

# Comparación de Alternativas de Transporte Público Masivo - Una Aproximación Conceptual

## Darío Hidalgo

Consultor en Transporte con recientes experiencias en la preparación de proyectos de transporte masivo en Perú, Chile, Nigeria, Tanzania, Tailandia y Colombia.



Recibido el 19 de marzo de 2005, aprobado el 18 de abril de 2005.

**RESUMEN :** Una evaluación indicativa de alternativas de transporte masivo demuestra que sólo es conveniente introducir tecnología ferroviaria (Metro) cuando la demanda de viajes es mayor a 40,000 pasajeros/hora por sentido. Un análisis costo/beneficio señala que es necesario ir mucho más allá que la simple construcción de carriles exclusivos y adquisición de buses nuevos; es imperativo gestionar la operación mediante la introducción de sistemas de Transporte Masivo Rápido en Buses (TMRB). El análisis arroja los mayores beneficios socioeconómicos y de conveniencia de los TMRB frente a las demás alternativas para un amplio rango de parámetros de costos y beneficios, evaluados mediante Simulación de Montecarlo. El ejercicio confirma múltiples evaluaciones que indican que Bogotá adoptó la decisión correcta al haber implantado un TMRB frente a alternativas ferroviarias o de infraestructura. También muestra que la ciudad sufrió pérdidas importantes por haber dilatado la decisión durante muchos años, porque la peor opción es mantener el Status Quo. Para el futuro será oportuno evaluar la implantación de un sistema de tren completamente segregado (Metro) cuando las condiciones de demanda así lo exijan; sin embargo optar por un Tren a Nivel (Tren Ligero o Tranvía) o simples Carriles de Buses es anacrónico.

**ABSTRACT :** An indicative evaluation of mass transit alternatives demonstrates that it is only convenient to introduce rail technology (Metro) when demand exceeds 40,000 passengers per hour per direction. A cost/benefit analysis indicates that it is necessary to go beyond the construction of bus lanes and the acquisition of new fleet; it is imperative to manage the operations through the implementation of Bus Rapid Transit (BRT) systems. The analysis yields higher socioeconomic and practical benefits for BRT than other alternatives, for a wide range of cost and benefit parameters, using Montecarlo Simulation. The exercise confirms several evaluations that suggest that Bogotá adopted the right choice with the introduction of a BRT rather than busways, light or heavy rail. It also shows that the city suffered large losses as a result of not making any decision for many years, as the worst alternative is maintaining the Status Quo. In the future, it will be worthy to evaluate fully segregated rail transit (Metro) implementation when the demand conditions reach the right levels; nevertheless it will be a misstep to introduce a partially segregated rail transit (Light Rail) or plain Bus Lanes.

## INTRODUCCIÓN

¿Buses o trenes? Esa simple pregunta seguirá generando discusiones interminables, en las que prevalecen consideraciones subjetivas sobre los argumentos técnicos. Lo cierto es que no hay respuesta definitiva: cada tecnología es apropiada para determinadas condiciones. En las zonas urbanas de baja densidad con pocos viajeros es absurdo pensar en un metro o un sistema organizado de buses de alta capacidad. Tampoco parece conveniente tratar de atender elevados niveles de demanda con buses. Lo mejor es contar con un sistema que integre distintas tecnologías de acuerdo con las necesidades específicas de cada caso.

A continuación se presentan algunos elementos de comparación de diferentes alternativas tecnológicas. Luego se presenta un ejercicio conceptual que permite comparar los costos y beneficios financieros y socioeconómicos para una situación comparable de demanda de viajes. En la medida que este ejercicio depende de los valores de entrada para costos y beneficios, que tienen realización incierta, se realiza un análisis de sensibilidad a través de Simulación de Montecarlo<sup>1</sup>. De este análisis conceptual se extraen algunas conclusiones, con las cuales se pretende contribuir al debate entre las opciones tecnológicas. El artículo termina con una breve discusión sobre la aplicación de estos conceptos a lo que ha pasado y lo que viene en Bogotá.

## LO QUE DICE LA LITERATURA

Vuchic (1992) presenta una excelente taxonomía de los modos de transporte a partir de variables técnicas como la presencia o no de rieles, el tipo de propulsión y la segregación del flujo. La combinación de estos elementos genera un sinnúmero de opciones, que tradicionalmente se agrupan en<sup>2</sup>:

\* Buses en carril exclusivo: buses con motor de propulsión interna o trolebuses, operando en carril exclusivo a nivel.

\* Tren Ligero: tranvías o trenes con motor eléctrico operando a nivel con segregación longitudinal (puede incorporar segregación vertical en algunos tramos).

\* Metro: trenes eléctricos operando en vías completamente segregadas elevadas o subterráneas.

La introducción de sistemas de transporte masivo en buses (TMRB), genera una categoría que no queda adecuadamente reflejada en la clasificación tradicional. Los TMRB además de contar con carriles exclusivos, combinan elementos de los metros: estaciones con acceso a nivel a los buses, prepago, múltiples puertas de acceso a los buses, y control central (Levinson et. Al 2003, Wright y Fkjelstrom, 2003). Existen más de 146 ciudades con sistemas ferroviarios completamente segregados - metro (Serradel, 2002), otras tantas con trenes total o parcialmente a nivel -trenes ligeros o tranvías, y múltiples esquemas de prioridad de buses; sin embargo hay pocos TMRB "completos": Curitiba, Goiania, Quito, Bogotá, Ottawa, Brisbane y en menor medida León, Yakarta (Levinson et. al, 2003; Wright, 2004).

La tabla 1 resume algunas características de las cuatro alternativas. Es claro que ninguna domina a las demás en todos los aspectos:

\* La sola adecuación de Carriles Exclusivos para Buses es simple y, en general, hace fácil la integración de los operadores de transporte existentes (ver por ejemplo, las experiencias de Sao Paulo, Porto Alegre, Lima, y la experiencia de Bogotá en 1999 reportada por Ardila, 2004). Sin embargo, este tipo de intervención resulta en altos niveles de ruido y contami-

1. Generación aleatoria de valores en forma repetida para variables inciertas, de forma que es posible reflejar dicha incertidumbre en la modelación. Ver por ejemplo <http://www.decisioneering.com/monte-carlo-simulation.html>.

2. La clasificación adoptada se basa en la existencia de segregación total y no sobre el tamaño y características de los equipos.

|   |                                 |                                 |  |                                 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
|   |                                 |                                 |  |                                 |
| <b>Espacio Requerido</b>                                  | 2-4 carriles<br>Vías Existentes | 2-3 carriles<br>Vías Existentes | Bajo impacto<br>sobre vías<br>existentes | 2-4 carriles<br>Vías Existentes |
| <b>Flexibilidad</b>                                       | Alta                            | Limitada                        | <b>Baja</b>                              | Alta                            |
| <b>Impacto en Trafico</b>                                 | Variable                        | Variable                        | Reduce<br>Congestión(¿?)                 | Variable                        |
| <b>Integración<br/>con Alimentadores</b>                  | Fácil                           | Difícil                         | <b>Difícil</b>                           | Simple                          |
| <b>Nivel de Servicio<br/>(frecuencia y<br/>ocupación)</b> | Regular                         | Bueno                           | Muy Bueno<br>(corredor denso)            | Bueno                           |
| <b>Seguridad</b>  | Deficiente                      | Buena                           | Muy Buena                                | Buena                           |
| <b>Emisiones<br/>Contaminantes</b>                        | Altas                           | Bajas                           | Bajas                                    | <b>Altas<br/>Medias</b>         |
| <b>Confiabilidad</b>                                      | Baja                            | Baja<br>(agrupamiento)          | Alta                                     | Media                           |

Tabla 1

Comparación de Alternativas de Transporte Masivo

Fuentes: Adaptada por D. Hidalgo de Halcrow Fox, 2000, L. Wright and K. Fjellstrom, 2003, y V. Vuchic, 1992

nación, ofrece bajo nivel de servicio a los usuarios y genera altos niveles de inseguridad y accidentalidad.

\* Los sistemas de trenes a nivel o parcialmente segregados (Trenes Ligeros) generan mejoras importantes en la calidad del transporte y del medio ambiente urbano, pero ofrecen baja confiabilidad por interferencia con el tráfico y apiñamiento de coches, ocupan vialidad existente, y en general, operan en forma aislada al transporte tradicional.

\* Los sistemas de trenes totalmente segregados (Metros) implican bajo impacto urbano al no usar la vialidad existente; también cuentan con altos niveles de servicio<sup>3</sup>, confiabilidad y seguridad. En general, resultan en reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, especialmente si la generación de energía es hidroeléctrica. Sin embargo, tienen bajos niveles de flexibilidad y su integración con el resto del transporte de la ciudad es usualmente difícil.

\* Los sistemas de buses organizados (TMRB) generan buenos niveles de servicio y seguridad, pero ocupan vialidad existente y pueden generar altas emisiones si operan con motor de combustión interna<sup>4</sup>, en comparación con sistemas eléctricos.

Hay dos aspectos no considerados en la tabla 1 que resultan en diferencias significativas: el costo y la capacidad de transporte. La figura 1 sintetiza la combinación de estos aspectos. Se observa que existe

un rango (20,000 a 40,000 pasajeros/hora/por sentido) en el cual es posible optar tanto por Metros como por TMRB. Sin embargo, las diferencias de costos iniciales son altas: US\$5-20 millones por kilómetro para TMRB, US\$30-160 millones para metros (World Bank, 2003).

#### ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

La comparación a partir de costos iniciales de implantación es incompleta; es necesario revisar el ciclo de vida total, en el cual se incluyen los costos de operación y mantenimiento. Pero esta comparación sólo es posible para un mismo nivel de demanda y de longitud del corredor.

En este caso se utiliza un corredor hipotético de 20 Km de longitud para 35,000 pasajeros/hora en la sección más cargada. La Figura 2 resume el resultado de una comparación basada en los supuestos del Anexo 1. Se observa que la opción de mayor costo total es "No Hacer Nada", es decir, operar los buses existentes sin ningún tratamiento de infraestructura o de gestión operativa (mantener el Status Quo). Las alternativas permiten ahorros financieros de 31% (Metro), 40% (Carril Exclusivo con Buses Nuevos), 41% (Tren Ligero) y 56% (TMRB).

El ejemplo supone la reposición total de los buses que operan en el corredor (2,315 unidades) así como la reposición total de la infraestructura y los equipos

en el año 10 para las opciones de carril de buses y TMRB. Los costos unitarios por kilómetro y por pasajero transportado se presentan en la Figura 3. Se observa que el TMRB no sólo es más económico en términos de inversión inicial que un tren ligero y un metro, pero más efectivo en el ciclo de vida total tanto por kilómetro como por pasajero transportado. Esto confirma evaluaciones realizadas en forma particular para proyectos específicos en Colombia (e.g. CONPES 3260, 2003; Chaparro, 2004).

#### **EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA**

La evaluación socioeconómica integra los costos y beneficios de cada alternativa de acuerdo con técnicas ampliamente reconocidas (ver por ejemplo, Straszheim, 1979; Belli, et. al, 1998)<sup>5</sup>. Los estimados corresponden a ahorros de tiempos de viaje, de operación de flota sustituida y otros (reducción de accidentalidad y contaminación), de acuerdo con los supuestos indicados en el anexo 1. Aspectos no cuantificados en equivalente económico, pero eventualmente importantes en la toma de decisiones, se discuten en la sección sobre elementos no tecnológicos más adelante en este artículo.

En la Figura 4 se presenta una aproximación de la valoración económica de los impactos para el ejemplo indicativo. Se observa que al comparar cada alternativa con la situación sin proyecto se tienen beneficios netos positivos; es decir, en todos los casos lo peor es no hacer nada. La mayor parte de los beneficios son el resultado de una mayor eficiencia en el sistema de transporte resultado de la sustitución de los buses existentes (chatarización). Los beneficios en tiempo de viaje son similares, mientras otras externalidades

son superiores en los Trenes Ligeros y Metros que en un TMRB.

En el ejemplo, la simple adecuación de carriles, compra de buses nuevos y chatarrización de los existentes, genera beneficios netos de US\$682 millones (Valor Presente al 12%), resultado de ahorros en tiempo de viaje, ahorros operativos, y reducciones en contaminación y accidentalidad. La implantación de un Tren Ligero genera 1.78 veces estos beneficios netos, un Metro 1.80 veces, y un sistema TMRB, 2.16 veces. Es decir, la mejor alternativa, para las condiciones y supuestos dados, es la organización de un sistema de transporte masivo rápido en buses (TMRB).

La diferencia entre los beneficios netos calculados en este ejemplo indicativo entre Metro y TMRB es 20%; sin embargo la diferencia en la relación entre beneficios y costos (B/C) es de 160%. Es posible obtener beneficios netos un poco mayores, con una fracción de los costos totales. Lo anterior sin tener en cuenta diferencias en los periodos de implantación, normalmente menores en los sistemas de buses.

#### **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

El análisis presentado en la sección precedente tiene importantes limitaciones. Las condiciones locales pueden generar grandes variaciones en los costos iniciales de construcción y adquisición de equipos. También en los impactos por ahorro en costos de operación, tiempo de viaje y otros (accidentalidad, contaminación). Por ello, es importante revisar qué pasa si los supuestos de costos y beneficios cambian. Se realiza un análisis de sensibilidad de la variación de distintos valores de entrada en forma conjunta a

- 
3. Nivel de servicio se entiende como la combinación de tiempo de espera y velocidad de recorrido. Si la demanda, los tiempos de espera se mantienen en estándares razonables menores a 15 minutos. La velocidad de sistemas completamente segregados con separación estaciones entre 800-1,200 metros es superior a 35 Km/hora.
  4. Estas emisiones son menores que en la situación de "No Hacer Nada", si se sustituye flota ineficiente. Las ventajas en este sentido de sistemas eléctricos sólo son realizables si esa sustitución es efectiva.
  5. Una buena revisión de literatura sobre evaluación de proyectos de transporte urbano se puede encontrar en Universidad de los Andes, 2003.



Figura 1

Comparación de Costo y Capacidad en Alternativas de Transporte Masivo

Fuente: Preparado por el autor con datos de Halcrow Fox, 2000 (Carriles de Buses, Tren Ligero y Metro) y L. Wright, 2003 (TMRB)

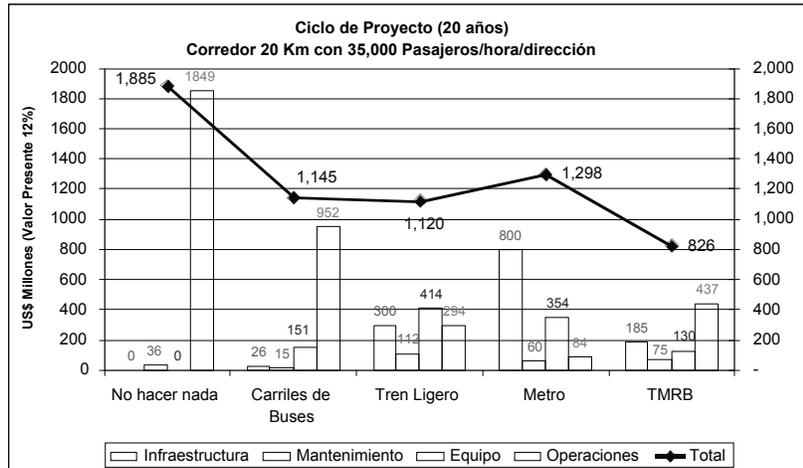


Figura 2

Comparación de Costos para el Ciclo de Vida – Ejemplo Indicativo

Fuente: Cálculos del Autor, Supuestos Básicos en Anexo 1.

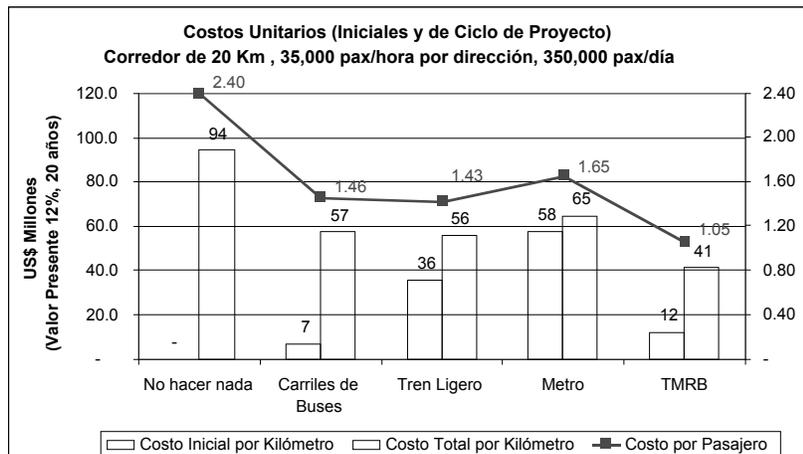


Figura 3

Comparación de Costos Unitarios entre Alternativas – Ejemplo Indicativo

Fuente: Cálculos del Autor, Supuestos Básicos en Anexo 1.

través de una Simulación de Montecarlo. Para ello se generan distribuciones de probabilidad de variables de entrada, se seleccionan valores de dichas distribuciones en forma aleatoria y se calculan las variables de salida (valor presente neto y relación beneficio costo). El resultado después de 5,000 ensayos aleatorios, es una distribución de probabilidad de los indicadores de rentabilidad para cada alternativa. La distribución de probabilidad de las variables de entrada se presenta en el Anexo 2.

La distribución acumulada de probabilidad del valor presente neto (12%, 20 años) se muestra en la Figura 5. Se observa que para cualquier nivel de riesgo, TMRB tiene un Valor Presente Neto mayor que las demás alternativas. Este análisis probabilístico indica la solidez socioeconómica del TMRB frente a otras alternativas. La gran dispersión en los valores de rentabilidad socioeconómica asociados al Metro, y en menor medida al Tren Ligero son el resultado de la alta incertidumbre de su costo inicial.

Como complemento final al análisis de sensibilidad se presenta la distribución de probabilidad acumula-

da de la Relación Beneficio/Costo (Figura 6). Se observa que para cualquier nivel de riesgo, el corredor en carril exclusivo tiene el mayor rendimiento sobre la inversión. Esto indica que, en situación de restricción de recursos, es mejor optar por carril exclusivo, aunque los beneficios netos totales sean menores que el TMRB.

**ELEMENTOS NO TECNOLÓGICOS**

El análisis de alternativas queda incompleto si sólo se consideran elementos tecnológicos. Existen otras consideraciones que pesan sobre la toma de decisiones en inversión pública. La Tabla 2 presenta una aproximación a una apreciación de varias características no cuantificadas adecuadamente en la evaluación socioeconómica. Se observa una ventaja de los Metros en varias categorías, aunque su facilidad de integración o expansión es compleja, y la participación de la industria local es muy difícil (genera exportación de divisas en mayor cuantía que los sistemas de buses). Los sistemas TMRB, por su parte, ocupan espacio urbano y eso genera resistencia a su implantación, pero cuentan con gran flexibilidad y

| Atributo   | Carriles de Buses | Tren Ligero/Tranvía                         | Tren Pesado/Metro                           | TMRB/BRT               |
|--|-------------------|---|---|------------------------|
| Equipos y Operación sin Subsidio                   | Si                | No  | No  | Si                     |
| Estructura Financiable por el Sector Privado       | Si                | No (requiere subsidio o garantías públicas) | No (requiere subsidio o garantías públicas) | Si                     |
| Cortos Plazos de Implantación                      | Si                | No  | No  | Si                     |
| Facilita el Desarrollo Empresarial Local           | Si                | Difícil                                     | Difícil                                     | Si                     |
| Facilita Desarrollo Tecnológico e Industrial Local | No                | Muy Poco                                    | Muy Poco                                    | Si                     |
| Facilita Ordenamiento del Transporte Local         | No                | Bajo Impacto                                | Bajo Impacto                                | Alto Impacto           |
| Facilita cambios culturales                        | No                | Si  | Si  | Si                     |
| Tiene Impactos en Desarrollo Urbano                | Impacto Negativo  | Bajo Impacto Positivo                       | Alto Impacto Positivo                       | Impacto Positivo Medio |

Tabla 2 Comparación de Elementos No Tecnológicos Fuente: Análisis del Autor

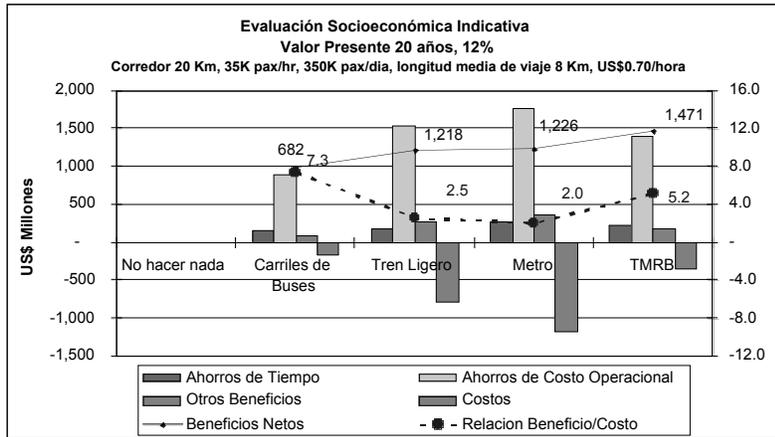


Figura 4

Aproximación de los Costos y Beneficios – Ejemplo Indicativo

Fuente: Cálculos del Autor, Supuestos Básicos en Anexo 1.

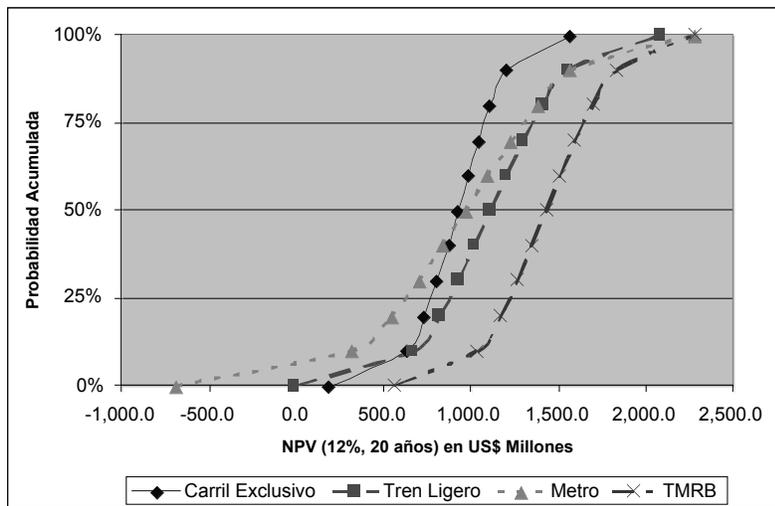


Figura 5

Distribución Acumulada de Probabilidad

Valor Presente Neto (12%, 20 años) – Ejemplo Indicativo

Fuente: Cálculos del Autor, Supuestos Básicos en Anexos 1 y 2.

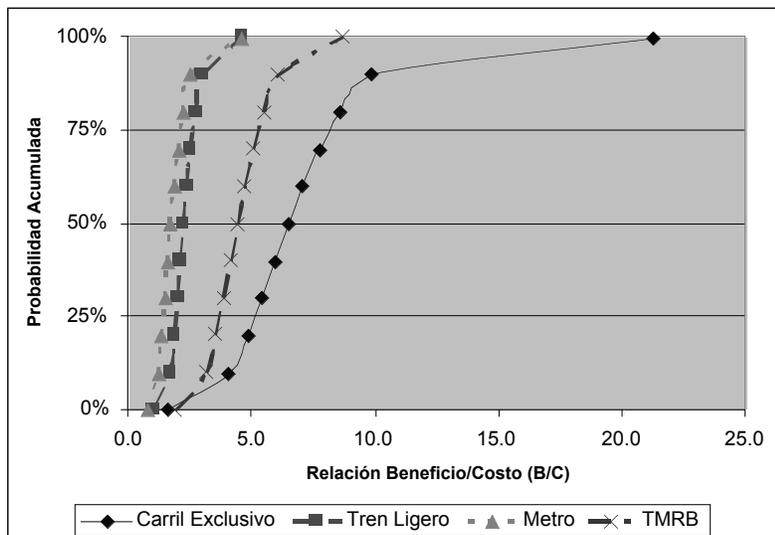


Figura 6

Distribución Acumulada de Probabilidad

Relación Beneficio/Costo – Ejemplo Indicativo

Fuente: Cálculos del Autor, Supuestos Básicos en Anexos 1 y 2.

permiten la integración de operadores existentes, alimentadores y la industria local.

Por fuera de la tabla está el sentimiento de pertenencia y orgullo, algo no cuantificable pero definitivamente sustancial en la calidad de la vida urbana. Tanto Metros como TMRB han mostrado que tienen gran aceptación en la comunidad, siempre y cuando mantengan elevados estándares de servicio.

Si las ventajas del Metro sobre el TMRB son más subjetivas que objetivas, ¿por qué entonces los metros son tan extendidos como sistema de transporte? Se pueden aducir muchas razones:

\* Los metros normalmente se financian (infraestructura, equipos e incluso subsidios a la operación), con recursos del nivel nacional ya sea en la forma de transferencias o garantías a endeudamiento (muchas veces no honradas por la municipalidad). Así las cosas hay un incentivo perverso para que las municipalidades escojan sistemas Metro.

\* Los TMRB exigen la reorganización de las rutas locales, lo cual genera desgaste y pérdida de popularidad del administrador local. Muchos Metros se implantan sin ningún, o muy escaso, nivel de integración con el resto del transporte público.

\* Los Metros generan una imagen de modernidad mayor que los buses.

\* Los países con industria pesada promueven activamente la implantación de Metros con créditos subsidiados de exportación a largo plazo y estudios de cooperación técnica. Muchas veces se promueve la construcción de Metros porque su preparación está avanzada, aunque su implantación tarde mucho más.

\* Las técnicas asociadas a la operación de TMRB no son nuevas, pero sí el empaquetamiento en una palabra (BRT en inglés). La promoción de TMRB como alternativa es reciente.

\* Las personas encargadas de la toma de decisiones no usan normalmente el transporte público en su país de origen pero sí cuando visitan ciudades desarrolladas y encuentran en los Metros una opción

cómoda, confiable y silenciosa. Al no experimentar TMRB no existe paradigma de comparación.

## CONCLUSIONES

El proceso tradicional en el cual un corredor debe contar con sistema ferroviario para demandas superiores a 15,000 pasajeros por hora (Vuchic, 2002) ha sido completamente revaluado luego de la implantación de TransMilenio en la ciudad de Bogotá (Levinson, 2003; Hidalgo, 2004, Fulton, 2003, Stockholm Partnerships, 2002). Ahora sólo parece necesario evaluar la implantación de tecnología ferroviaria u otro tipo de sistemas completamente segregados, cuando los niveles de demanda son superiores a 40,000 pasajeros por hora por sentido.

Ahora bien, en el rango en el cual las opciones están abiertas (alrededor de 35,000 pasajeros por hora por sentido), es posible decir lo siguiente:

1. Mantener las condiciones existentes sin modificación (No hacer nada) es lo peor para la sociedad en su conjunto. No sólo se generan excesiva carga en los usuarios por tener que cubrir la ineficiencia de la operación desorganizada, sino también niveles intolerables de demora, contaminación y accidentalidad para la sociedad en su conjunto.
2. La simple adaptación de infraestructura para buses mediante carriles exclusivos y compra de vehículos nuevos genera ahorros en operación y beneficios de tiempo de viaje, pero es una solución inferior a la introducción de trenes urbanos (ligeros o pesados) y muy inferior frente a la organización de un sistema integrado de buses (TMRB). Esta opción es una solución sub-óptima, aunque genere el mayor beneficio por unidad de costo (B/C).
3. A pesar de tener costos iniciales menores a los Metros, los Trenes Ligeros resultan en menores beneficios netos.
4. Los Metros y los Corredores de Buses pueden resultar en beneficios sociales netos del mismo orden de magnitud (en el ejemplo +20%) siempre y cuando en ambos casos la flota existente sea eliminada mediante destrucción física (chatarrización).

5. Los beneficios de los TMRB, y Carriles Exclusivos para Buses, se logran a unos costos totales mucho más bajos en los sistemas ferroviarios.

6. Los sistemas de buses organizados (TMRB) son consistentemente superiores en beneficios netos y relación beneficio/costo que los sistemas ferroviarios.

Con este análisis conceptual es posible afirmar que en Bogotá, donde la demanda del corredor de la Avenida Caracas era de 32,000 pasajeros por hora por sentido en el tramo más cargado en 1999, se adoptó la decisión correcta al haber implantado un sistema organizado de buses (TMRB) antes de la implantación del Metro. Este resultado confirma múltiples evaluaciones realizadas antes y después de la implantación del sistema TransMilenio (por ejemplo, Guhl y Pachón, 1992; Conpes 3093, 2000; Chaparro, 2002, entre otras). Sin embargo, se cometió un gravísimo error al haber dilatado la decisión durante tantos, tantos años. Tal vez hubiese sido mejor errar en la decisión hace 20 años, que perder tantos recursos en la operación ineficiente del transporte urbano durante todo ese tiempo. Evaluar cuanto nos cuestan las demoras en la implantación de sistemas organizados de buses en las ciudades colombianas y en la expansión de TransMilenio es un tópico interesante de análisis.

En el futuro cercano es claro que la expansión de TransMilenio es conveniente. Parece anacrónico proponer sistemas ferroviarios parcialmente a nivel (Trenes Ligeros) o simples Carriles Exclusivos para Buses (sin gestión operacional centralizada). Sin embargo, no es posible perder de vista que la capacidad de transporte de los buses es limitada y en algún momento será necesario dar el salto tecnológico.

Cuando la carga de alguno de los corredores de buses organizados del Sistema TransMilenio supere los 40,000 pasajeros/hora, y no sea posible generar capacidad adicional en corredores paralelos o con esquemas operativos que aprovechen tecnologías de información, será oportuno evaluar la introducción de una línea de Metro (elevada o subterránea). Sólo se espera que no tome 50 años de discusiones y que

la paz y la situación financiera de la ciudad y del país lo permitan.

#### AGRADECIMIENTO

A los editores de la revista por su amable invitación y a los comentaristas por sus oportunas sugerencias y observaciones. Los errores y contenidos son completa responsabilidad del autor.

#### BIBLIOGRAFÍA

Ardila, A.

*“Planning in Curitiba and Bogotá. Roles in Interaction, Risk, and Change”.*

Disertación Doctoral, Department of Urban Studies and Planning, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, septiembre de 2004.

Belli, P., Anderson, J., Barnum, H., Dixon, J., y Tan, J.

*“Handbook on Economic Analysis of Investment Operations”.*

Operational Core Services Network Learning and Leadership Center. The World Bank, 1998.

CONPES 3260.

*“Política nacional de Transporte Urbano y Masivo”.*

Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, Colombia, diciembre 2003.

CONPES 3093.

*“Sistema de Servicio Público Urbano de Transporte Masivo de pasajeros de Bogotá: seguimiento”.*

Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, Colombia, noviembre 2000.

Chaparro, Irma.

*“Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. El caso del sistema de transporte masivo, TransMilenio”.*

*Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, CEPAL, Santiago de Chile, octubre de 2002.

- Fulton, L.**  
*Bus Systems for the Future, Achieving Sustainable Transport Worldwide.*  
 International Energy Agency. Paris: IEA Books, 2002.
- Hidalgo, D.**  
*“Bus Rapid Transit (BRT): a Technical and Institutional Instrument for Urban Transport Improvement. The case of Bogotá’s TransMilenio”.*  
 2004. En *Infrastructure and Financial Markets Review*.  
 IDB: IFMD [http://www.iadb.org/sds/IFM/site\\_154\\_e.htm](http://www.iadb.org/sds/IFM/site_154_e.htm)
- Halcrow Fox in association with Traffic and Transportation Consultants.**  
*“Mass Rapid Transit in Developing Countries –Final Report”.*  
 Department for International Development. *World Bank Urban Transport Strategy Review*, July 2000.
- Levinson, H. et. al. TCRP**  
*“Report 90 Bus Rapid Transit. Volume 1 Case Studies in Bus Rapid Transit. Transit Cooperative Research Program”.*  
 Washington DC: Transportation Research Board, 2003.
- L. Wright y K. Fjellstrom.**  
*“Module 3a: Mass Transit Options”.*  
 En *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policymakers in Developing Cities*. Frankfurt: GTZ, 2003.
- Guhl N. y Pachon A. (eds.).**  
*Transporte Masivo en Bogota.*  
 Bogotá: Departamento Nacional de Planeación y Universidad de los Andes, Fonade, 1992.
- Serradel, Jordi.**  
<http://web.televall.com/jserradell> 2002  
 (Consultada en Octubre de 2004)
- Stockholm Partnerships.**  
*“Winners of the Stockholm Partnerships Award announced 2002-06-05”.*  
 The Stockholm Partnerships for Sustainable Cities, City of Stockholm Economic Development Agency, 2002. En <http://www.partnerships.stockholm.se/index.html>
- Straszheim, M.**  
*“Assessing the Social Costs of Urban Transportation Technologies”.*  
 En *Current Issues in Urban Economics*, Mieszkowski y Straszheim (eds.), 1979
- Universidad de los Andes.**  
*“Asesoría para formular una política para desarrollar la evaluación económica de proyectos de transporte de pasajeros”.*  
 Informe Final. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental para Departamento Nacional de Planeación, 2003.
- Vuchic, V.**  
*“Urban Public Transportation: Systems and Technology”*  
 Englewood Cliffs. Prentice Hall, 1992.
- Wright, L.**  
*“Module 3b: Bus Rapid Transit”.*  
 En *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities*. Frankfurt: GTZ, 2003.
- World Bank.**  
*Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review.*  
 K. Gwilliam (ed.). Washington: World Bank, 2002.



### ANEXO 1

#### Supuestos y Resultados Evaluación Socioeconómica

##### Supuestos Generales del Corredor Hipotético

|                           |        |                    |
|---------------------------|--------|--------------------|
| Longitud                  | 20     | Km                 |
| Demanda                   | 350000 | Pax/día            |
|                           | 105    | MM Pax/año         |
| Demanda Tramo más Cargado | 35000  | Pax/hour/direccion |
| Viaje Medio               | 8      | Km/pax             |
| Ocupación                 | 70%    | de la capacidad    |

##### SUPUESTOS PARA CADA ALTERNATIVA

|   | No hacer nada | Carriles de Buses | Tren Ligero | Metro     | TMRB    |
|---|---------------|-------------------|-------------|-----------|---------|
| Unidades (buses o carros de tren)       | 2315          | 1431              | 414         | 118       | 492     |
| Velocidad (Km/h)                        | 11            | 18                | 20          | 35        | 26      |
| Cost Infraestructura (US\$MM/Km)        | 0             | 1                 | 15          | 40        | 7       |
| Costo Mantenimiento (US\$MM/Km por año) | 0.24          | 0.10              | 0.75        | 0.40      | 0.70    |
| Equipo (US\$/unidad)                    | 0             | 80,000            | 1,000,000   | 3,000,000 | 200,000 |
| Operación (US\$/Km recorrido)           | 0.675         | 0.563             | 0.600       | 0.600     | 0.750   |

Nota: buses e infraestructura para buses en Carriles Exclusivos y TMRB se reemplazan completamente en el año 10 de operación. Beneficios desde el primer año para todas las alternativas (no tiene en cuenta diferencias en tiempos de implantación ni impactos durante construcción)

**RESULTADOS FLUJO DE FONDOS 20 AÑOS AL 12% ANUAL (US\$ MILLONES)**

|                                   | No hacer nada | Carriles de Buses | Tren Ligero | Metro    | TMRB    |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|-------------|----------|---------|
| Infraestructura                   | 0             | 26                | 300         | 800      | 185     |
| Mantenimiento                     | 36            | 15                | 112         | 60       | 75      |
| Equipo                            | 0             | 151               | 414         | 354      | 130     |
| Operaciones                       | 1849          | 952               | 294         | 84       | 437     |
| Total Costos                      | 1,885         | 1,145             | 1,120       | 1,298    | 826     |
| Costo por Pasajero (US\$)         | 2.40          | 1.46              | 1.43        | 1.65     | 1.05    |
| Costo Inicial por Kilómetro       | -             | 6.7               | 35.7        | 57.7     | 11.9    |
| Costo Total por Kilómetro         | 94.2          | 57.2              | 56.0        | 64.9     | 41.3    |
| Tiempo Medio por Pasajero (horas) | 0.7           | 0.4               | 0.4         | 0.2      | 0.3     |
| Tiempo Total Pasajeros (horas MM) | 570.4         | 348.6             | 313.7       | 179.3    | 241.3   |
| Equivalente Monetario Tiempo      | 399.3         | 244.0             | 219.6       | 125.5    | 168.9   |
| Ahorros de Tiempo                 |               | 155.3             | 179.7       | 273.8    | 230.4   |
| Ahorros de Costo Operacional      |               | 896.5             | 1,554.9     | 1,765.1  | 1,412.2 |
| Otros Beneficios                  |               | 91.3              | 273.8       | 365.0    | 182.5   |
| Costos                            |               | -156.5            | -790.0      | -1,177.8 | -353.8  |
| Beneficios Netos                  |               | 986.5             | 1,218.3     | 1,226.1  | 1,471.4 |
| Relacion Beneficio/Costo          |               | 7.3               | 2.5         | 2.0      | 5.2     |
| Beneficios Netos/Costo Inicial    |               | 7.34              | 1.71        | 1.06     | 6.17    |

Nota: Valor del Tiempo de Viaje 0.7 US\$/hora (igual para todos los modos); Otros Beneficios por Reducción de Accidentalidad y Contaminación, mayores en sistemas ferroviarios que sistemas de buses.

## Anexo 2

## Supuestos Análisis de Sensibilidad Probabilística

|                                 |       | No hacer nada | Carriles de Buses | Tren Ligero | Metro     | TMRB    |
|---------------------------------|-------|---------------|-------------------|-------------|-----------|---------|
| Velocidad (Km/h)                | Medio | 11            | 18                | 20          | 35        | 26      |
|                                 | Alto  | 15            | 22                | 25          | 40        | 32      |
|                                 | Bajo  | 9             | 12                | 15          | 30        | 22      |
| Costo Infraestructura US\$MM/Km | Medio | 0             | 1                 | 15          | 40        | 7       |
|                                 | Alto  | 0             | 3                 | 30          | 100       | 15      |
|                                 | Bajo  | 0             | 0.5               | 12          | 20        | 5       |
| Equipo US\$/unidad              | Medio | 0             | 80,000            | 1,000,000   | 3,000,000 | 200,000 |
|                                 | Alto  | 0             | 100,000           | 1,500,000   | 4,500,000 | 220,000 |
|                                 | Bajo  | 0             | 40,000            | 500,000     | 1,500,000 | 170,000 |
| Operación US\$/Km               | Medio | 0.675         | 0.563             | 0.600       | 0.600     | 0.750   |
|                                 | Alto  | 0.9           | 0.75              | 0.8         | 0.8       | 1       |
|                                 | Bajo  | 0.450         | 0.380             | 0.4         | 0.4       | 0.5     |

Nota: Todas las distribuciones son triangulares con los valores extremos y medios indicados