TARIFAS OPTIMAS EN TRANSPORTE PUBLICO PROGRAMADO

Sergio R. Jara-Díaz y Antonio Gschwender
Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil
Casilla 228-3, Santiago, Chile
Fono: 6894206 Fax: 6718788 E-mail: jaradiaz@cec.uchile.cl

RESUMEN

A pesar de la enorme importancia relativa del transporte público en gran cantidad de ciudades, poco se ha hecho por entender las consecuencias de analizar su financiamiento en un marco microeconómico de uso óptimo de los recursos. En este artículo se muestra el impacto de considerar los costos de usuarios y operadores en el análisis del transporte público programado, enfatizando el nivel de tarifas óptimas y sus consecuencias financieras. Se discute el rol de las diversas componentes del costo y se entrega un ejemplo empírico. Se muestra las consecuencias sobre las tarifas y la necesaria emergencia de subsidios. Se desarrolla un modelo sencillo y se aplica a condiciones promedio representativas de Santiago, lo que permite comparar y discutir las características operativas y financieras de la situación actual.

1. INTRODUCCION

En el último tiempo se ha puesto particular énfasis en el problema de la tarificación vial, asociada a la existencia de costos medios crecientes a partir de ciertos volúmenes vehiculares. En este caso, el real costo generado por un automóvil adicional en el flujo, o costo marginal, es superior al medio y la diferencia es precisamente lo que debe cobrarse para inducir uso óptimo del espacio vial disponible. Tal práctica es importante no sólo por su impacto de corto plazo (mínimo tiempo total de viaje) sino porque se traduce en un uso de la red que refleja las reales necesidades de inversión. Este análisis tiene, como componente fundamental, la incorporación del tiempo de los usuarios en el esquema de costos que sirve de base al estudio de las tarifas.

En este documento se muestra el análisis equivalente, basado en los mismos principios, aplicado al transporte público programado (*scheduled*), caso en el cual operadores y usuarios son individuos distintos (a diferencia de la situación anterior), lo que hace relevante no sólo el estudio de las tarifas óptimas, sino también el resultado financiero para los operadores. En el punto siguiente se presenta el análisis de costos correspondiente a transporte público, con todas sus componentes, considerando sistemas programados (frecuencia fija y conocida en rutas establecidas) y optimizados. Luego mostramos el impacto que este análisis tiene tanto sobre el cálculo de tarifas óptimas como sobre los beneficios privados de los operadores en general, para luego desarrollar un modelo simple que permite formular y presentar un ejemplo numérico, usando datos promedio de Santiago. Finalmente, se discute las limitaciones y alcances del análisis y de los resultados obtenidos.

2. LOS COSTOS EN TRANSPORTE PUBLICO

2.1. Aspectos generales

Si bien los conceptos de gasto y costo son similares en tanto ambos reflejan equivalentes monetarios de uso de recursos por unidad de tiempo, la función de costos en términos microeconómicos supone un proceso de optimalidad en la combinación de recursos, es decir, refleja el mínimo gasto necesario para generar un cierto volumen de producto. El proceso de minimización implica la búsqueda de cantidades óptimas de insumos.

En el caso de transporte en general, hay que considerar dos tipos de insumo: aquéllos asociados a los operadores y aquéllos asociados a los usuarios. Los primeros reflejan gastos en elementos de vías, vehículos y terminales, incluyendo combustible, repuestos, materiales, mano de obra, etc., y considerando también la adquisición de equipo y la construcción de infraestructura. Los insumos aportados por los usuarios pueden sintetizarse en el tiempo que ellos deben aportar para que los viajes efectivamente se realicen: en el vehículo, de espera y de acceso.

Por otra parte, hay dos elementos que sirven para definir las condiciones físicas y económicas del análisis de costo en la operación de transporte público. Ellos son ruta y flota. Como ya se ha visto, el estudio de costos que es relevante para la definición de políticas debe incorporar tanto los costos de operadores como los de los usuarios. Por esta razón, las variables básicas relacionadas con ruta y flota desde el punto de vista de costos, son aquéllas que inciden en forma importante en cualquiera de ellos (o en ambos). Así, lo relevante de una ruta es su longitud, su localización relativa a otras rutas (espaciamiento), y el número de paraderos, en tanto que las dimensiones relevantes de la flota son el número de vehículos (que opera principalmente a través de la frecuencia) y el tamaño (capacidad) de cada uno de ellos.

Esta somera descripción es suficiente para asociar las dimensiones de ruta y flota al plazo de análisis del costo. Debe recordarse que la concepción económica del plazo dice relación con la posibilidad de adaptar insumos a los niveles de demanda, de forma tal que el largo plazo es aquel en que todo factor es variable, en tanto que el corto plazo es aquel en que no es posible variar el nivel de uno o más factores, los que normalmente se asocian a la idea de tamaño de la firma.

Hay casos en que las tres dimensiones de la ruta están fijas por razones fundamentalmente físicas, y son muy difíciles de variar ante cambios mensuales o incluso anuales de la demanda. Es el caso de ferrocarriles urbanos, donde frecuencia y tamaño (largo del tren) se convierten en las variables de operación más inmediatas. En el caso de buses, son factores institucionales los que actúan para definir recorridos relativamente estables, aunque longitud, espaciamiento y paradas sean dimensiones de fácil manejo físico; la frecuencia es una variable de gran potencial como herramienta operativa de sencilla adaptación, en tanto que el tamaño de los vehículos tiene alternativas tan discretas que estimulan decisiones muy espaciadas en el tiempo, y de difícil reversibilidad. Evidentemente, la flexibilidad de los elementos de ruta y flota aumenta inversamente con el tamaño (y valor) del vehículo: metro, tranvía, bus, colectivo.

2.2. Estructura de costos

Para presentar en forma sintética el comportamiento o estructura de los costos totales de transporte público, es mucho más adecuado e intuitivo hacerlo para cada componente por separado, es decir, costos de los operadores y costos de los usuarios, pues el impacto sobre cada uno de ellos de la adaptación de vías, vehículos y/o terminales a la variación de la demanda es de muy distinta naturaleza.

Si se consideran los recursos aportados por los operadores, hay costos de operación y de capital. Los primeros incluyen costos de servicio, mantenimiento y administración, en tanto que los segundos están asociados a infraestructura y equipo rodante. Como se verá luego, un análisis detallado de la variación de estos costos con la demanda para diversos modos de transporte público masivo con estructura de ruta conocida, genera curvas de costo medio decreciente en todo el rango relevante salvo para el bus, que a partir de unos 12.000 pasajeros diarios exhibe costos medios constantes para el operador (Allport, 1981). Tranvías y ferrocarril urbano (elevado y subterráneo) difieren en los niveles de costo medio, pero no en su forma, la que es posible explicar en breve por el mayor costo de inversión en equipos y vías, y el menor costo de operación a partir de volúmenes significativos de pasajeros.

En cuanto al valor de los recursos aportados por los usuarios, los costos están asociados a los tiempos de viaje (en el vehículo, de espera y de acceso al sistema) y a las respectivas valoraciones o precios sociales, los que en primera aproximación pueden considerarse independientes del volumen de viajeros. Cada componente tiene clara relación con los diversos elementos de ruta y flota. Así, el tiempo medio de viaje en el vehículo no aumentará por interacción entre vehículos en aquellos casos en que la congestión no puede estar presente debido a la existencia de rutas fijas y segregadas (corredores de buses, tranvías, ferrocarril), aunque debe considerarse que existirá una frecuencia máxima factible. Sin embargo, no sólo la congestión vehicular provoca tiempos medios crecientes de viaje; la subida de pasajeros a un vehículo también provoca demoras adicionales a quienes han subido antes. Este fenómeno tendrá un interesante efecto en la determinación de tarifas óptimas.

Como ya se dijera, la adaptación (aumento) de frecuencia es el mínimo ajuste al uso de insumos ante aumentos en la demanda, si se trata de vehículos de capacidad conocida y fija. Por este motivo, el tiempo medio de espera disminuye con el flujo. Por último, en los casos en que el diseño de rutas es adaptable, el aumento relativamente homogéneo de la demanda en el espacio urbano provocaría una densificación de las rutas de transporte público, induciendo una disminución de los tiempos de acceso a los paraderos.

En síntesis, de las tres componentes de tiempo que constituyen el aporte de recursos de cada usuario (costo medio), una tiende a ser creciente por congestión vehicular y subida de pasajeros, otra disminuye siempre con el volumen de usuarios, y la tercera disminuye si hay posibilidad de rediseños de ruta. De este análisis cualitativo, cuyo resultado pareciera depender del modo específico de transporte público que se analice, resulta en realidad un esquema que es común a todos.

En efecto, el más flexible de los modos masivos (bus) es el que presenta mayor probabilidad de congestión o aumento del tiempo de viaje por interacción vehicular a partir de ciertos volúmenes, pero también es el que puede responder con más facilidad a la densificación de rutas por aumentos de demanda, provocando menores tiempos de acceso. Por otra parte, los modos con estructura de ruta menos flexible (tranvía) o inflexible (metro) tienen efectos pequeños (tranvía) o nulos (metro) sobre la congestión. Es decir, en el primer caso las variaciones en los tiempos de viaje y acceso ante aumentos en la demanda tienen distinto signo, y en el segundo caso son pequeñas o nulas. Luego, es el efecto de espera media el que prevalece, generando una curva de costos medios de usuarios decrecientes con el flujo en todos los casos.

La gran conclusión es que **la suma de costos de los operadores más costos de los usuarios arroja un costo total que aumenta menos que proporcionalmente con el número de pasajeros si el sistema opera en forma adecuada**. Como la existencia de costos medios decrecientes implica costos marginales menores que los medios, el esquema resultante es exactamente el opuesto al caso del automóvil, lo cual tendrá un impacto fundamental en el análisis de tarifas óptimas.

Lo anterior es ilustrado por la figura 1 (Allport, 1981), obtenida de una comparación intermodal de costos para tres sistemas de transporte público urbano (bus, tranvía y metro). En ella se muestra el costo de los operadores y la suma de éste con el costo de los usuarios en función de la demanda. Este análisis corresponde a un corredor de 8 kilómetros que llega al centro de la ciudad. La información acerca de costos de operación, mantención y administración se obtuvo de una empresa que opera los tres modos en Rotterdam, Holanda. Se supone que los vehículos son de tamaño y capacidad similar a los utilizados por esa empresa (los buses tienen capacidad para 72 personas, por ejemplo). Las frecuencias son determinadas de forma de obtener una ocupación máxima del 90%, sujeto a intervalos no mayores a 15, 20 y 30 minutos para los períodos punta, entre-punta y fuera de punta respectivamente.

3. ANALISIS TARIFARIO

3.1. Tarifa monetaria óptima

Como se ha visto, en el caso del transporte público programado (es decir, aquel cuyas variables de operación han sido optimizadas de acuerdo a la demanda), los costos medios son decrecientes tanto para los operadores como para los usuarios, lo que implica varias relaciones relevantes. En síntesis:

a) los costos medios totales son decrecientes,
b) los costos marginales de los operadores (CMg_O) son menores que los medios (CMe_O),
c) los costos marginales de los usuarios (CMg_U) son menores que los medios (CMe_U) y
d) los costos marginales totales son menores que los medios.

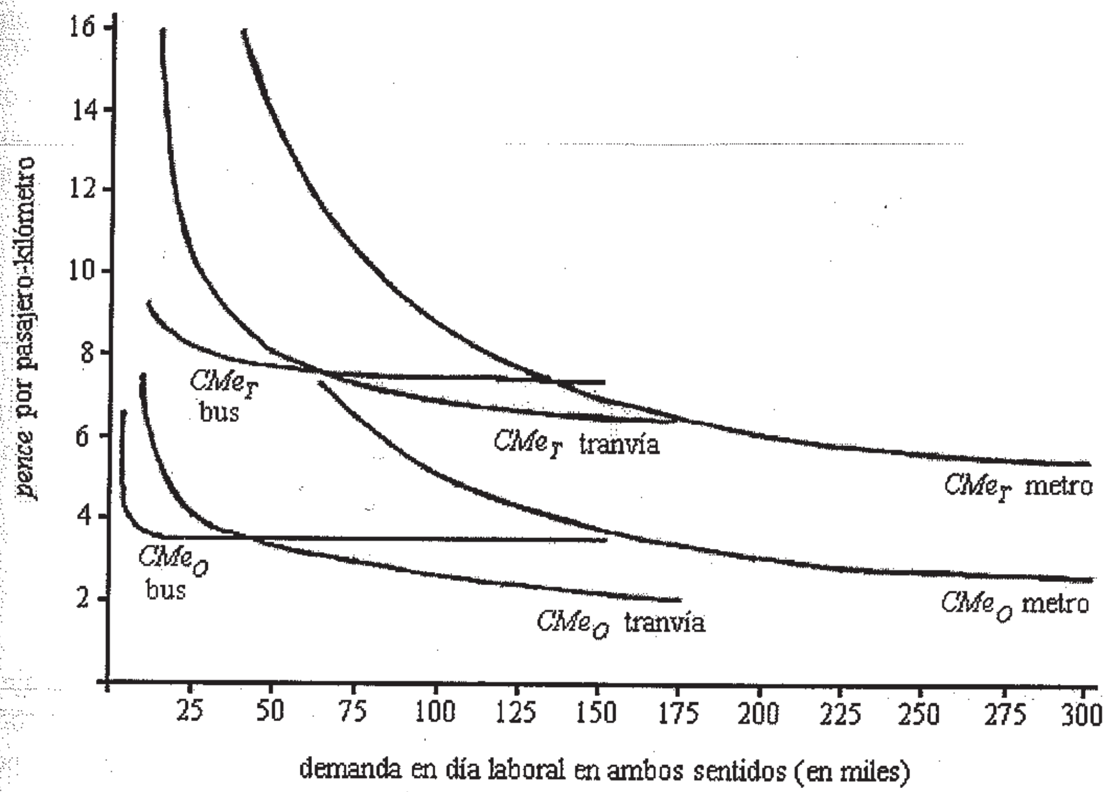

Figura 1: Costos medios en transporte público (Allport, 1981).

En la figura 2 se representa genéricamente los costos medios de los usuarios y los costos marginales totales. Se representa allí también una curva de demanda agregada de usuarios de transporte público.

Como es sabido, los precios óptimos irrestrictos están dados por los costos marginales totales, cuyo nivel está determinado por la intersección de la curva de demanda con $CMg_U + CMg_O$. Este precio es el que debe cobrarse a los usuarios para lograr una asignación óptima de recursos. Sin embargo, de este precio total hay que deducir lo que los usuarios ya están pagando, que es el valor monetario de sus tiempos de viaje, espera y acceso, reflejado y sintetizado por el costo medio de los usuarios CMe_U. De esta forma, al añadir una tarifa monetaria P^* a CMe_U se alcanza el total relevante que induce una demanda óptima Y_B^*. Cabe preguntarse si este monto por pasajero cubrirá los costos de los operadores o, en forma equivalente, si P^* es mayor que los costos medios de los operadores, CMe_O.

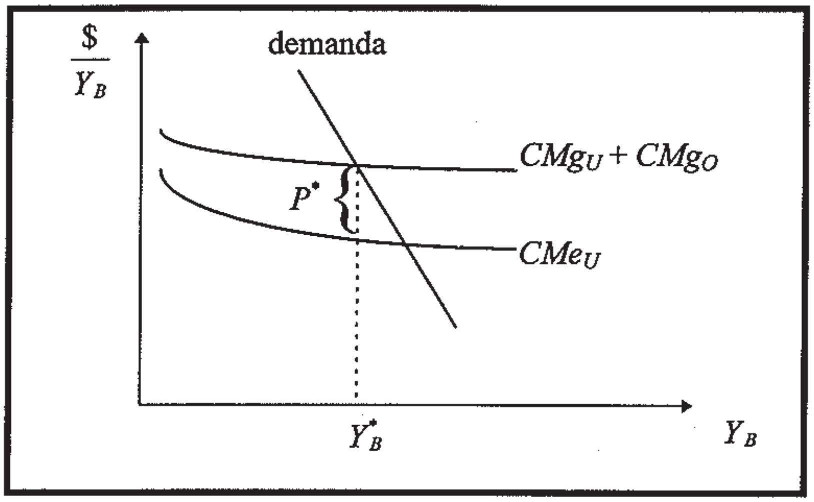

Figura 2: Tarifa óptima en servicios de transporte público.

3.2. Resultado financiero

Para encontrar una relación no ambigua entre la tarifa monetaria (valor óptimo del pasaje) y los costos medios de los operadores, es necesario imponer las condiciones deducidas para todos los sistemas de transporte público sintetizadas anteriormente, es decir, $CMe_O > CMg_O$ y, por otra parte, $CMe_U > CMg_U$. Además, hemos visto que $P^* = (CMg_O + CMg_U) - CMe_U$. Esta última ecuación puede ser vista como

$$P^* = CMg_O + (CMg_U - CMe_U)\,. \qquad (1)$$

La expresión en paréntesis es negativa, lo que hace que P^* sea menor que CMg_O, el que a su vez es menor que CMe_O. Esto demuestra finalmente que

$$P^* < CMe_O\,, \qquad (2)$$

lo que indica que la tarifa monetaria óptima en un servicio de transporte público programado no será suficiente, en general, para cubrir los costos de los operadores. Este resultado muestra la necesidad de subsidios (o de tarifas distintas de las óptimas), cuyo nivel óptimo en servicios programados y optimizados está dado por $CMe_O - P^*$.

Cabe hacer notar que el desarrollo anterior (agregado) puede ser examinado en términos de los componentes de costos de usuarios para ser extendido a demandas desagregadas espacialmente.

4. UN MODELO SIMPLE

4.1. Función de costo

Siguiendo a Jansson (1984), consideremos un sistema de transporte (buses) que cubre un recorrido total de L kilómetros con una flota de B vehículos, operando a una frecuencia f. El servicio es usado por un total de Y pasajeros por hora, los que viajan un promedio de l kilómetros cada uno. Si T es el tiempo en movimiento de un vehículo en un ciclo y t el tiempo que demora un pasajero en subir y bajar de un bus, el tiempo de ciclo t_c esta dado por

$$t_c = T + t\frac{Y}{f} . \tag{3}$$

Por otra parte, la frecuencia resulta de la razón entre el tamaño de la flota y el tiempo de ciclo (B/t_c) lo que permite calcular

$$f = \frac{B - tY}{T} . \tag{4}$$

Si c es el costo por hora-bus para el operador y P_v y P_e son los valores (precios) del tiempo de viaje y espera respectivamente, entonces el costo total CT es

$$CT = Bc + P_e\frac{Y}{2f} + P_v\frac{BF}{f} , \tag{5}$$

donde F es el flujo medio de pasada de pasajeros en un tramo cualquiera del recorrido, dado por $Y(l/L)$. Si se reemplaza la relación (4) en el costo total, es posible encontrar el tamaño óptimo de la flota B^* para un recorrido de características dadas (es decir, L, l e Y conocidos), a partir del cual se puede encontrar la frecuencia óptima f^*, que resulta ser

$$f^* = \sqrt{\frac{Y}{cT}\left(\frac{1}{2}P_e + P_v tY\frac{l}{L}\right)} \tag{6}$$

y que es conocida como la *fórmula de la raíz cuadrada* (Mohring, 1972; Jansson, 1984).

Este tipo de optimalidad es lo que convierte la ecuación de gasto (5) en una función de costo, ya que se ha encontrado una forma de operar y un tamaño de flota que minimizan el gasto. Al reemplazar f^* y B^* en CT se obtiene la función de costo (7), que depende del nivel de producción Y, de los precios de factores c, P_v y P_e, y de los datos que describen físicamente el sistema.

Definiendo las constantes $A_e = \frac{P_e}{2cT}$ y $A_v = \frac{P_v t l}{cTL}$, la función de costo es

$$CT = c\left(T\sqrt{A_e Y + A_v Y^2} + tY\right) + P_e \frac{Y}{2\sqrt{A_e Y + A_v Y^2}} + P_v Y \frac{l}{L}\left(T + \frac{tY}{\sqrt{A_e Y + A_v Y^2}}\right). \qquad (7)$$

El primer término del lado derecho de la ecuación (7) corresponde al costo del operador, el segundo al costo del tiempo de espera de los usuarios y el último al del tiempo de viaje.

En este modelo se ha hecho varios supuestos; en particular, la capacidad de cada vehículo se considera suficiente para el número de pasajeros por bus. Además, se consideró fija explícitamente la longitud de la ruta, e implícitamente el espaciamiento entre ellas y el número de paraderos. La única dimensión variable es el número de vehículos. No se incluyó en la función de costo el tiempo de acceso ya que, dado que se asumen fijas las características de la ruta, no es relevante para efectos de optimización del servicio ni determinación de tarifas óptimas. A pesar de estas simplificaciones, el modelo en esta versión es suficiente para hacer notar algunos puntos importantes.

En primer lugar, la frecuencia óptima resulta variar en forma proporcional a la raíz de la demanda total si el segundo término del paréntesis en la ecuación (6) es despreciable frente al primero, pero puede variar hasta proporcionalmente a la demanda si ocurre lo contrario. En segundo lugar, analizando componente a componente el mínimo gasto social necesario para mover una cantidad Y de pasajeros por hora, se obtiene que para los costos del operador y del tiempo de espera resultan costos medios decrecientes con Y o, lo que es equivalente, costos marginales menores que los medios. En cambio, en el caso del tiempo de viaje los costos medios son crecientes con Y. Por lo tanto, no es posible pronunciarse *a priori* con respecto a la existencia de economías de escala en el costo total.

El motivo por el cual el costo medio del tiempo de espera resulta decreciente con la demanda es que al aumentar ésta se incrementa la frecuencia, por lo que el tiempo medio de espera disminuye. Por su parte, el hecho de que el costo medio de los operadores también sea decreciente, se debe a que el aumento en la frecuencia es menos que proporcional al incremento en Y, por lo que crecen los tamaños de embarque generándose un menor costo para el operador por pasajero transportado (recordar que se asume un costo por hora-bus independiente de la ocupación del vehículo). Por último, el costo medio del tiempo de viaje de los usuarios crece con la demanda, exclusivamente (en este modelo) porque al aumentar los tamaños de embarque los vehículos deben permanecer más tiempo en los paraderos para permitir que los pasajeros suban y bajen, lo que incrementa el tiempo en el vehículo.

4.2. Simulación numérica

A partir de las expresiones de la frecuencia óptima y la función de costo se simuló numéricamente una ruta de buses para una situación promedio en Santiago. Se obtuvo expresiones analíticas para cada componente de los costos medios y marginales, a partir de las cuales fue posible encontrar valores para la tarifa óptima según lo visto anteriormente.

Como representación aproximada de las características físicas de un recorrido de buses se consideró datos promedio de Santiago (que **no** corresponde a un sistema programado y optimizado en el sentido antes descrito): una longitud de ruta de 60 kilómetros, una distancia media de viaje de los pasajeros de 10 kilómetros, una velocidad comercial de 20 kilómetros por hora (incluyendo el tiempo perdido en maniobras de frenado y aceleración en los paraderos, pero sin incluir el tiempo que demoran los pasajeros en subir y bajar) y un tiempo de subida y bajada de 5 segundos por pasajero. Con respecto al precio de los factores, se asumió un costo de $4.467 por hora-bus (costo de operación y depreciación de vehículos)[1] y un valor subjetivo de $2.000 por hora para el tiempo de viaje y de $6.000 por hora para el de espera (más adelante se sensibiliza drásticamente con respecto a estos valores). Para la estimación del costo por hora-bus se consideró que, en promedio, cada bus lleva 500 pasajeros por día y opera durante 15 horas diarias. (Jara-Díaz, 1996 y elaboración propia, a partir de información generada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.)

En la figura 3 se presenta, en función de la demanda, los costos medios tanto de los operadores como de los usuarios (espera y viaje) y totales. A pesar de que el costo medio de viaje es creciente con la demanda, el costo medio total resulta decreciente, lo que permite afirmar que existen economías de escala en el costo total, marcando una diferencia importante con el caso del automóvil. Este resultado ya había sido anunciado por Mohring (1976) a través de un modelo numérico aplicado a una situación típica de un país desarrollado.

Para efectos de calcular frecuencia y tarifa óptimas, se consideró una demanda de 1.600 pasajeros por hora en toda la ruta; esta demanda corresponde a un promedio a lo largo de todo un día, suponiendo que, en promedio, dos líneas sirven una misma ruta. (Este valor se obtiene sobre la base de 500 pasajeros por bus-día y 15 horas de circulación.) Para este nivel de demanda, el modelo arrojó una frecuencia óptima de 22 buses por hora, lo que genera un intervalo de aproximadamente 3 minutos entre vehículos. De esta forma se produce un tamaño medio de embarque (k^*) de 12 pasajeros por bus. Cabe señalar que las frecuencias promedio observadas en Santiago (del orden de 8 buses por hora en una línea, es decir, 16 buses por hora en una ruta servida por dos líneas) son algo menores que las que minimizarían el consumo de recursos, por lo que los intervalos entre buses, y con ello los tiempos de espera, son algo mayores que los óptimos en promedio. Por otra parte, los buses de 40 asientos comúnmente utilizados en Santiago cumplen con el supuesto implícito del modelo en cuanto a capacidad.

La figura 4 contiene los elementos necesarios para calcular las tarifas óptimas y su impacto financiero; esto es, el costo marginal total y el costo medio tanto de los usuarios como de los operadores. Además se presenta el costo medio total, que ayuda a visualizar el subsidio óptimo. Para el caso particular de la demanda promedio antes indicada (línea segmentada en la figura 4) se calculó los costos medios y marginales resumidos en la tabla 1, a partir de los cuales se obtiene una tarifa óptima irrestricta de $40. La diferencia con el costo medio de los operadores es de $135, que constituye el subsidio por pasajero necesario para inducir el uso óptimo de los recursos.

[1] Cabe observar que este nivel de gasto por hora-bus implica un costo medio igual a la tarifa vigente en 1991.

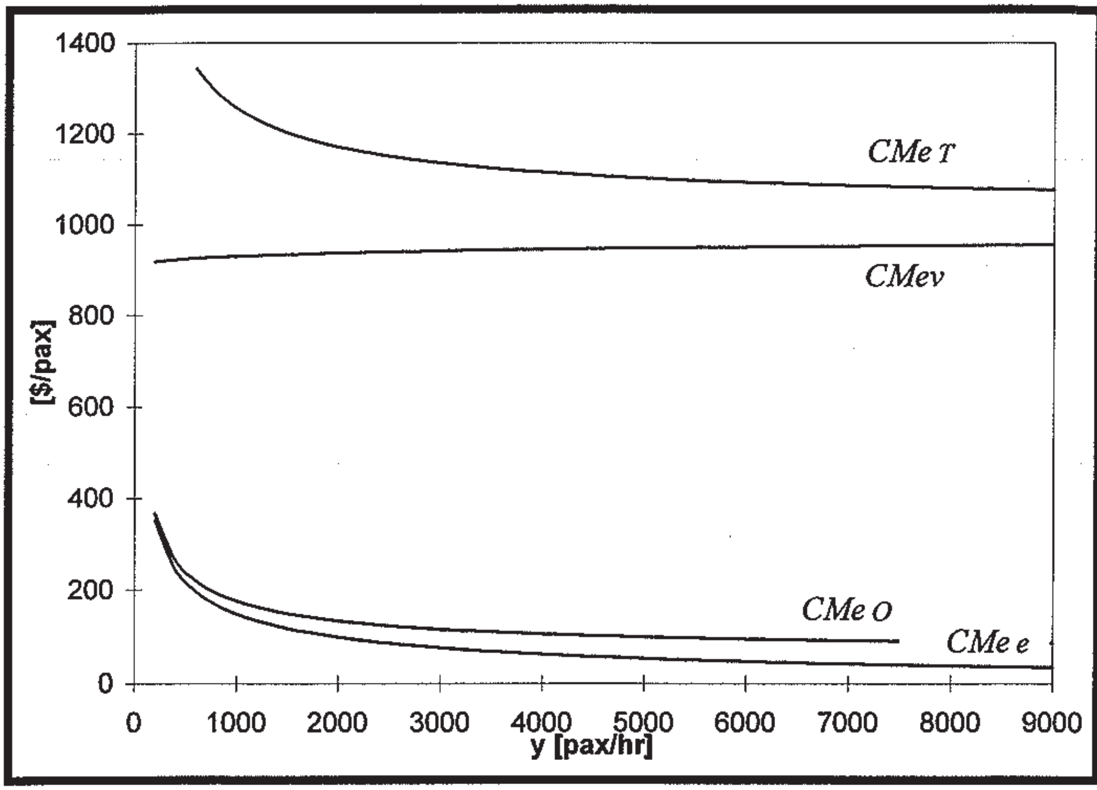

Figura 3: Costos medios arrojados por el modelo (pesos de 1997).

Este subsidio representa un 77,4% del costo medio de los operadores. En la figura 4, la tarifa óptima es la diferencia entre las curvas CMg_T y CMe_U, mientras que el subsidio óptimo resulta de la diferencia entre CMe_T y CMg_T. Puede apreciarse que el subsidio por pasajero disminuye al aumentar el nivel de demanda, al contrario de la tarifa óptima, que crece.

Ante una disminución drástica de los valores subjetivos del tiempo a un 30% de los utilizados previamente, la tarifa óptima se reduce a $25, mientras que el subsidio por pasajero baja a $74, lo que representa un 75,1% del costo medio de los operadores.

Dado que el modelo arroja tamaños de embarque relativamente pequeños, lo que implica que el tamaño de los buses podría ser menor que el utilizado para estimar el costo unitario de operación, es posible que se esté sobreestimando el costo de la hora-bus. Además, el valor de $4.467 por hora-bus utilizado se estimó acercándose a una cota superior (ver nota 1). Por otra parte, los valores del tiempo son parámetros muy variables (según el tipo de persona, el propósito del viaje, etc.) y aparentemente de gran relevancia para los resultados numéricos. Por estos motivos se realizó un análisis de sensibilidad *ceteris paribus* con respecto a estos y otros parámetros. Los resultados se muestran en la tabla 2, en la que S^* es el subsidio óptimo por pasajero y μ la razón entre este subsidio y el costo medio de los operadores, expresada como porcentaje. Este último término resulta ser particularmente poco sensible ante las variaciones de los parámetros, en un contexto en que todos los indicadores resultan con elasticidades absolutas menores que uno al cambio correspondiente.

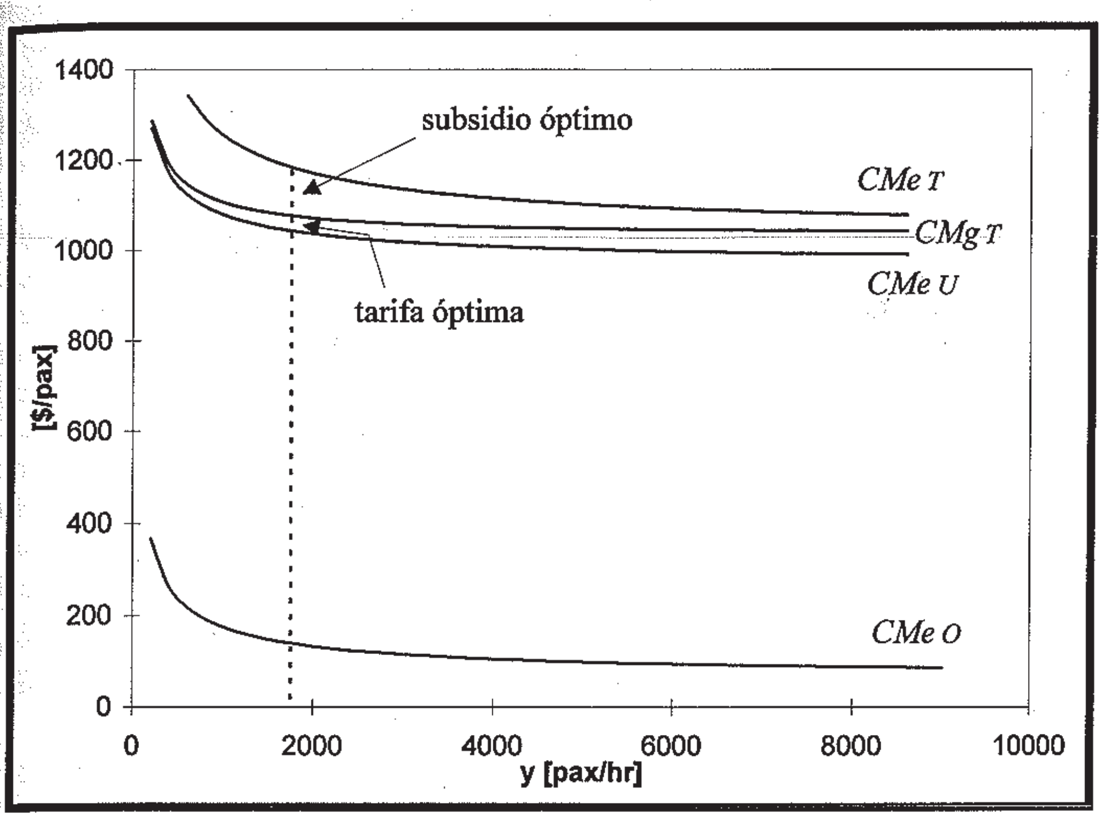

Figura 4: Tarifa y subsidio óptimos (pesos de 1997).

Tabla 1.
Costos medios y marginales (pesos de 1997).

	Operador	Usuarios	Total
CMe	**175**	**1.076**	1.251
CMg	107	1.009	**1.116**

5. ANALISIS Y CONCLUSIONES

Al introducir el costo de los usuarios (tiempo) en el análisis microeconómico del transporte público programado, se obtiene un efecto opuesto al que se observa en el transporte privado. Esta conclusión general es de gran importancia por su impacto sobre los niveles tarifarios óptimos y la necesidad de subsidios. En este sentido, y a pesar de su simplicidad, el modelo aplicado a una situación en la que se utilizan características promedio observadas en Santiago resulta muy ilustrativo (cabe hacer notar que dicho modelo arroja costos medios de operación comparables a los obtenidos empíricamente por Allport (1981) y reportados en este análisis). A continuación se muestra todas aquellas dimensiones incorporadas en forma débil en el ejemplo, las cuales tendrían efectos de distinto signo sobre los resultados económicos y operativos.

Tabla 2.
Análisis de sensibilidad.

Parámetro que cambia	Modificación [%]	Impacto sobre los resultados del modelo f^* [bus/hr]	k^* [pax/bus]	P^* [\$/pax]	S^* [\$/pax]	μ [%]
-		22,2	12,0	39,6	135,2	77,4
l	-10	22,0	10,9	36,6	136,6	78,9
L	-10	22,4	13,2	42,9	133,8	75,7
t	-10	22,0	12,1	35,9	136,6	79,2
T	-10	23,4	11,4	37,9	128,3	77,2
P_v y P_e	-70	12,2	21,9	24,5	74,1	75,1
c	-10	23,4	11,4	37,3	128,3	77,5
c	-30	26,5	10,1	32,3	113,1	77,8

El modelo aquí presentado puede ser mejorado en una serie de aspectos. En un modelo más completo debería considerarse la optimización de otras variables de control como el tamaño de los buses y el diseño de las rutas. El supuesto de demanda inelástica es una limitación, ya que, por ejemplo, para la situación promedio utilizada en el ejemplo se obtiene una frecuencia mayor que la observada y una tarifa menor que la vigente, lo que obviamente produciría un aumento en la demanda. Por otra parte, al suponer que la demanda es homogénea a lo largo de la ruta se obtiene una tarifa plana en el espacio, no siendo posible observar cómo ésta varía en función de la cantidad de personas que hay en el bus cuando el pasajero sube y baja, y cómo influye el ocupar espacio dentro del bus sobre la tarifa óptima (Turvey y Mohring, 1975; Jansson, 1984). En esa misma dirección sería conveniente considerar un valor variable para el tiempo de viaje (que aumente con el número de pasajeros en el bus) para tener en cuenta efectos de hacinamiento (e. g. Kraus, 1991). La demanda considerada en el modelo corresponde a un promedio a lo largo de todo un día, por lo que no representa ni un período punta ni uno fuera de punta. Si se quisiera considerar diferentes períodos, se requeriría un modelo más complejo en el que se incluya variables fijas para todos los períodos, como diseño de la ruta o tamaño de los vehículos, y otras que puedan cambiar de un período a otro, como frecuencia, costo de la hora-bus o tarifa (e. g. Jansson, 1980).

Por otra parte, el modelo asume que la velocidad de recorrido (crucero) de los buses es un dato, despreciando el posible impacto que un aumento en la frecuencia puede tener sobre la congestión. Además, no se considera el tiempo de los usuarios de otros modos que comparten la vía con los buses (principalmente los automovilistas), lo cual tiene dos posibles efectos, uno de los cuales es una subestimación de las deseconomías de escala en el tiempo de viaje de los usuarios (Kerin, 1992). No obstante, la inclusión del tiempo de los automovilistas podría ir acompañada de un tratamiento más amplio de la demanda, considerando elasticidad en la partición modal. Así, un aumento en la demanda de los buses podría implicar una disminución del número de autos que comparten la vía con éstos, llegándose a un equilibrio en el que la velocidad del flujo podría haber aumentado.

Si bien no se incluye en el análisis las externalidades generadas por los buses como contaminación y daño del pavimento, cuya inclusión aumentaría la tarifa óptima y disminuiría el subsidio por pasajero y la frecuencia óptima, tampoco se considera el efecto positivo sobre los usuarios de otros modos de disponer del bus aunque no lo usen (*option values*), que tendría una incidencia contraria. Por otra parte, asumir que el tiempo medio de espera es la mitad del intervalo entre buses significa suponer que los usuarios no conocen el horario de los buses, lo cual es discutible cuando la frecuencia es baja (aunque representa bien el caso de Santiago). En esos casos se estaría sobreestimando los tiempos de espera y con ellos la frecuencia óptima. Por último, se asume en el modelo que todos los insumos y demás modos están tarificados óptimamente. Si se acepta, por ejemplo, que el auto esté subtarificado, disminuiría la tarifa óptima del bus y aumentaría el subsidio necesario.

En síntesis, se ha mostrado aquí que el análisis microeconómico del transporte público está lejos de constituir una simple extensión de la teoría de la producción. La discusión cualitativa presentada muestra el tipo de factores a considerar y conduce a concluir que se requiere una visión renovada del problema. Aun si se decide mantener esquemas incompatibles con un primer óptimo, el conocimiento más estricto del problema y la consideración de todos los elementos involucrados deberá conducir a planteamientos más completos al tocar un tema tan relevante como el del desplazamiento de la población en áreas urbanas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por FONDECYT (proyecto 1950737).

REFERENCIAS

Allport, R. J. (1981) The costing of bus, light rail transit and metro public transport systems. **Traffic Engineering and Control 22,** 633-639.

Jansson, J. O. (1980) A simple bus line model for optimization of service frequency and bus size. **Journal of Transport Economics and Policy 14,** 53-80.

Jansson, J. O. (1984) **Transport System Optimization and Pricing.** John Wiley & Sons.

Jara-Díaz, S. R. (1996) The role of pricing in the Santiago public transport system. **Estudios de Economía 23,** 59-75.

Kerin, P. D. (1992) Efficient bus fares. **Transport Reviews 12**, 33-48.

Kraus, M. (1991) Discomfort externalities and marginal cost transit fares. **Journal of Urban Economics 29,** 249-259.