS ESTACIONES



Modelo Concesión



# Traslado Anticipado de Redes (TAR)

# Traslado Anticipado de Redes -TAR

**Objetivo:** Reducir el riesgo de interrupción de la obra por aparición de redes no registradas debidamente.

## Estrategias:

1. Cualificación de la información (catastros de redes)
2. Traslado Anticipado de las principales Redes en conflicto
  - Conflictos Longitudinales (diseño a nivel prefactibilidad)
  - Conflictos Transversales (diseño a nivel factibilidad)

# PROYECTO TAR

## Traslado Anticipado de Redes

### OBJETIVO:

Mitigar el riesgo de Interrupción del Tren de Obra en la construcción del Viaducto, retirando/sustituyendo las redes matrices que interfieren.

### PARTICIPAN:

1. Empresa de Acueducto de Bogotá – EAB
2. Codensa
3. Empresa de Teléfonos de Bogotá – ETB
4. Gas Natural
5. Tigo-UNE
6. Claro
7. Telefónica – Movistar
8. Direct TV
9. Lasus C&W
10. Level 3k
11. Avantel
12. Supernet
13. Fircon SAS
14. BT Latam Colombia
15. Columbus Network
16. Media Comerce
14. H.V. Televisión Ltda.
15. Super Net
16. Conexión Digital Express S.A.S.
17. SDM – Semaforización
18. Ecopetrol
19. Empresa de Energía de Bogotá



# MODELO DE GESTIÓN DE LAS ESTACIONES

# MODELO DE ESTACIONES

## OBJETIVOS:

1. Externalizar componentes para bajar peso y tamaño de la estación elevada
2. Integrar el transporte vertical y los componentes descentralizados a desarrollos comerciales (edificios de acceso)
3. Atraer inversionistas privados para desarrollar los edificios de acceso
4. Obtener rentas inmobiliarias permanentes / Captura de valor

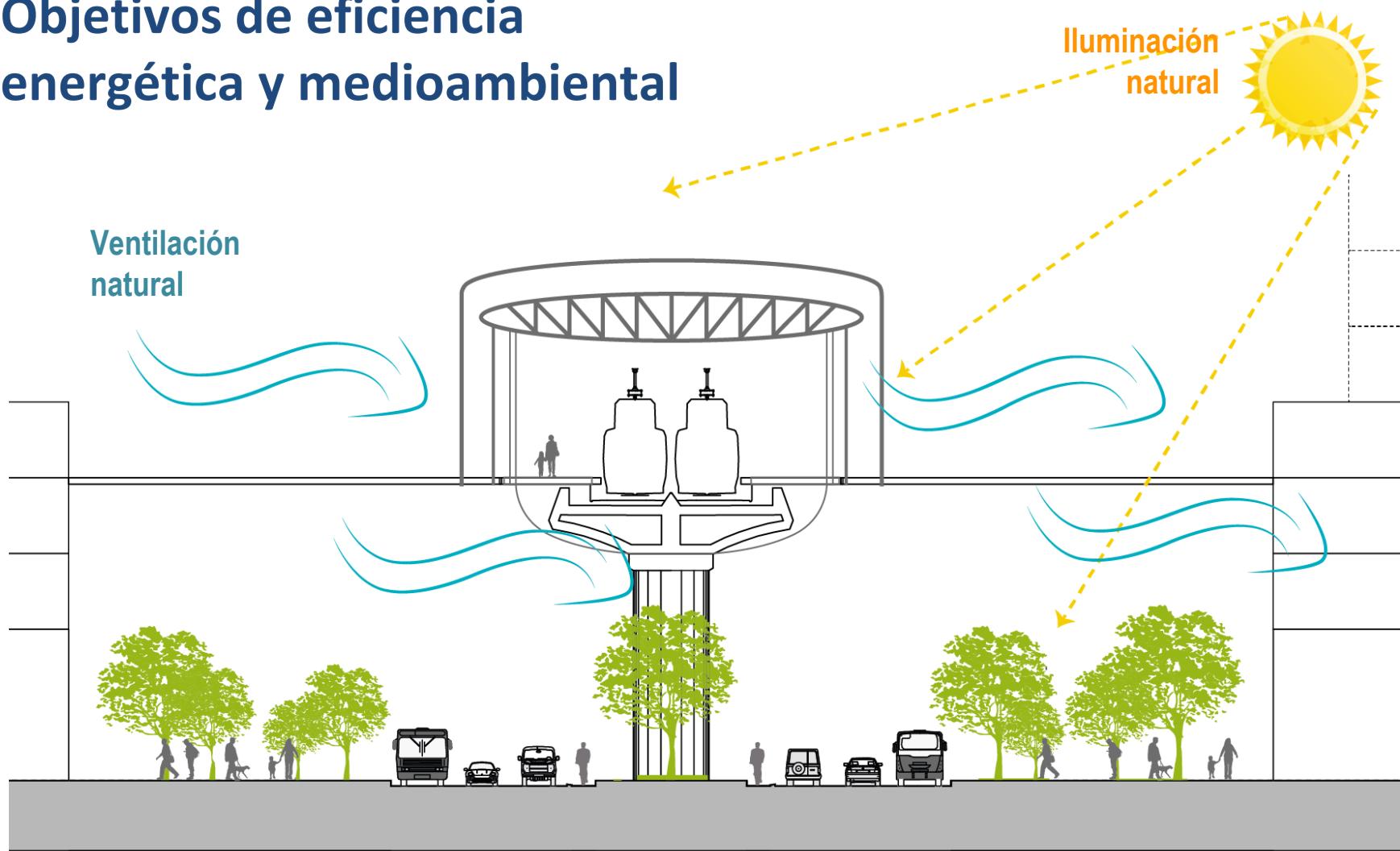
# El Metro: Oportunidad de Renovación Urbana Sostenible

Para 14 de las 15 estaciones se requiere cerca de 207 mil m<sup>2</sup> de terreno. Esto es, cerca de 15 mil m<sup>2</sup> por estación

| Estaciones                  | Tipo de estación         | Requerimiento de área predial (m <sup>2</sup> ) | Costo Suelo y Mejoras (Millones COP/m <sup>2</sup> ) | Costo de Gestión Predial (Millones COP) | Tráfico peatonal de la estación al día (2050) |
|-----------------------------|--------------------------|---|--|---|---|
| Portal Americas             | Intermodal (transversal) | 0   | \$ 2.9   | \$ -                                    | 134,730                                       |
| Agoberto Mejía              | Sencilla                 | 14,532  | \$ 2.9   | \$ 42,433                               | 98,260  |
| Palenque                    | Sencilla                 | 14,742  | \$ 2.9   | \$ 43,047                               | 53,990  |
| Hospital Kennedy            | Sencilla                 | 17,424  | \$ 2.9   | \$ 50,879                               | 87,190  |
| Avenida Boyaca              | Intermodal (transversal) | 17,237  | \$ 2.8   | \$ 47,575                               | 70,810  |
| Avenida 68                  | Intermodal (transversal) | 5,206   | \$ 2.8   | \$ 14,369                               | 45,830  |
| Rosario                     | Sencilla                 | 14,408  | \$ 2.8   | \$ 39,766                               | 55,080  |
| Avenida NQS                 | Intermodal (axial)       | 7,957   | \$ 2.8   | \$ 21,961                               | 28,720  |
| Santander                   | Sencilla                 | 20,473  | \$ 2.8   | \$ 56,506                               | 61,860  |
| Calle 1 - Hospitales        | Intermodal (axial)       | 10,660  | \$ 2.7   | \$ 29,209                               | 53,990  |
| Calle 11 - Centro Histórico | Intermodal (axial)       | 9,804   | \$ 7.0   | \$ 68,630                               | 51,462  |
| Calle 26                    | Intermodal (axial)       | 7,026   | \$ 2.7   | \$ 19,250                               | 95,000  |
| Calle 45                    | Intermodal (axial)       | 19,851  | \$ 4.1   | \$ 81,587                               | 118,230                                       |
| Calle 63 (Lourdes)          | Intermodal (axial)       | 8,325   | \$ 4.1   | \$ 34,215                               | 101,020                                       |
| Calle 72                    | Intermodal (axial)       | 39,562  | \$ 5.0   | \$ 197,811                              | 225,910                                       |
| <b>TOTAL LÍNEA</b>          |                          | <b>207,208</b>                                  |  | <b>\$ 747,238</b>                       | <b>1,282,082</b>                              |

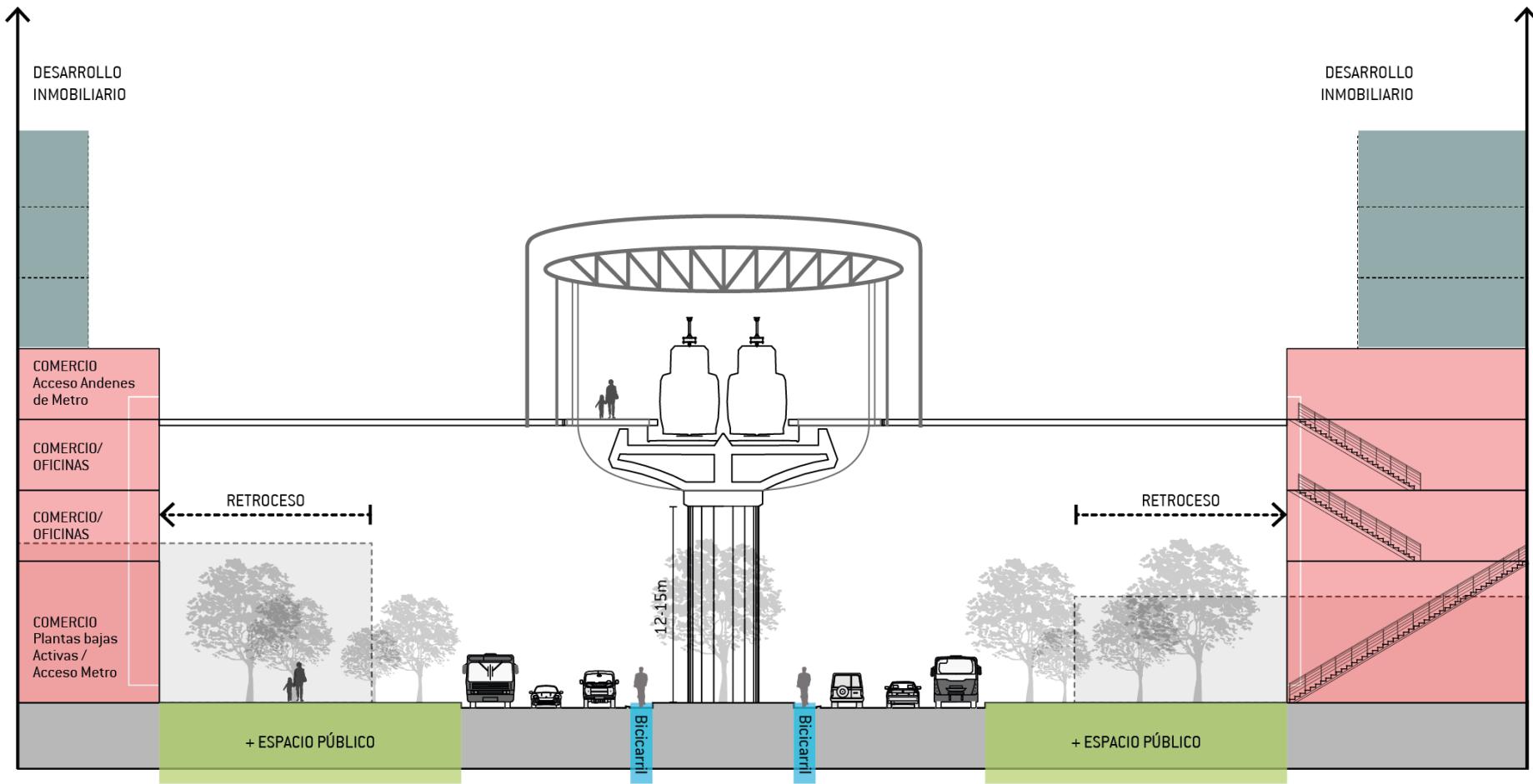
# Diseño

## Objetivos de eficiencia energética y medioambiental

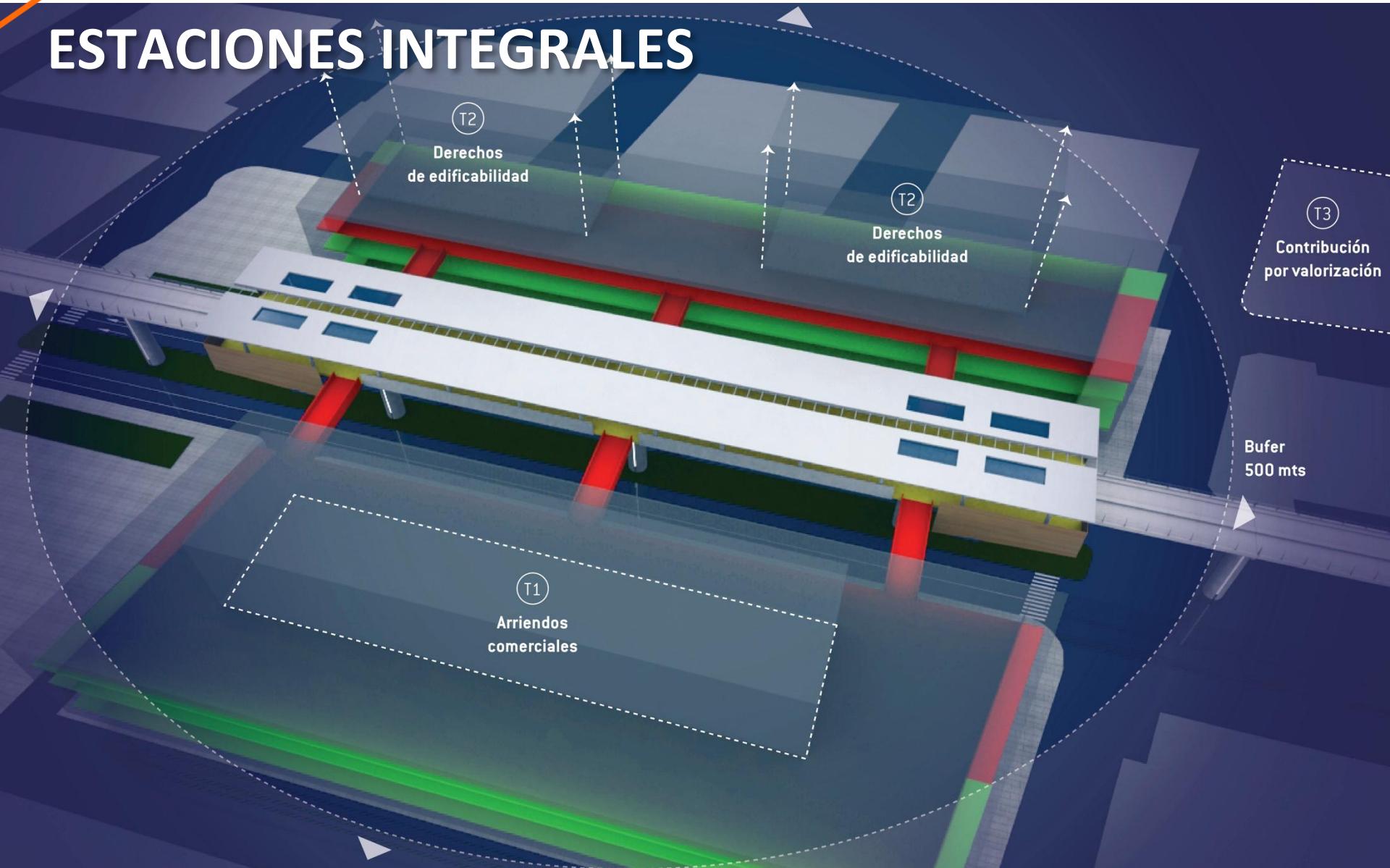


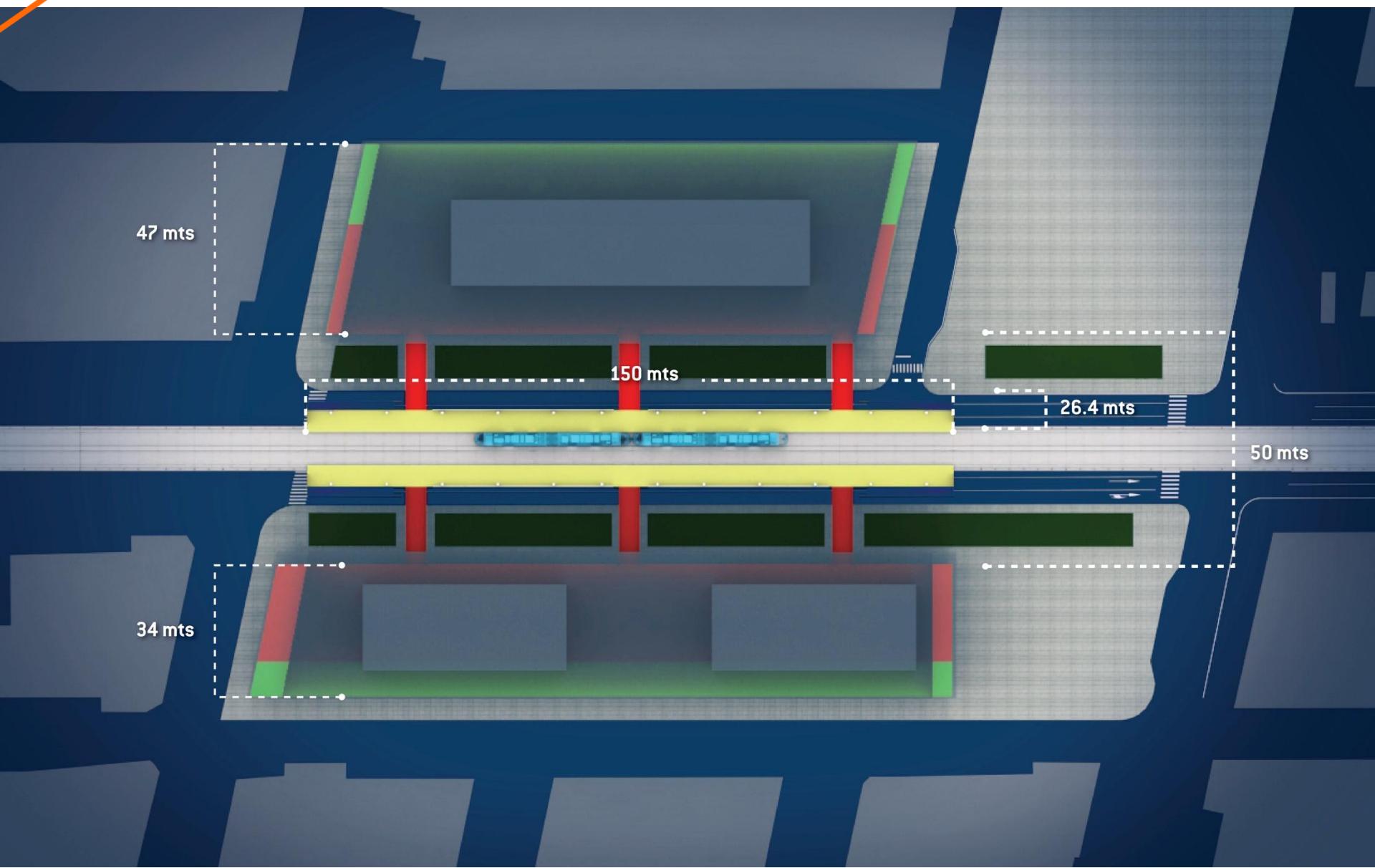
# Perfil urbano

## Operaciones urbanísticas



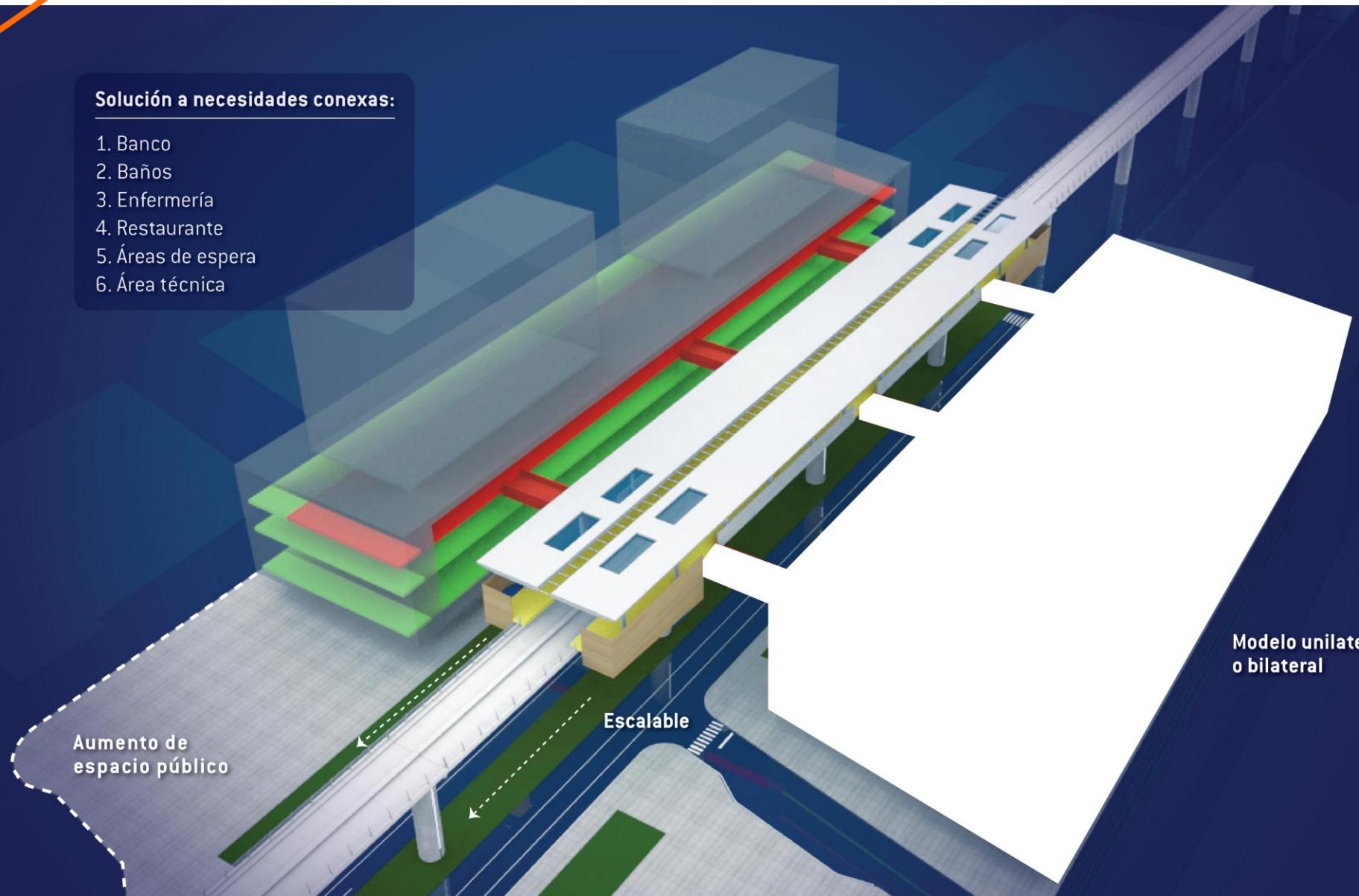
# ESTACIONES INTEGRALES





**Solución a necesidades conexas:**

1. Banco
2. Baños
3. Enfermería
4. Restaurante
5. Áreas de espera
6. Área técnica



# Estaciones Integrales: Plataforma + Edificio de Acceso



# Estaciones Integrales: Plataforma + Edificio de Acceso



# Estaciones de Alimentación Bus-Metro-Bus





# **Modelo de Gestión Para Edificios de Acceso a las Estaciones**

1. Empresa Metro comprará o expropiará la tierra antes de que se presenten los eventos generadores de valor, y la aportará ya valorizada a un vehículo de propósito especial
2. Se invitarán desarrolladores, inversionistas y operadores a ofertar para asociarse, construir, promocionar y operar las estaciones con potencial inmobiliario
3. Los privados ofertarán en procesos públicos y competitivos, y entregarán a Empresa Metro una porción de las rentas con un mínimo garantizado

# Características del Concurso para Adjudicar los Edificios de Acceso a las Estaciones

## Derechos

- Obligaciones de Hacer y de Operar
- Entrega de un área funcional predefinida para el funcionamiento del Metro, entre otros:
  - Vestíbulos
  - Zonas de circulación
  - Transporte vertical
  - Cuartos técnicos y de servicios
  - Taquillas y zonas de validación
  - Accesos y pasarelas
- Generación de espacio público e integración con la ciudad
- Entrega a perpetuidad de un % de las rentas del desarrollo inmobiliario
- Construir una porción del área del desarrollo inmobiliario en un periodo de tiempo razonable
- Pagos en el tiempo asociados al índice de edificabilidad que no esté construido

## Obligaciones

- Nueva norma, con alta edificabilidad, y mezcla de usos
- Explotación comercial
- Administración inmobiliaria
- Gradualidad en el desarrollo para ajustar el proyecto a la demanda
- Flexibilidad en la composición de la oferta

## Objetivos de ciudad

- Previa definición de los objetivos de ciudad que deben estar presentes en las propuestas
- Calificación del componente arquitectónico y urbanístico de las propuestas por parte de un comité experto:
  - No necesariamente la mejor oferta económica gana



Asociación Latinoamericana  
de  
Metros y Subterráneos

Conclusiones