

Luis Eduardo Arango Thomas

División Financiera. Tren Metropolitano de Medellín

Edison Fred Henao Atehortúa

Facultad de Economía. Universidad Autónoma de Manizales

El Tren Metropolitano del Valle de Aburrá y los efectos externos.

Lecturas de Economía. No. 30. Medellín, septiembre-diciembre de 1989. pp. 89-134.

• **Resumen.** *Una de las principales características de los trenes de servicio público urbano es su capacidad de producir beneficios que superan el costo de utilizar el sistema, es decir, su potencialidad para producir efectos indirectos y el Metro del Valle del Aburrá no escapa a esta tendencia. Este artículo ilustra, tanto los beneficios directos como las externalidades derivadas de la construcción, operación y utilización del Tren Metropolitano y están relacionadas con la menor congestión de las vías urbanas, el menor número de accidentes, la disminución de las cargas contaminantes y el costo de mantenimiento de vías, la mejora del paisaje urbanístico, el desarrollo en la comunidad de los sentidos de protección y pertenencia por los bienes públicos y con la valorización de los predios ubicados en la zona de influencia de las estaciones y obras complementarias.*

• **Abstract.** *One of the main characteristics of the urban public service train is its capacity to produce benefits that overcome the costs of using this system, that is, its potentiality to produce indirect effects. The Metro of the Aburrá Valley falls into this trend. This article illustrates, not only the direct benefits but also the externalities derived from the construction, operation, and employment of the Metro. These aspects are related to the decrease of traffic jams in in-city streets, the reduced number of accidents, the decrease of contamination and the cost of road maintenance, the improvement of urban landscape, the development of the community in terms of protection and ownership of public goods and the increase in price of real property in the zone of influence of the train stations and complementary works.*

Memoria para optar al título de Especialista en Política Económica. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Antioquia.



-Introducción, 91. -Beneficios públicos y privados generados por el Metro, 94. -II. Producción conjunta, 109. -III. La demanda del multiservicio de transporte ofrecido por el Metro, la agregación vertical y los efectos externos, 113. -IV. Externalidades percibidas por los usuarios de las vías públicas urbanas, 121. -V. Resumen y conclusiones, 130. -Bibliografía, 131.

INTRODUCCION

En la teoría económica es posible diferenciar dos aspectos, uno positivo y otro normativo, los cuales varían con el objeto de análisis. Con la economía positiva se consigue describir y analizar el funcionamiento de la actividad económica, al permitir estimaciones acerca de las consecuencias de cada medida de política económica alternativa. Con la economía normativa se logra evaluar los estados de la economía para concluir si son deseables o no en el sentido que atiendan el interés de la sociedad en su conjunto.

Como objetivo primario de la economía del bienestar, sinónimo corriente de economía normativa, se plantea la elaboración de una norma, sustentada en la información que proporcionan las preferencias de los individuos, para distinguir un estado deseable de la economía de uno malo o indeseable.

es una de las características principales de los trenes de servicio público urbano. En este sentido, se busca relacionar los efectos externos que ocasionará la puesta en operación del Tren Metropolitano en el Valle de Aburrá, acotando que dichos efectos serán, como se verá en el texto, marcadamente positivos, lo cual hace del proyecto un alto contribuyente al aumento del bienestar social y le adhiere, por tanto, el carácter de "deseable" si se compara la situación prevista con la presente, la cual está influenciada por el sistema de transporte urbano vigente.

Inicialmente se hará una relación de los beneficios públicos y privados generados por el Metro, acompañada de una ilustración de los ordenes de magnitud de cada uno de aquellos; a continuación se harán precisiones acerca del tipo de servicio que generará el Tren Metropolitano y la demanda agregada por dicho servicio, usando para ello los conceptos de producción conjunta y de suma vertical. Una vez desarrollados estos prerrequisitos temáticos se dá comienzo a su conjugación con la información de los beneficios, tanto públicos (externalidades) como privados, provenientes de la ejecución del proyecto, para terminar con un desarrollo más amplio del efecto externo relacionado con la descongestión de las vías públicas.

I. BENEFICIOS PUBLICOS Y PRIVADOS GENERADOS POR EL METRO

En general, se advierte que el hecho de viajar representa una satisfacción negativa para el usuario. Esta desutilidad proviene de la inversión que debe realizar el pasajero en los tiempos de acceso, espera y viaje, así como del número de transferencias que deba efectuar para alcanzar el destino deseado, de las incomodidades recibidas y del importe de la tarifa. Sin embargo, el usuario está dispuesto a pagar todos los costos que implica el viaje, a cambio de satisfacer la necesidad de estar en el destino deseado. En estos términos la demanda por el servicio de transporte, se dice, es una demanda derivada.

Desde el punto de vista del usuario, el Vector o Nivel de Servicios³ de un medio de transporte se define como un “paquete” en el cual se combinan distintos elementos cuantitativos y cualitativos al realizar un viaje entre un par origen-destino específico, en una ruta dada, una vez efectuada la elección modal. Los elementos que, normalmente, se incluyen en dicho “paquete” son el tiempo de acceso (de camino), tiempo de espera, tiempo de viaje, número de transferencias (de transbordos), seguridad, confiabilidad y comodidad. Cuanto menores sean los tiempos de acceso, espera y viaje y el número de transferencias y cuanto mayores sean la seguridad, confiabilidad y confort de un medio de transporte, en una ruta dada, mayor será su nivel de servicios.

Los **beneficios privados**, generados por el Metro, tienen origen en la ventaja relativa que ofrecen algunos elementos de su vector de servicios, como el menor tiempo de viaje, y la mayor seguridad, confiabilidad y confort relativos, los cuales superan ampliamente a los que el usuario de transporte público está acostumbrado. No obstante, el número de transferencias o transbordos aumentaría con la operación del sistema de transporte⁴ que tendrá como eje fundamental el Metro. Dichos beneficios son percibidos por los usuarios y por acceder a ellos están dispuestos a pagar una tarifa que, en el límite (equilibrio), debe ser la cuantificación del beneficio marginal que les reporta un mejor vector de servicios y que, además, no debe alejarse demasiado de sus posibilidades de ingreso ni de lo que hoy pagan por desplazarse utilizando el sistema de transporte actual. Los cargos directos a utilización son el mecanismo normal para efectuar el cobro de los beneficios percibidos por el uso de un bien público al cual es factible aplicar el principio de exclusión.

3 Al Vector de Servicios también se le denomina Planos del Valor de Tráfico de un medio de transporte. Una exposición amplia de este tema se encuentra en Voigt Fritz: *Economía de los Sistemas de Transporte*. México. FCE. 1964.

4 Por sistema de transporte debe entenderse la acción conjunta de distintos medios de transporte en un área determinada.

El tiempo de viaje, en este caso, toma en consideración los tiempos de acceso (distancia temporal que deben superar los usuarios del Metro para llegar a la estación más cercana), de espera a los trenes en las estaciones y de movilización propiamente dicha. Se estima un ahorro en tiempo de viaje, de los usuarios del sistema que operará a mediados de 1993, cercano a la mitad del tiempo que hoy se invierte en el traslado por medio de buses de servicio público. El número de transbordos a realizar por los usuarios del sistema está relacionado inversamente con el tiempo de acceso, por lo que se supondrá una compensación entre ambos elementos del vector de servicios y no serán tenidos en cuenta en lo que sigue.

La seguridad hace relación a la menor probabilidad de conmociones y accidentes que presenta el Metro, tanto en el curso del desplazamiento como en los momentos de acceso y desalojo del sistema. Este elemento del vector cobra mayor importancia al establecer un paralelo con el sistema de buses que presta actualmente el servicio de transporte.

La confiabilidad que ofrece el Metro se refiere a la puntualidad para el cruce por las distintas estaciones, con la que se "venden" estos sistemas rápidos de transporte masivo, la cual se produce gracias a la exclusividad de la vía por la cual circulan y a la alta tecnología de los vehículos y sistemas de control.

Finalmente, el confort acopia el conjunto de comodidades que el Metro pondrá a disposición de los usuarios del servicio, no sólo en su interior sino también en los momentos de espera, acceso y desalojo del mismo.

El valor de uso de estos atributos del sistema depende de las características de la función de utilidad de cada pasajero. O sea, la importancia de la ventaja de los elementos del vector de servicios del Metro está determinada por la ponderación que cada usuario del servicio les asigne dentro de su patrón deseable de consumo.

La función de utilidad de un usuario de transporte público podría representarse por una expresión del tipo:

$$U = U(Q, Tv, S, C, Co,)$$

Donde:

- U = Nivel de utilidad del usuario.
- Q = Consumo de otros bienes y servicios, entre los que se incluye la estancia en el destino deseado.
- Tv = Tiempo de viaje.
- S = Seguridad que brinda el sistema.
- C = Comodidad.
- Co = Confort.

$$\frac{\partial U}{\partial Q} > 0; \quad \frac{\partial U}{\partial Tv} < 0; \quad \frac{\partial U}{\partial S} > 0; \quad \frac{\partial U}{\partial C} > 0; \quad \frac{\partial U}{\partial Co} > 0$$

Los supuestos de continuidad de la función, así como de su primera y segunda derivadas parciales, y de estricta cuasi-concavidad se asumen en este planteamiento.

Existen dos posiciones comunes, en cuanto a las hipótesis planteadas, acerca de la consolidación de un nuevo medio de transporte en un área determinada, la primera de ellas más restrictiva que la segunda, aunque ambas parten de la comparación de los elementos del vector de servicios que ofrecen los diversos medios de transporte.

En primer término se propone que un nuevo medio de transporte sólo logra imponerse en una economía de mercado si, al menos, un elemento de su vector de servicios es claramente superior al elemento correspondiente del medio de transporte existente y dicha superioridad no resulta compensada con la desventaja de algún otro de los elementos de su vector de servicios, con respecto a su similar

del sistema vigente⁵. Bajo esta consideración y, solamente, si cada variable del vector es importante para la mayoría de los usuarios de transporte público es muy probable que el Metro se consolide en pocos años, puesto que todos los elementos de su vector de servicios son claramente superiores a sus correspondientes del sistema actual, siempre que la tarifa tenga las características arriba mencionadas.

En segundo lugar, el enfoque del *Costo Generalizado*⁶, aunque considera solamente los elementos cuantitativos del vector de servicios, es menos restrictivo. Este enfoque permite evaluar los niveles de servicio de los diferentes medios de transporte en términos del usuario, tomando en cuenta el posible intercambio entre tiempo total invertido en el viaje, y la tarifa. El costo generalizado es una variable de la función de demanda por el servicio de transporte en la cual se combinan el importe de la tarifa y la valoración del tiempo empleado en el desplazamiento entre el par origen-destino deseado. En otras palabras, el costo generalizado del viaje en un medio de transporte específico, dada una ruta, es la suma ponderada de la tarifa y los elementos, tiempo de acceso, tiempo de espera y tiempo de viaje, evaluados en términos de dinero⁷:

$$CG = A_o + T + C_c.T_c + C_e.T_e + C_v.T_v$$

Donde:

CG = Costo generalizado.
 A_o = Parámetro de la función.

(5) Entre los seguidores de esta hipótesis se encuentra el tratadista alemán Fritz Voig (1964).

(6) Véase, *Report of the International Collaborative Study of the Factors Affecting Public Transport Patronaje*, "The Demand for Public Transport", TRRL, 1980.

7 Véase el documento de Sauce y Osuna (1.982) en *Revista dos Transportes Públicos* 41.

- T = Tarifa.
 Cc = Costo de un minuto de camino para acceder al medio de transporte.
 Tc = Tiempo de camino.
 Ce = Costo de un minuto de espera.
 Te = Tiempo de espera.
 Cv = Costo de un minuto de viaje, y
 Tv = Tiempo de viaje.

Los coeficientes ponderan los elementos y transforman la ecuación en una medida de desutilidad, expresada en dinero. Dichos coeficientes son valores predeterminados que varían para cada usuario. De la comparación de los costos generalizados, presentados por el Metro y por el sistema de buses, dependerá la decisión del usuario, la cual está condicionada, además, por algunas variables exógenas como el ingreso.

Debe reiterarse que este último enfoque es menos restrictivo que el de Voig, en el sentido que pueden existir compensaciones entre los elementos correspondientes de cada vector de servicios, para señalar cual medio de transporte se impondrá en el mercado. Sin embargo, para llegar a las conclusiones de Voig, con el enfoque del costo generalizado, deben reconocerse los mismos hechos y plantear los mismos supuestos.

Ante la imposibilidad de utilizar el criterio de la unanimidad para identificar como "deseable" la situación con o sin Metro, en términos de niveles de bienestar social, deben considerarse las preferencias de la mayoría y no de la totalidad de usuarios de transporte público como indicadores de aquel. El esperar la consolidación del sistema Metro en pocos años, condicionada a la importancia que deben tener los elementos del vector de servicios en los patrones deseables de consumo de los usuarios de transporte público urbano y a las características de la tarifa, es un juicio de valor o una hipótesis no contrastable a priori.

Los niveles de bienestar que acompañan las situaciones anterior y posterior al Metro son no comparables en el sentido de Pareto (o bien, el criterio de óptimo de Pareto no es suficiente para elegir entre estas situaciones) dado que, en primer lugar, se está considerando la intensidad de las preferencias por los elementos del vector de servicios del Metro; en segundo lugar, al entrar en operación el Tren Metropolitano se incrementa el bienestar de unos subgrupos sociales y se reduce el de otros y en último lugar, el medio de transporte masivo que se está analizando genera efectos externos⁸.

La solución que, regularmente, se dá para salvar estas ambigüedades es la introducción de una función de bienestar social, en la que su nivel está explicado por los niveles de utilidad de todos y cada uno de los individuos. No obstante, esta solución también encuentra dificultades como las planteadas por el Teorema de la Imposibilidad de Arrow⁹.

Los **beneficios públicos** o efectos externos positivos, derivados de la operación y utilización del Metro¹⁰, destacados en el presente

8 Una determinada asignación de recursos se considera óptima en el sentido de Pareto, si el paso a cualquier otra asignación factible que mejora la situación de un consumidor supone necesariamente un empeoramiento para algún otro consumidor. Así, en la escala de preferencias de Pareto, si frente a dos estados (asignaciones de recursos) de la economía algunos individuos prefieren el primero al segundo, mientras que otros prefieren el segundo al primero, no se define ninguna ordenación de estos dos estados; en su lugar se dice que los dos estados no son comparables en el sentido de Pareto. Una exposición más amplia de los conceptos relacionados con la economía del bienestar se encuentra en Quirk y Saposnik. *Introducción a la Teoría del Equilibrio General y a la Economía del Bienestar*. Barcelona (Antoni Bosh, Editor, Capítulo IV).

9 Arrow, K. J., *Social Choice and Individual Values* (Nueva York, 1951).

10 Un hecho al cual debe prestarse especial atención es al que los efectos externos no se generan espontáneamente con la construcción del Metro. Es condición, además, que el sistema sea utilizado de manera copiosa para observar como los efectos crecen con la demanda por el servicio que ofrece el Tren Metropolitano.

documento están relacionados con la descongestión de las vías urbanas; la mejora en el paisaje urbanístico; la posibilidad de emprender el reordenamiento urbano; la disminución relativa en los costos de mantenimiento de vías; el desarrollo de los sentidos de protección y pertenencia en la comunidad con respecto a los bienes públicos; la reducción relativa en los índices de contaminación ambiental; y la valorización de los inmuebles ubicados en la zona de influencia de las estaciones y obras complementarias. Salvo la externalidad relacionada con el mayor valor de los predios, las restantes son percibidas por todos los miembros de la comunidad de la siguiente manera:

1. Por los usuarios de las vías urbanas quienes se ven favorecidos con la disminución en los volúmenes de tráfico de los corredores urbanos, lo que se traduce en una disminución tanto en los niveles de congestión como en las expectativas y costos de accidentalidad y conmoción. En el gráfico 1, se presenta una versión del impacto que tiene la operación del Tren Metropolitano y la construcción de sus obras complementarias en los costos de circulación y en las expectativas de accidentalidad y conmoción.

En el panel a) del gráfico 1 se observa el efecto, sobre los costos de congestión, de la reorientación de la demanda por el servicio de transporte que se presentará con el funcionamiento del Metro: En la medida en que aumenta el volumen de pasajeros movilizados por el Metro aumentan dichos costos para los demandantes de espacio vial, pero en menor proporción que en el caso que los usuarios de transporte público no contasen con el Metro para la superación del espacio.

Según la "Actualización de los Beneficios Socioeconómicos del Tren Metropolitano"¹¹, en los dos primeros años de operación del

11 Cuesta J. Rafael. *Actualización Beneficios Socioeconómicos del Tren Metropolitano*. Documento Técnico. ETMVA, Julio 1987. Medellín. Los cálculos se hicieron suponiendo la entrada del Metro en operación en 1988, con una tarifa de competencia.

Metro deberán retirarse de circulación aproximadamente 900 buses de las diferentes rutas, es decir, cerca de un 20% de los que transitarían en 1993 y 1994. Adicionalmente, en los primeros 30 años de operación del sistema se hace innecesaria la adquisición de cerca de 8.000 buses lo que permitiría llevar ese capital de inversión a otras actividades económicas¹².

Los costos de congestión también se verán impulsados a la baja por las obras complementarias que se adelantarán con el proyecto del Metro. Dichas obras hacen relación al conjunto de glorietas, ampliaciones de vías, cruces semaforizados, puentes vehiculares y peatonales, bahías para buses integrados al sistema y parqueaderos para vehículos particulares sobre las vías. Está previsto que las obras complementarias viales directas (que alimentarán vehicularmente las estaciones) pueden llegar aproximadamente a 12.5 kms. Estas obras corresponden a proyectos que se hacen con la construcción del Metro y que además hacen parte del plan vial metropolitano, aunque no todas son de acceso directo a las estaciones, ya que algunas se adelantan para dar paso a la vía del Metro (Como el puente de la calle 30, por ejemplo). En el panel b) del gráfico 1 se observa una reducción más rápida de los costos de congestión en las horas "pico" por causa de la construcción de las obras complementarias con la operación del Metro que sin ella.

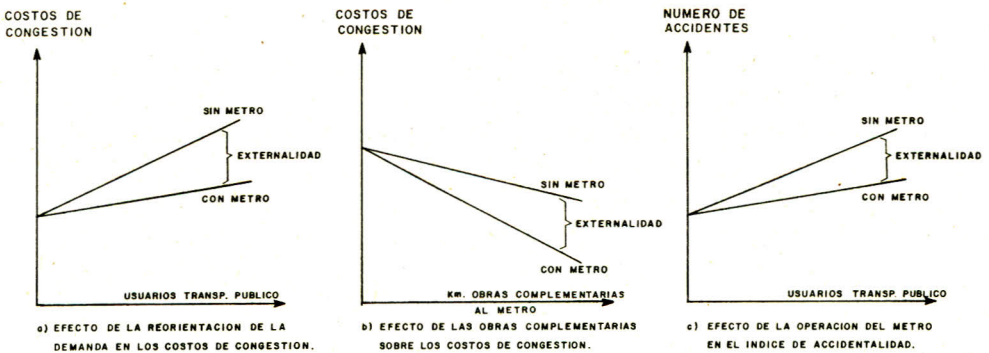
Se espera, igualmente, que con la construcción y operación del Metro se reduzcan relativamente las expectativas de accidentalidad y conmoción. La presencia de este efecto está condicionada a que se produzca la reorientación de la demanda por el servicio de transporte, antes mencionada, que hará que el sistema una vez

12 En el estudio que se reseñó en la nota de pié de página (11), se estimó el costo de un bus modelo 1987 en \$ 10.000.000 de donde, en precios del mismo año, la inversión promedio anual innecesaria en buses es de \$2.700.000.000 aproximadamente. Esto sin considerar el costo variable de operación de los buses "ahorrados" que, en pesos corrientes de 1.987, llegan a sumar cerca de \$ 3300.000.000 anuales, en promedio, de los cuales el 69% significan el costo del combustible consumido.

consolidado surta el 40% de los viajes en transporte público generados en el Area Metropolitana. En concordancia con lo anterior, en el panel c) del gráfico 1 se observa como en la medida en que aumenta el número de viajes efectuados en Metro, los accidentes producidos por los vehículos de servicio público y privado aumentan en menor proporción que bajo las condiciones actuales¹³.

Al señalarse entonces, como se ha hecho, que el propósito de la implementación de sistemas rápidos de transporte masivo urbano es reducir o eliminar los costos producidos por la baja calidad del servicio que ofrece el sistema vigente, los costos de congestión y el uso excesivo de combustible, el objetivo se cumple en el caso del Metro del Valle de Aburrá.

Gráfico 1 Impacto del Metro sobre los costos de congestión y las expectativas de accidentalidad



13 De acuerdo con la *Actualización de los Beneficios Socioeconómicos del Metro*, se evitará un número superior a 2.000 accidentes causados por buses, en los primeros años de operación. Posteriormente, esta cifra se situará por encima de 3.500 accidentes año en las 3 décadas siguientes al inicio de la operación, con la consiguiente disminución en costos económicos y sociales.

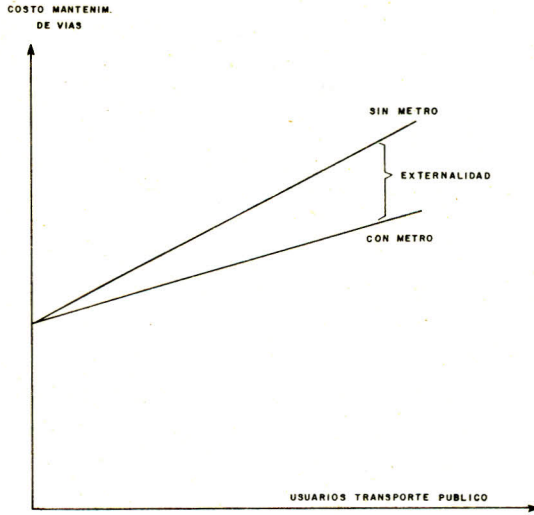
2. Por los asociados locales, quienes tendrán oportunidad de observar un paisaje urbano mejorado no solo por la presencia del Metro sino, además, por las obras de paisajismo (arborización, construcción de plazoletas, tramos peatonales, entre otras) que permitirán la recuperación del espacio público. Es lógico suponer que entre mayor sea el número de pasajeros movilizados por el Metro mayor será el beneficio público de observar un paisaje urbano más atractivo, puesto que este conjunto de obras estará dispuesto a lo largo de las líneas A y B del Tren Metropolitano.

Así mismo, los entes de planeación locales podrán emprender el reordenamiento urbano que se posibilitará gracias a la incorporación al desarrollo urbano de áreas que anteriormente carecían de una oportunidad concreta en ese sentido, por los altos costos de movilización entre ellos y los sitios de interés económico e institucional. Con lo anterior se podrán efectuar cambios en las normas de uso del suelo que permitan la redistribución de su uso y, con el tiempo, la aparición de centros (industriales, comerciales y de servicios) alternos.

3. Por la sociedad que, a través de las entidades municipales, deberá destinar menos recursos públicos al mantenimiento de las vías urbanas y podrá llevar dichos excedentes a otros frentes de inversión pública, lo que significará un incremento en el bienestar social. Los recursos liberados anualmente son del orden de \$ 160.000.000 de 1987, en promedio, según datos de la empresa que administrará el sistema. El gráfico 2 representa esta situación, que de nuevo, está condicionada a un uso "eficiente" del Metro por parte de la sociedad residente en el Area Metropolitana.

De igual manera debe reducirse el costo de mantenimiento de los bienes públicos en general, ya que con la campaña educativa que se está adelantando, por parte de la empresa que administrará el Metro, se espera despertar en la comunidad sus sentidos de protección y pertenencia por el sistema y todas sus obras complementarias, para preservar su estado e indirectamente el de todos los bienes públicos.

Gráfico 2 Impacto del Metro sobre el costo de mantenimiento de vías



4. Por la comunidad, en general, que verá reducir relativamente los altos índices de contaminación que produce el sistema actual de transporte público, puesto que el Metro durante su operación contribuirá al saneamiento ambiental del Area Metropolitana (por la utilización de energía eléctrica en lugar de combustible) así como a la disminución en los niveles de ruido si se compara con los niveles generados por los medios de transporte vigentes¹⁴.

El Tren Metropolitano es calificado como un medio de transporte de impacto ambiental positivo por utilizar energía eléctrica, recurso no contaminante, renovable y, además, producido con ventajas relativas en la región.

14 La reducción en los índices de contaminación debe entenderse como un "Freno" a una externalidad negativa o a un disbién público no exclusivo, más que como una externalidad positiva.

Según el estudio del que se han extractado las cifras que ilustran este artículo:

“El deterioro atmosférico es causado en un 85% por los vehículos de transporte público y privado, siendo los primeros responsables del 40% de la carga contaminante generada en el Valle de Aburrá si se considera la emisión directa de los motores y la contaminación indirecta relacionada con el material particulado generado por el deterioro causado a las vías”.

Se supone que los vehículos livianos no tienen mayor incidencia en el daño producido a las vías públicas.

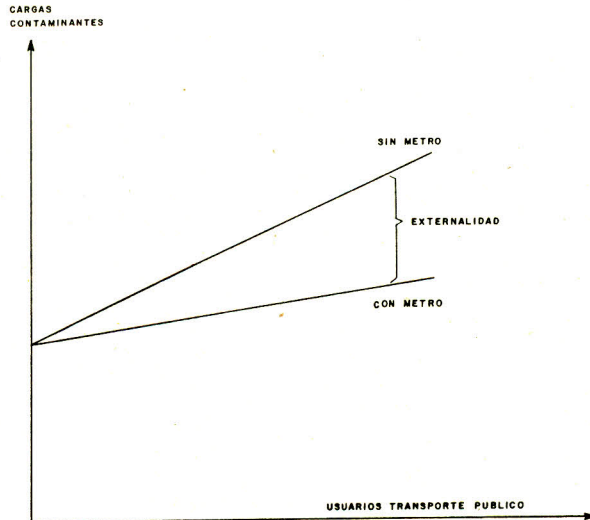
Se estima que los contaminantes tanto directos como indirectos causados por el transporte público caerán en más del 20%, si una proporción, como la mencionada, de los viajes en transporte público son realizados en Metro.

Por otra parte, con el sistema en funcionamiento se espera una reducción del ruido ambiente, tanto al inicio de la operación como cuando esté circulando a máxima capacidad, especialmente en sitios como la Avenida Bolívar, en las horas “pico”.

La percepción intuitiva de la conjunción de los efectos ambientales que traerá el funcionamiento del Tren Metropolitano, se facilita con el gráfico 3, donde se señala cómo las cargas contaminantes del Valle de Aburrá causadas por los distintos medios de transporte y demás actividades se incrementan a un menor ritmo con el aumento en el número de usuarios del Metro.

5. Por los propietarios de bienes raíces ubicados en la zona de influencia del Tren Metropolitano, o sea en cercanía de las estaciones y obras complementarias, ya que ellos observarán incrementos reales en las cotizaciones actuales y futuras de sus propiedades gracias, en primera instancia, a las modificaciones que se esperan en los usos del suelo en torno de las estaciones dado que la mayor disponibilidad y calidad de los modos de transporte y su

Gráfico 3 Reducción de las cargas contaminantes por efecto del Metro



relación con el uso del suelo permite la localización de actividades productivas y residenciales donde no era posible antes debido a los altos costos de movilización; en segunda instancia, a los flujos de demanda que se inducirán a las nuevas zonas industriales, comerciales y de servicios y, en última instancia, a la posibilidad que tienen quienes habitan estas propiedades de acceder rápidamente a los beneficios privados derivados de la operación del Tren Metropolitano sin incurrir en costos adicionales de transporte¹⁵.

En el gráfico 4 se observa, en forma estática, el impacto de la construcción del Metro sobre el precio de la tierra en un espacio convencional de oferta y demanda, en el que todas las mejoras que aquel

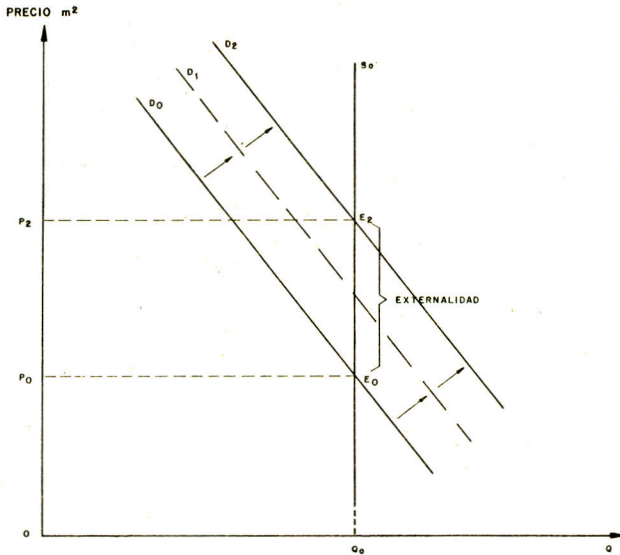
15 Al considerar un bien raíz es necesario diferenciar la edificación del terreno, para especificar que la valorización se imputa fundamentalmente al terreno.

produce actúan como parámetros de desplazamiento de la curva de demanda. En el punto de equilibrio inicial E_0 , P_0 representa el nivel de precios del metro cuadrado de tierra urbana y Q_0 las cantidades transadas del inmueble, antes de optar por la construcción del sistema de transporte masivo. Una vez generada la expectativa acerca de la construcción del Metro, y ésta se fue haciendo efectiva, el precio de la tierra empezó a incrementarse a causa de las bondades que esto traería y que, según se anotó, están relacionadas con la posibilidad concreta de localización de actividades productivas y residenciales en sitios que anteriormente no permitían dichos usos del suelo por los altos costos de desplazamiento; con los flujos de demanda inducidos por las mejoras en la accesibilidad y con la posibilidad de acceder a los beneficios privados del Metro sin incurrir en costos de transporte adicionales. Estos fenómenos llevarán la demanda de D_0 a D_2 (una vez en funcionamiento el sistema) pasando por D_1 (nivel de la demanda en el período pre-operativo del sistema) y ubicarán el equilibrio final en E_2 a un nivel de precios P_2 y una cantidad transada del inmueble Q_0 .

Estos beneficios, a diferencia de los anteriores, no son apropiados por los usuarios del Metro ni por los usuarios de las vías sino por los propietarios de los predios que adquieren un nuevo uso potencial o efectivo. El cambio en la demanda, generado por los menores costos de localización frente a una oferta S_0 rígida o inelástica se capitaliza en forma de una mayor renta (diferencial) del suelo urbano, directamente imputable a la remoción de las restricciones de accesibilidad a dichos predios. La diferencia entre el precio inicial P_0 y el precio final del metro cuadrado P_2 constituye el beneficio externo (efecto valorización) generado por el Tren Metropolitano, que según estimaciones preliminares es de \$ 3.180 y \$ 2.352 de 1987, en las líneas A y B, respectivamente¹⁶. La valorización total que reseña la *Actualización de los Beneficios Socio-económicos* es del orden de los \$ 36.000 millones de 1987.

16 El anexo 1 contiene el trazado del Tren Metropolitano, o sea la disposición del nuevo medio de transporte en el Valle de Aburrá.

Gráfico 4 Incremento en el precio del suelo urbano en la zona de influencia del Metro



II. PRODUCCION CONJUNTA

El concepto de producción conjunta se utiliza para identificar un proceso productivo que genera al menos dos bienes finales, es decir, que elabora bienes que son técnicamente interdependientes.

El proceso productivo del Tren Metropolitano se traduce en un recorrido o giro completo de cada una de sus unidades de tren (tres vagones) a lo largo de su trazado. Si el sistema contase con una sola unidad de tren, el número de veces que se adelanta el proceso productivo sería igual al número de recorridos completos realizados por dicha unidad de tren.

Con los elementos analíticos anteriores es posible concluir que el Tren Metropolitano es una Empresa de producción conjunta que

genera un multiproducto o, más acertadamente, un multiservicio de transporte: el Metro en un solo recorrido de cada unidad de tren genera muchos **tipos de servicio** de transporte, entendiéndose por uno de estos el que se ofrece entre cada par de estaciones consecutivas. El sistema cuenta en la Línea A con 19 estaciones y con 6 en la Línea B (anexo 1), de modo que ofrecerá 18 y 6 tipos de servicio de transporte específico por línea y por sentido; en total serán 48 tipos de servicio, los cuales deben diferenciarse del **número de servicios producido**, el cual hace relación al número de pasajeros/kilómetro que podría movilizarse, dada la frecuencia en el despacho de los trenes¹⁷.

En términos analíticos la función de producción del Tren Metropolitano puede expresarse partiendo de una relación del tipo:

$$P_t = f(K_t, L_t, E_t, O_t)$$

Donde:

P_t : Es el nivel de producción, que en el caso del Tren Metropolitano se traduce en plazas para pasajeros en cada km. recorrido o número de servicios producido en el período t .

K_t : Es el capital, que engloba la inversión en infraestructura, material rodante y equipos fijos, en el período t .

L_t : Número de empleos directos generados por el sistema en el período t .

E_t : Consumo de energía del sistema, en el período t .

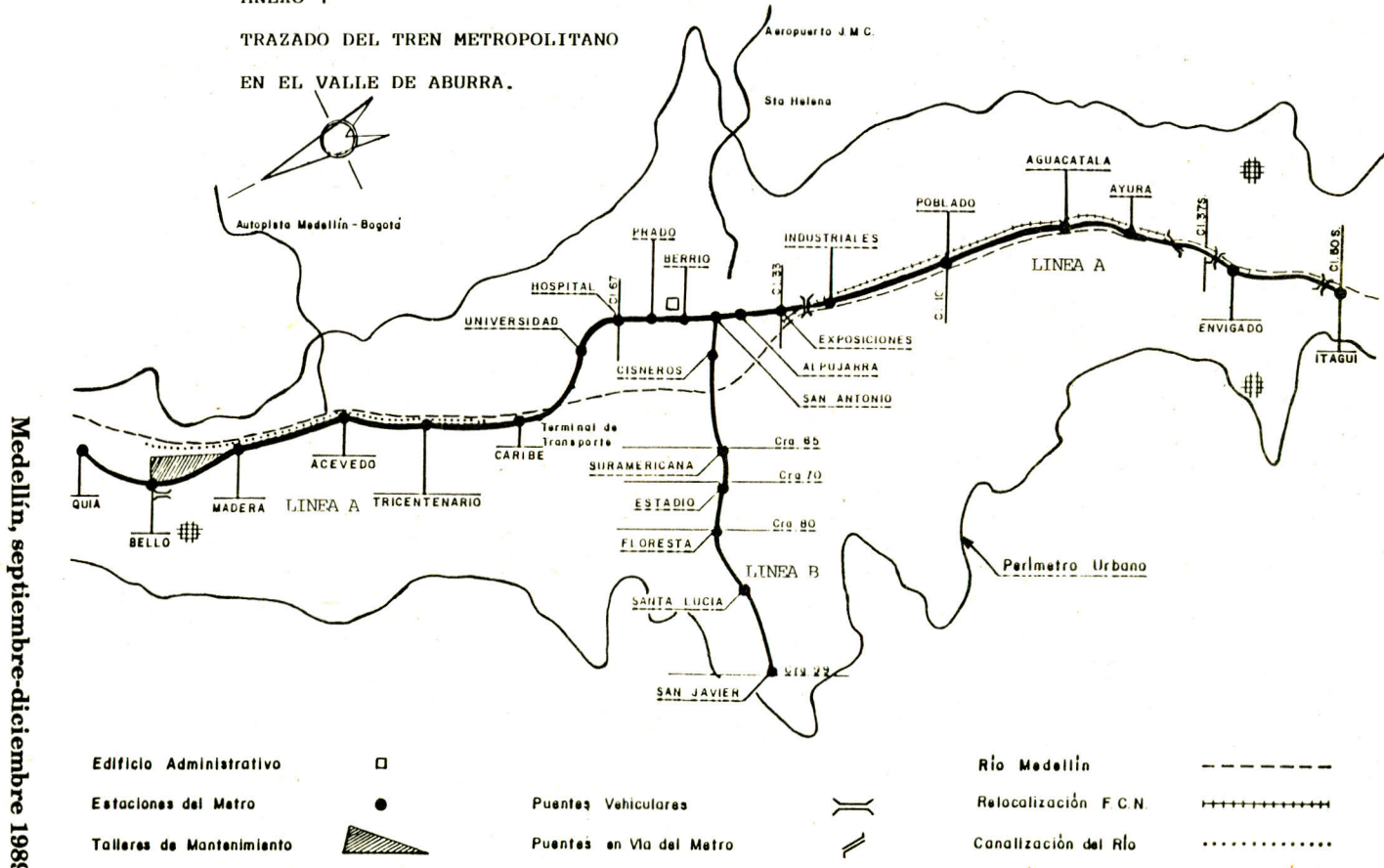
O_t : Otros insumos utilizados por el sistema, en el período t .

La característica fundamental de esta función son los rendimientos crecientes a escala en el primer rango de producción y

17 Se trata de una empresa de producción conjunta ya que con los *tipos de servicio* y las *plazas para pasajeros* genera efectos externos.

ANEXO 1

TRAZADO DEL TREN METROPOLITANO
EN EL VALLE DE ABURRA.



Medellín, septiembre-diciembre 1989

los rendimientos decrecientes que aparecen antes de llegar al límite de producción de la infraestructura inicial del Metro.

Para efectos del análisis, y fundamentalmente de la construcción de curvas, se introducirán algunas simplificaciones que no alteran el contenido de un análisis que reuniera todos los elementos:

1. Sólo se tomará en consideración la Línea A y en ella la presencia de las estaciones NIQUIA, PARQUE BERRIO e ITAGUI.

2. Se supone la existencia de sólo una unidad de tren (3 coches) que hará recorridos completos. En este orden de ideas, un recorrido del Metro en un sentido (medio ciclo de su proceso productivo) genera dos tipos de servicios finales (outputs), el servicio de transporte entre NIQUIA y PARQUE BERRIO y el servicio entre PARQUE BERRIO e ITAGUI. Al hacer el recorrido en sentido inverso y completar un ciclo de su proceso generará los outputs ITAGUI-PARQUE BERRIO Y PARQUE BERRIO-NIQUIA; sin embargo, esta parte del ciclo no se introducirá en el análisis. El número de servicios producido es igual a los pasajeros que potencialmente se movilizarían en cada kilómetro de todo el recorrido.

3. Finalmente debe establecerse un supuesto con respecto al tipo de tarifa a importar. En el análisis subsiguiente se considerará que cada tipo de servicio tendrá su propio precio (que será irreductible entre dos estaciones consecutivas dada la indivisibilidad en el consumo de cada servicio) de modo que al agregar, paulatinamente, los servicios técnicamente interdependientes generados por el Metro su equivalente tarifario vaya creciendo con la distancia recorrida, de tal manera que exista una tarifa diferencial según el criterio de la distancia¹⁸.

18 Si hay escepticismo en la generación de un multiservicio por parte del Metro debe reconocerse que, aun cuando, el servicio generado fuese único, la discriminación de mercados, de acuerdo con algún criterio (la distancia, el tiempo de utilización, la hora del día en que se haga uso del sistema, etc.), incrementaría los beneficios de este monopolista de producto diferenciado, o por lo menos reduciría sus pérdidas si se compara con una situación de tarifa única.

III. LA DEMANDA DEL MULTISERVICIO DE TRANSPORTE OFRECIDO POR EL METRO, LA AGREGACION VERTICAL Y LOS EFECTOS EXTERNOS

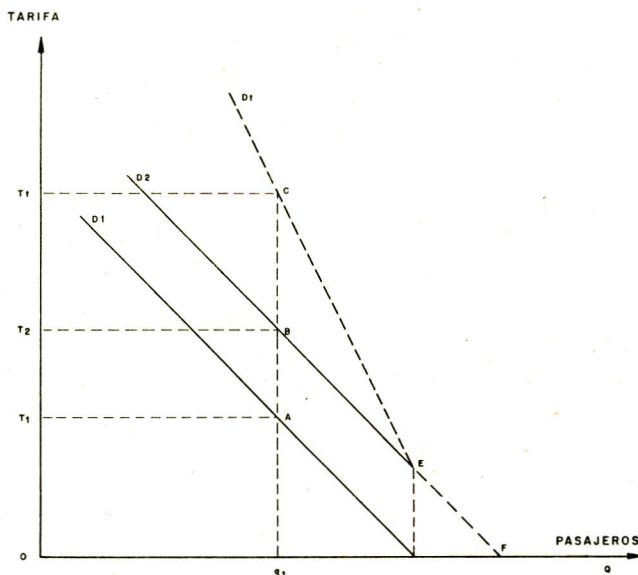
El criterio de sumatoria vertical permite agregar las curvas de demanda de los bienes producidos por empresas de generación conjunta para encontrar la curva de demanda que señala el equivalente monetario que los compradores estarían dispuestos a pagar por una unidad adicional del producto completo (o servicio en el caso del Metro). Al sumar verticalmente se obtiene la tarifa que cada usuario está dispuesto a pagar por cada recorrido adicional completo abordo del Tren Metropolitano.

En el gráfico 5, la curva $D1$ muestra la función de demanda por el servicio de transporte entre las estaciones NIQUIA y PARQUE BERRIO; la curva $D2$ representa la función de demanda por el servicio de transporte entre las estaciones PARQUE BERRIO e ITAGUI. La demanda total Dt -la sumatoria vertical de las funciones $D1$ y $D2$ - señala la cantidad de dinero que los usuarios están dispuestos a pagar por cada recorrido adicional completo. La curva Dt presenta un quiebre en el punto E , en el que desaparece la demanda por el servicio de transporte entre NIQUIA y EL PARQUE BERRIO, y aquella se superpone a la demanda entre el par origen-destino PARQUE BERRIO-ITAGUI hasta el punto F . En términos del multiservicio que genera el Tren Metropolitano, la agregación vertical de las funciones $D1$ y $D2$, se hace de manera exhaustiva para obtener la curva Dt .

Tanto el nivel como las elasticidades de las curvas del gráfico 5 caracterizan sólo uno de los múltiples casos que pueden presentarse. Allí, en el punto A sobre la función de demanda $D1$, los $0q1$ pasajeros que hacen el tramo NIQUIA-PARQUE BERRIO, están dispuestos a pagar un nivel tarifario $OT1$. Análogamente, en el punto B de la función $D2$ se encuentran los $0q1$ pasajeros que haciendo uso del Tren Metropolitano recorren el Valle entre el PARQUE BERRIO e ITAGUI y que pagan un nivel $OT2$. El punto C de la función Dt

muestra la tarifa T_t que pagaría el q_1 -ésimo pasajero por realizar el recorrido completo en un sentido.

Gráfico 5 Demanda del multiservicio de transporte ofrecido por el Tren Metropolitano.



Cada punto sobre la curva de demanda del gráfico anterior, muestra la utilidad o beneficio marginal que le reporta al individuo el consumo de la última unidad del bien o servicio. La diferencia entre la utilidad total, que es la integral definida bajo la curva de demanda, y el pago que realiza el usuario es el excedente del consumidor, es decir, la diferencia entre lo que el usuario estaría dispuesto a pagar y lo que efectivamente paga por el servicio¹⁹. La empresa administradora del Metro podría, como ya se advirtió, aumentar su excedente

19 Este análisis se elabora bajo los supuestos de eliminación del efecto ingreso para la construcción de las curvas de demanda.

de explotación o disminuir sus beneficios negativos discriminando los mercados con las variables distancia (colocando un precio a cada tipo de servicio) o tiempo de uso, entre otras, es decir, captando una fracción del excedente del consumidor.

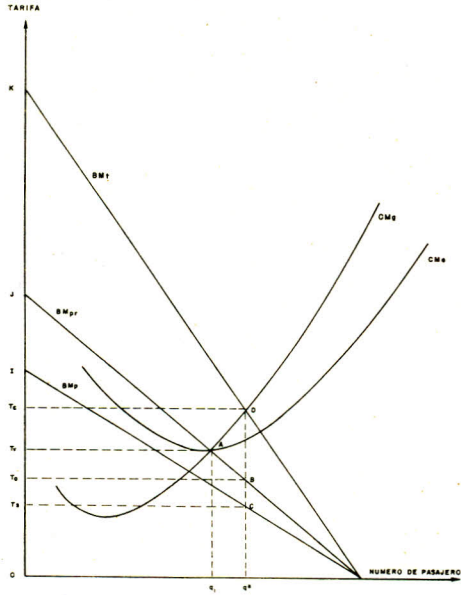
Los beneficios marginales privados están representados por la curva $BMpr$ del gráfico 6, que es equivalente a la curva Dt del gráfico 5. Asimismo, los beneficios marginales públicos están representados por la curva BMp y provienen de los efectos externos percibidos por los agentes. La agregación vertical de las curvas $BMpr$ y BMp da como resultado el beneficio marginal total BMt derivado del funcionamiento del Tren Metropolitano.

La posición de las curvas es arbitraria y responde al supuesto que los beneficios recibidos por los pasajeros $BMpr$ provenientes de los elementos del vector de servicios del Metro privilegiados, por ellos, en sus funciones de utilidad son superiores a los beneficios públicos BMp generados por el Metro. De otro lado los Costos Marginales CMg y Costos Medios CMe de operación del Metro observan los comportamientos convencionales aplazando, con ello, el estudio de seguras peculiaridades de la función de costos (función de producción). El concepto de costo medio identifica el costo promedio en que se debe incurrir por generar cada plaza para pasajero/kilómetro, mientras que el costo marginal se refiere a la adición en el costo total causado por la generación de una plaza adicional²⁰.

La intersección de las curvas $BMpr$, CMg y CMe en el punto A del gráfico 6 evita especulaciones sobre el nivel de beneficios a obtener con la operación del Metro, pese a que permite suponer que se producirá el servicio de transporte en el tramo de retornos decrecientes.

20 Más exactamente, sería el costo de generar 1220 plazas adicionales, que es la capacidad de una unidad de tren. Hecho que refleja el fenómeno de la indivisibilidad en la producción.

Gráfico 6 Beneficios generados por el Metro



En el proceso de negociación que se produce al interior del mercado del servicio ofrecido por el Metro, solo entran en juego los intereses de las autoridades de transporte y de los usuarios del sistema²¹. El proceso de tarificación está determinado por los costos marginales, pese a que se admite que la aplicación del precio igual al costo marginal presenta algunos problemas, en especial los dos siguientes²²:

- 21 Los intereses de las autoridades de transporte, se supone, están orientados hacia el bienestar de la comunidad.
- 22 Así lo advirtió el propio Hotellin, en su publicación de 1938, "The General Welfare in Relation to Problems of Taxation and of Railway and Utility Rates" y que aquí se toma de la reseña que hace Ray Rees (1976) de dicho escrito en *Economía de la Empresa Pública* y de la edición del *Trimestre Económico* sobre *Economía del Bienestar* (9*), 1974.

1) Problemas técnicos, para determinar los costos, fruto de discontinuidades en la capacidad; la existencia de indivisibilidades y la conjunción en la producción y por ende en los costos.

2) Problemas de interpretación:

- El costo marginal de cada pasajero depende de la capacidad utilizada. Así, el primer pasajero del Metro debería pagar una tarifa muy costosa.

- Debe compensarse o cobrarse por los perjuicios o beneficios causados, lo cual afecta a la estructura de los costos, y, por tanto, a la cuestión de si el costo relevante es de corto o largo plazo.

Siguiendo la pauta de optimización neoclásica, para monopolios de carácter social, se deben igualar el beneficio marginal privado de los pasajeros (demanda por el servicio) y el costo marginal, como ocurre en el punto A de la figura 6, para determinar el cargo directo a utilización y el número de pasajes colocados. Suponiendo que la cantidad de viajes q es función unívoca de la tarifa del multiservicio completo T , de una manera elemental, se tiene:

$$q = a/b - 1/b T \quad (1)$$

La curva de demanda tiene una función inversa única y, por ende, la tarifa puede expresarse como función unívoca de la cantidad de viajes (curva BMP_r)

$$T = a - bq \quad (2)$$

El beneficio privado BPr equivale al área bajo la curva BMP_r

$$BPr = aq - b/2 q^2 \quad (3)$$

Suponiendo que los Costos Operativos CO son función creciente del nivel de movilización q .

$$CO = C(q) \quad (4)$$

El costo marginal de operación CMg vendría dado por:

$$CMg = C'(q) \quad (5)$$

Igualando (2) y (5) se tiene:

$$CMg = T$$

$$C'(q) = a - bq \quad (6)$$

y cuando $C'(q) = Tv$, se llega a :

$$q1 = a/b - 1/b Tv \quad (7)$$



Sin embargo, este no es el nivel de movilización óptimo de pasajeros en términos de bienestar social. Dicho nivel se logra donde el beneficio marginal total BMt es igual al costo marginal CMg , que corresponde al punto D de la figura 6. Suponiendo que los beneficios públicos son θ veces los beneficios privados:

$$BP = \theta (aq - b/2 q^2) \quad (8)$$

Donde θ , es el escalar que representa la relación entre los beneficios privados y públicos y suponiendo que los primeros son superiores a los segundos, $0 < \theta < 1$. Los beneficios totales BT son la suma vertical de los beneficios privados (3) y los beneficios públicos (8).

$$BT = (1 + \theta) (aq - b/2 q^2) \quad (9)$$

Derivando (9) con respecto a q e igualando ese resultado al CMg (Al nivel Tc) se obtiene el nivel óptimo de pasajeros movilizadas q^*

$$q^* = a/b - 1/[b(1 + \theta)] Tc \quad (10)$$

Si se reemplaza (10) en (2), se obtiene la tarifa subsidiada T_0 que permite incrementar en $(q^* - q_1)$ el número de usuarios Metro.

$$T_0 = a - b [a/b - 1/b(1 + \theta) T_c]$$

$$T_0/T_c = 1/(1 + \theta) \quad (11)$$

Y queda expresada como proporción de la tarifa del servicio completo o multiservicio. Con la optimización, el número de pasajeros se incrementa en:

$$q^* - q_1 = 1/b [T_v - T_c/(1 + \theta)] \quad (12)$$

$$q^* - q_1 = 1/b (T_v - T_0) \quad (13)$$

Allí donde $CMg = Bmt$, se está incurriendo en un nivel de costos como:

$$\int_0^{q^*} C'(q) dq \quad (14)$$

para generar unos beneficios totales representados por $OKDq^*$.

La financiación del servicio adicional $(q^* - q_1)$ se logra introduciendo las externalidades, que producen exclusión, al sistema de precios, o sea **internalizando** los efectos externos mencionados a través de imposiciones, a los beneficiados involuntarios, relacionadas con el uso de las vías urbanas más descongestionadas y el mayor valor que se introduce a los predios ubicados en la zona de influencia. Es decir, para internalizar las externalidades, la autoridad responsable de estas debe dar tratamiento a los costos y beneficios públicos como si fueran privados, logrando de este modo que el proyecto tenga un impacto redistributivo del ingreso de la población local. Se insinúa el establecimiento de un cargo directo a utilización T_0 subsidiado en la magnitud $O T_s$, de manera que dicho subsidio sea financiado por

todos los beneficiados indirectos con la operación del sistema, reiterando que de esta manera se alcanza un nivel óptimo de beneficios públicos, al nivel de movilización q^* .

Como lo señaló el Ministro de Hacienda²³:

“Las tarifas son el mecanismo usual para efectuar el cobro de los beneficios recibidos por el empleo o consumo de un beneficio público, al cual se le puede aplicar el principio de exclusión. Sin embargo, en casos como este, en el cual gran parte de los beneficios tangibles e intangibles directa e indirectamente atribuibles al proyecto, se sitúan por fuera del mecanismo de tarifa imputable al usuario, es necesario recurrir a mecanismos de recobro, más amplios y generales como son los impuestos.

[...] Los mecanismos de recaudo propuestos son aquellos que por su relación con el hecho generador permiten el cobro de los beneficios dentro del mayor respeto por los principios de equidad, neutralidad y eficiencia administrativa.

[...] Los receptores de los beneficios generados por los proyectos de transporte masivo urbano los capitalizan o bien personalmente (mayor disponibilidad de tiempo, más confort), o en términos de mayor rentabilidad (mayor productividad, menores costos de producción, transporte y energía, mayor volumen de ventas) o en forma de rentas de la tierra más altas (precios de la propiedad, arrendamientos). Dichos excedentes son a su vez aplicados a actividades actuales o nuevas dentro del mismo ámbito regional, induciendo una mayor creación de riqueza, superior a los costos iniciales del proyecto”.

Argumentos como los anteriores fueron desarrollados por las autoridades del gobierno al conseguir la aprobación, en el

23 Alarcón M., Luis Fernando. Ministro de Hacienda y Crédito Público. *Exposición de Motivos del Proyecto de Ley “Por el cual se dictan normas sobre Sistemas de Transporte Público Urbano de los pasajeros y se proveen recursos para su financiamiento”*. Se encuentra un desarrollo extenso de los impuestos que se deben cobrar para internalizar los efectos externos, con la justificación respectiva.

Congreso, de la Ley 86 de 1.989 la cual busca internalizar los efectos externos generados por el Metro.

IV. EXTERNALIDADES PERCIBIDAS POR LOS USUARIOS DE LAS VIAS PUBLICAS URBANAS

Uno de los beneficios externos, ya mencionado, es el percibido de manera involuntaria por los conductores de vehículos tanto de servicio público como privado, los pasajeros de dichos vehículos y los peatones, debido a la descongestión o disminución en la densidad de tráfico que observarán las vías céntricas del Valle de Aburrá, causadas en primera instancia por las obras adicionales que se están implementando para posibilitar una fluida utilización del nuevo medio²⁴ y, en segunda instancia por la absorción, que éste efectuará, de un número considerable de viajes urbanos generados (cerca del 40 %) que hoy se vienen adelantando en buses, taxis y colectivos. Esta reorientación de la demanda por el servicio hará necesario el retiro de circulación de un número considerable de buses, lo cual contribuirá con la descongestión vial.

Con lo anterior no se quiere significar que el Metro actuará enteramente como sistema suplementario del método de operación actual para la movilización de pasajeros. Por el contrario, se pretende que en su mayor parte, el Metro, se complemente con el sistema vigente acentuando aún más la descongestión de las vías públicas centrales, pues se procurará la integración de muchas flotas de transporte público urbano con el sistema Metro, permitiendo la convergencia de ambos en las estaciones ubicadas más en los extremos de las líneas²⁵. El propósito fundamental de la integración

24 Este punto se refiere a las obras de infraestructura (vías y parqueaderos, entre otros) que permitirán no sólo un fácil acceso a las estaciones del Metro, sino también una mayor facilidad de tránsito en general.

25 Debe señalarse que la integración del transporte no se refiere solamente al plano físico. Contempla además la integración operacional, tarifaria e institucional de manera que se alcance una cohesión de alto desarrollo entre los distintos modos de transporte.

de los medios de transporte es incrementar la eficiencia del sistema de movilización de los pasajeros.

Antes de avanzar más en el terreno de las externalidades, generadas por el Metro, es necesario puntualizar algunos conceptos de común manejo en lo sucesivo. En general, el consumo de combustibles y lubricantes G de un vehículo (medido en galones por kilómetro) es función de la velocidad de circulación K (medida en kilómetros horarios), de la Capacidad C (medida en pasajeros o en toneladas por vehículo), además de otras variables. Particularizando un poco más se podría utilizar una función como:

$$G = A + gC + E(K - K^*)^2$$

Donde:

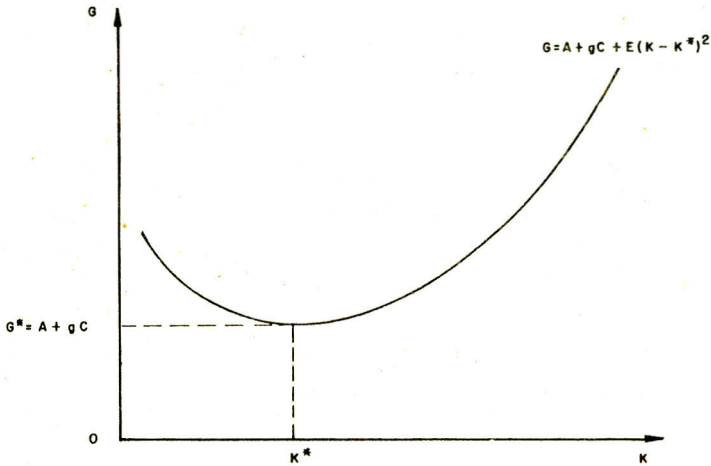
K^* = Es el nivel de circulación óptimo para el cual el consumo de combustible se hace mínimo.

A, g, E = Son parámetros de la función de consumo de combustibles.

Una curva que represente el consumo de combustibles en función de la velocidad, *caeteris paribus*, tendría la forma de la que aparece en el gráfico 7.

Cuando los vehículos alcanzan su velocidad óptima K^* , en razón a que no encuentran ningún obstáculo en el recorrido, su consumo de combustible se reduce al mínimo ($A + gC$) y por ende el costo de circulación. A una situación de consumo óptimo para todos los vehículos se podría llegar solamente en el caso en que no exista congestión, es decir, que sin exclusión ni rivalidad se pudiera circular por los corredores urbanos. Antes y después de K^* el consumo de combustibles y lubricantes es mayor que el que se presenta en el nivel óptimo de kilometraje horario, de manera que el grado de alejamiento de K^* genera incrementos en los costos de operación del vehículo.

Gráfico 7 Forma funcional del consumo de combustibles y lubricantes de los automotores



Si, para terminar con la digresión, se supone que estos ítems tienen una alta participación dentro del costo total de operación del automotor (o los demás tienen una participación constante) vale esperar que éste tenga también forma de U , como la del consumo del combustible y lubricantes.

En el gráfico 8 se representa la situación actual que observan las vías de mayor tráfico del Valle de Aburrá. Las curvas D_v y D_p representan las funciones de demanda de uso de las vías públicas, por parte de los conductores en las horas "valle" y horas "pico", respectivamente. Además se representan las curvas de costo marginal CM_g y costo medio de circulación CME , las cuales han sido derivadas de la manera habitual²⁶.

- 26 Los costos de circulación reúnen los costos de operación del vehículo y del tiempo de viaje. Por costo medio debe entenderse el egreso promedio en que se debe incurrir para operar un vehículo, y por costo marginal la adición al costo total producto de la entrada a circulación de un nuevo vehículo.

La clave del análisis reside en comprender que el automovilista al decidir si entra o no en la carretera tan sólo tendrá en cuenta sus costos privados, que corresponden al costo medio para cualquier número dado del total de viajes por carretera V . Esto supone, en primer término, que el conductor sabe el número total de automovilistas que se encuentran en la vía en cierto momento. por lo que determinará el costo de ser uno de ellos y, en segundo lugar que cada automovilista es idéntico en términos del valor de su tiempo y de las características de su coche.

En el rango de bajo volumen, durante las horas de poco tránsito (horas "valle") el costo marginal se iguala al costo medio, $CMg = CMe$, a un nivel de importe de costos determinado por K^* del gráfico 7, debido a que la operación de un nuevo automóvil sobre las vías no obstaculiza el tránsito de otros vehículos. En este tramo de baja densidad, las vías públicas son un bien que no produce exclusión ni rivalidad entre los usuarios, o sea, que las calles se comportan como un bien público puro.

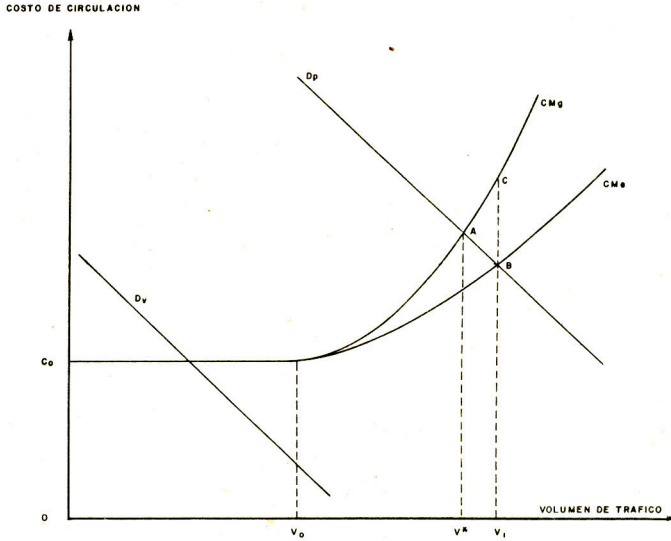
Cuando en el uso de la vía se encuentra un número de vehículos superior a V_0 , un nuevo operador agrega mayor tiempo al desplazamiento de otros conductores, por la mayor densidad o congestión que éste produce en relación con el conductor anterior. A la derecha de V_0 cada conductor que entre a la vía producirá un mayor retraso a cada uno del resto de conductores, razón por la cual aumentan el costo marginal y el medio, y siempre que esto ocurre el costo marginal es mayor que el costo medio ($CMg > CMe$). La diferencia vertical entre ambas funciones (Magnitud BC en el diagrama del gráfico 8) determina la magnitud de la externalidad, en términos de costo²⁷.

27 Se considera que el costo total CT es el producto del costo medio de operación de cada automotor CMe por el número de vehículos en circulación V :

$$CT = CMe \cdot V$$

$$\frac{\partial CT}{\partial V} = CMe + V \cdot \frac{\partial CMe}{\partial V} = CMg$$

Gráfico 8 Efectos externos producidos por la alta densidad de tráfico



$$\frac{\partial CMg - CMe}{\partial V} = V \cdot \frac{\partial CMe}{\partial V} = \text{Externalidad}$$

La externalidad de congestión producida por el último vehículo que entra a circular puede ser interpretada como el producto del costo de un viaje (CMe) por la elasticidad (E) del costo con respecto al número de vehículos evaluada en el punto $V = V1$:

$$\frac{\partial CT}{\partial V} = CMe + V \cdot \frac{\partial CMe}{\partial V}$$

$$\frac{\partial CT1}{\partial V1} = 1 + \frac{V1}{CMe1} \cdot \frac{\partial CMe1}{\partial V1}$$

$$E_{ct,v} = 1 + E_{cme,v}$$

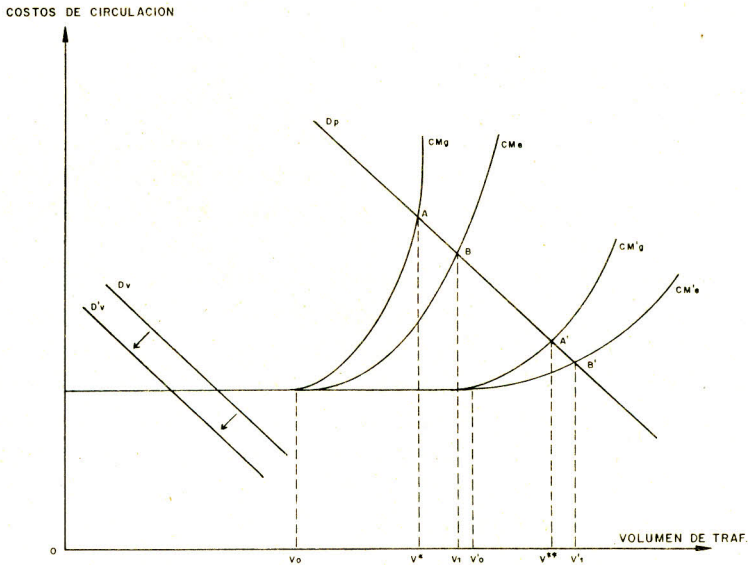
Por el costo externo que se impone a los demás conductores, el conductor que lo genera no realiza ningún desembolso, en tanto que el conjunto de automovilistas compara el beneficio marginal de utilizar la infraestructura física (curva de demanda D_p) con el costo medio incrementado por la mayor congestión. Nuevos operadores circularán sobre la vía mientras el beneficio marginal en las horas "pico", representado por la curva D_p , supere el costo percibido por cada uno de ellos, es decir, el costo medio CMe . Dicho equilibrio se produce en el punto B , con el nivel de tráfico $V1$.

Un volumen eficiente de tráfico se presenta, dado el supuesto común de optimalidad, en el punto A , donde el costo social o costo marginal CMg se iguala al beneficio marginal de la utilización de la vía, con un número de vehículos en circulación V^* . Para lograrlo, las autoridades deben imponer cuotas o peajes urbanos, equivalentes a los costos de congestión causados a los demás operadores sobre la vía ($\partial CMe / \partial V$). ∂V , o sea, imponer una cuota por un importe BC .

La construcción de las obras complementarias al Tren Metropolitano posibilita el descongestionamiento de las vías urbanas del Valle de Aburrá como se observa en el gráfico 9; ahora las vías no se congestionarán con un volumen de tráfico igual a V_0 . Los carriles urbanos podrán soportar un volumen de tráfico que sólo entrará a congestionarlos a partir del nivel V_0' , por efecto de la expansión de la infraestructura común (vías, puentes y parqueaderos). Asimismo, se observa cómo se desplazan las curvas de costo medio y costo marginal de CMe y CMg a CMe' y CMg' , señalando que el impacto de cada vehículo adicional sobre el nivel de automotores V_0' es proporcionalmente menor debido a que ahora la capacidad de las vías es mayor y podrán soportar un número superior de coches en circulación.

La expansión de la infraestructura disminuye, entonces, el precio (costo medio) de los desplazamientos sobre las vías a las horas de mayor tráfico de $V1B$ a $V1'B'$, si se tiene en cuenta que los conductores igualan sus beneficios marginales de manejar durante las horas "pico" con sus costos medios CMe' , en razón a que ellos no cuantifican

Gráfico 9 Impacto de la expansión de infraestructura sobre los niveles de congestión.



los costos marginales, de donde surge un nivel de circulación ineficiente, como V_1' .

El nivel de circulación de eficiencia V^{**} surge de igualar el beneficio marginal privado, representado por la función de demanda de viajes en las horas "pico" D_p , con el nuevo costo marginal CM'_g en el punto A' . V^{**} podría presentarse al colocar una cuota o peaje urbano, equivalente al costo externo que se impone a los demás conductores, es decir internalizando la externalidad negativa causada a los demás.

Cuando el precio de circulación en una hora "pico" es impulsado a la baja se deprime la demanda por viajes en horas "valle" D_v , hasta

$D'v$, en aquellos casos en que los desplazamientos entre horas "pico" y horas "valle" son alternativos. Esta reducción en la demanda de uso de los corredores urbanos en las horas "valle", explicada por la caída en el costo de circulación en las horas "pico" hasta $VI B'$, se ve compensada con el aumento en la cantidad de tráfico demandada en las horas "pico" que ubicó el volumen de circulación en VI . Si esta compensación resultase parcial, es decir si el incremento del aforo en horas "pico" es inferior a la disminución del volumen de tráfico en las horas "valle", en la figura 9, se hubiera presentado un desplazamiento hacia arriba y hacia la derecha de la demanda de viajes en las horas "pico" para compensar completamente la caída en Dv .

Finalmente, debe considerarse el impacto del Tren Metropolitano sobre la demanda de viajes en el sistema tradicional (vehículos de transporte público y privado) en las horas "pico" Dp . La demanda por el uso de las vías urbanas en horas de alto tránsito debe desplazarse hacia abajo y hacia la izquierda hasta $D'p$ como se observa en el gráfico 10, con la consiguiente variación en los niveles de tráfico de VI' a VI'' a la vez que disminuyen los costos de congestión impuestos a los demás operarios sobre la vía.

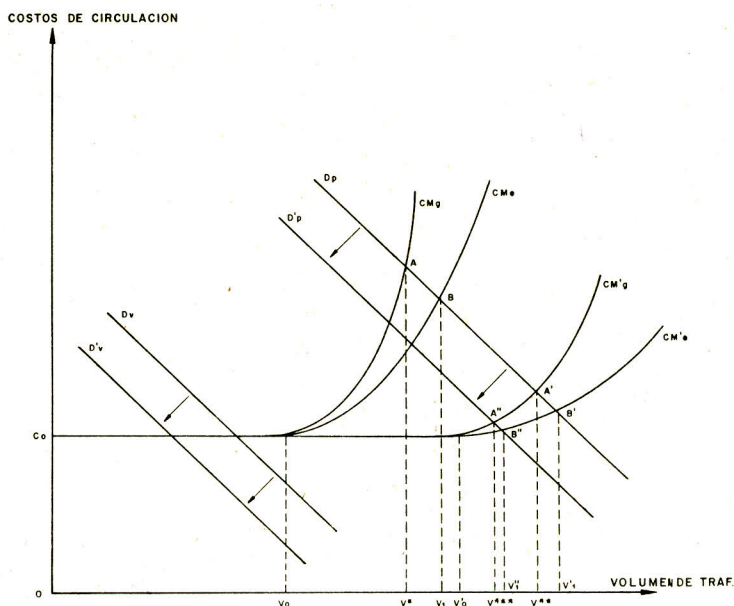
La operación del Metro disminuirá la demanda de viajes en el sistema tradicional, en todo momento, debido a que:

- Las funciones de utilidad de las personas que hoy emplean vehículos privados para superar la distancia espacial se verán afectadas por la ponderación que cobrarán, en ellas, elementos del vector de servicios del Metro reduciéndose de este modo el uso de sus automotores.

- El sistema Metro, una vez consolidado, absorberá cerca del 40% de los pasajeros que hoy se movilizan en vehículos de transporte público lo que hará necesario el retiro de por lo menos 900 buses en los primeros años de operación y evitará la adquisición de 8000 nuevas unidades de este tipo en las tres décadas siguientes a la fecha de entrada en operación.

- Es inminente la internalización de los efectos externos a través del cobro de sobretasas a la gasolina hará más costosa aún la utilización de los vehículos privados, pero que tendrán un impacto redistributivo al permitir subsidiar la tarifa del Metro.

Gráfico 10 Impacto del Tren Metropolitano sobre la demanda de viajes en infraestructura común



Así las cosas, es de esperarse que los propietarios, actuales y futuros de vehículos privados difieran o cancelen sus decisiones de compra y los que ya poseen estos bienes saquen de circulación una proporción de los mismos (los lleven a otras ciudades quizás) o hagan un uso racional de ellos, es decir, se espera que los propietarios de automóviles adopten un comportamiento similar al de los propietarios de vehículos de servicio público.

V. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los efectos externos hacen referencia al caso en el cual las decisiones de un agente (consumidor o empresario) afectan la cotidianidad o actividad permanente de otras personas, quienes reciben indirectamente el efecto, es decir no entregan o reciben compensación alguna por percibir la externalidad, según que esta sea positiva o negativa.

Una de las principales características de los trenes de servicio público urbano es su capacidad de producir beneficios que desbordan el costo de utilizar el sistema o, en otros términos, su potencialidad para producir beneficios externos, y el Tren Metropolitano del Valle de Aburrá no se sustrae a esta realidad internacional.

Los beneficios públicos o efectos externos derivados de la operación y utilización del Metro se relacionan con el aumento en la disponibilidad de espacio vial para los usuarios del transporte público (buses) y privado, lo que genera beneficios en términos de menor congestión, expectativas de accidentalidad y mayor confort, por la reorientación en la demanda por el servicio de transporte público y las obras complementarias que se realizarán con el sistema; la mejora en el paisaje urbanístico por la arborización que se adelantará a lado y lado de las líneas A y B del Metro, así como por la construcción de plazoletas y otras obras que permitirán recuperar el espacio público; la posibilidad de emprender el reordenamiento urbano por la incorporación al desarrollo urbano de áreas que anteriormente carecían de una oportunidad cierta por los altos costos de movilización entre ellas y los sitios de interés económico e institucional; la disminución relativa en los costos de mantenimiento de vías por el menor uso de las mismas; el desarrollo de los sentidos de protección y pertenencia, en la comunidad, con respecto a los bienes públicos; la reducción relativa en los índices de contaminación ambiental por la utilización de energía eléctrica en lugar de combustible, así como por la disminución relativa en los índices de ruido si se compara con los niveles generados por los medios

de transporte público vigente; y, finalmente, con la valorización de los inmuebles ubicados en la zona de influencia de las estaciones y obras complementarias, que a diferencia de los beneficios anteriores no es apropiada por los usuarios directos e indirectos del sistema sino por los propietarios de los predios que, potencial o efectivamente, tendrían un uso nuevo y que se produce por la disminución relativa en los costos de movilización.

Sin embargo, la financiación de estos sistemas rápidos de transporte masivo hace necesaria la introducción de los efectos externos al sistema de precios, es decir la internalización de las externalidades, para subsidiar la tarifa del multiservicio que se cobraría a los usuarios directos y aumentar el número de viajes en Metro lo que permitiría maximizar los beneficios públicos.

Para llevar a cabo la internalización es necesario recurrir a mecanismos de recobro como los impuestos, sugiriendo desde acá, que las tasas y contribuciones establecidas, para ello, consulten la magnitud de los efectos externos tangibles y la capacidad de pago de los beneficiados, de manera que el mayor bienestar social que se obtiene por causa de un sistema de transporte eficiente no sea inferior al bienestar perdido fruto de menores recursos para la ejecución de los presupuestos industriales y familiares.

BIBLIOGRAFIA

Alarcón M, Luis Fernando. Exposición de Motivos "Del Proyecto de Ley por el cual se dictan normas sobre Sistemas de Transporte Público Urbano de Pasajeros y se proveen recursos para su financiamiento". Bogotá 1988.

Bruzelius, Nils A.. "Microeconomic Theory and Generalized Cost." *Transportation* 10, 1.981, págs. 233-245.

Call, Steven y Holahan William, *Microeconomía*. México. Grupo Editorial Iberoamérica. 1985.

Cuesta, José Rafael. *Actualización de Beneficios Socio-Económicos del Tren Metropolitano*. E.T.M.V.A. Documento Técnico, Julio 1987.

BID. *El Transporte Internacional, un enfoque metodológico*. Instituto para la Integración de América Latina. Agosto 1981.

Fernández, J.E. *Curso de Economía de Transporte*. Universidad del Cauca. 1988. (Notas de clase).

Foster, C.D. y Beesley M. E., "Estimación del Beneficio Social de la Construcción de un Ferrocarril Subterráneo en Londres". *El Trimestre Económico. La Economía del Bienestar* No. 9**. México. F.C.E. 1974.

Voigt, Fritz. *Economía de los Sistemas de Transporte*. México F.C.E. 1964.

Hotelling, Harold. "El Bienestar General en relación con los Problemas de Tributación y la Fijación de Tarifas de los Ferrocarriles y Servicios Públicos". *El Trimestre Económico. La Economía del Bienestar* No. 9*. México F.C.E. 1974.

Henderson, J.M. y Quandt R.E., *Teoría Microeconómica, una aproximación matemática*. Barcelona. Editorial Ariel S.A. Tercera edición. 1985.

Jara Díaz, Sergio. "The Estimation of Transport Cost Functions: a Methodological Review". *Transport Review*, 1.982, Vol 2, No.3. págs 257-278.

Laffont, Jean Jacques. *Curso de Teoría Microeconómica. Fundamentos de Economía Pública. Vol I*. Bilbao. Desclée de Brouwer, S.A. 1.984.

Sauce de Wormald, Elsa y Osuna Edgar E., "Punto de Vista del Usuario sobre el Nivel de Servicio". *Revista dos Transportes Públicos* 41. Sao Paulo. ANTP. Año 10 set 88

Nath, S.K. *Reappraisal of Welfare Economics*. London. Routledge and Keganpaul, 1969.

Quirk, James P. *Microeconomía*. Barcelona. Antoni Bosch, Editor. 1984.

Quirk J. y Saposnik R., *Introducción a la Teoría del Equilibrio General y a la Economía del Bienestar*. Barcelona. Antoni Bosch, Editor. 1979.

Rees, Ray. *Economía de la Empresa Pública*. London School of Economics. Handbooks in Economics Analysis. Londres. Weidenfeld and Nicholson Ltd. 1976.

Ridley, Tony M. y Fawkner John. "Participação dos Beneficiários Indiretos no Financiamento dos Transportes Urbanos". *Revista dos Transportes Públicos* 40. ANTP. Ano 10 junio 88.

Varian, Hal. *Análisis Microeconómico*. Barcelona. Antoni Bosch, Editor. 1980.

Victor, Peter A. *Economía de la Polución*. Colección MacMillan. Vicens-Vives de Economía. The MacMillan Press. 1974.

Walters, A.A., "Congestion". *The New Palgrave a Dictionary of Economics*. Edited by John Eatwell, Murray Milgate and Peter Newman.

Winston, Clifford. "Conceptual Developments in the Economics of Transportation: An Interpretive Survey". *Journal of Economic Literature*. March 1985.