



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS  
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN**

**MODELO DE SUBSIDIO ÓPTIMO AL  
TRANSPORTE PÚBLICO**

**Seminario de Título INGENIERO COMERCIAL  
Mención Economía**

**María Luisa Maino Vergara  
Ana Teresa Muñoz Delgado**

**Profesor Guía:  
Andrés Gómez-Lobo**

**Santiago de Chile  
Enero 2010**

# Abstract

El objetivo de esta tesis es plantear un modelo de subsidio óptimo al transporte público, incluyendo el efecto de las economías de escala y de las externalidades. Considerando que el transporte privado es un sustituto al transporte público, logramos obtener una solución second-best, donde mediante el incentivo del sistema público logramos desincentivar el uso del transporte privado. De este modo, y sin considerar el efecto de las economías de escala, nuestro modelo final logra expresar el subsidio óptimo en función de un impuesto al transporte privado, el impuesto a los combustibles.

# Introducción

El tema del transporte público ha causado una gran controversia en Chile en los últimos años, principalmente debido al sistema de transporte público que fue implementado el año 2007 en Santiago, más conocido como Transantiago. La implementación de este nuevo sistema que buscaba modernizar el transporte público de la capital a través de un sistema integrado, eficiente, seguro y moderno como también sustentable desde una perspectiva ambiental, económica y social causó un gran debate dentro de la opinión pública, quedando así en evidencia el importante papel que juega el transporte público en la sociedad y la gran cantidad de variables relevantes que se deben tener en cuenta al diseñar una reforma del sistema de transporte público en una ciudad.

Aunque originalmente el Transantiago fue diseñado como una reforma autofinanciada, ante las dificultades en su implementación las autoridades decidieron congelar la tarifa hasta que el sistema de transporte público se normalizara. Esto más el aumento del precio de los insumos, particularmente del combustible, y el hecho de que hubo un aumento de la flota de buses en circulación con el fin de aumentar la cobertura y la frecuencia de éstos, generó un creciente déficit operacional.

Este déficit, ha sido un tema bastante polémico. En agosto del 2009, fue aprobada la Ley de Subsidio Nacional al Transporte Público mediante la cual se introduce un subsidio permanente y otro transitorio para financiar el déficit del sistema de transporte público en la capital. Este hecho ha generado diversas reacciones en la opinión pública, entre quienes defienden este subsidio y quienes creen que el sistema debe autofinanciarse.

A pesar de que en Chile la idea inicial era que este sistema se autofinanciara de manera que el Estado no tuviese que subsidiarlo, se observa que la experiencia internacional es diferente, ya que por lo general en los países del mundo desarrollado esta industria es subsidiada. Dado esto, resulta sumamente

interesante estudiar los argumentos técnicos que justifican un subsidio al transporte público y analizar si éstos son aplicables al caso de Chile.

En base a lo anterior, en esta tesis discutiremos los argumentos a favor de un subsidio al transporte público. Además se presentará un modelo que permite determinar el subsidio óptimo al transporte público y las variables que inciden en esta determinación. Luego, se presenta una revisión de la literatura internacional y nacional sobre el valor de algunos parámetros claves que inciden en la determinación del subsidio óptimo.

Existen principalmente dos grandes argumentos económicos que justifican un subsidio al transporte público. En primer lugar existe una fuerte necesidad de desincentivar el transporte privado debido a las externalidades negativas que este produce y, en segundo lugar, por las economías de escala existentes en el transporte público.

Cuando existe un alto uso de transporte privado se generan externalidades negativas. Por ejemplo, se elevan las tasas de accidentes automovilísticos, aumenta la contaminación ambiental debido a que existen más vehículos particulares en las calles, lo cual a la vez genera mayor congestión. La congestión causada por el transporte privado afecta los tiempos de traslado de manera general, independiente del tipo de transporte que la persona esté utilizando. Esto último empeora aún más en el horario punta. Por lo tanto y como ya se mencionó, se genera una necesidad de desincentivar el transporte privado.

Desde el punto de vista económico existen dos tipos de soluciones para lograr desincentivar el sistema de transporte privado o incentivar el público: first-best y second-best.

El first-best plantearía la necesidad de aplicar un impuesto óptimo Pigouviano, el cual permita a los automovilistas privados enfrentar el costo marginal social real que genera un viaje adicional en una red de transportes. Mientras que el second-best, plantea la necesidad de subsidiar el sistema de transporte público debido a la existencia de externalidades positivas que se generan al tener más personas

usando este medio de transporte. Podemos observar que en la práctica, como señalan Parry y Small (2008) los sistemas de tarificación vial (primer mejor), como el caso de Londres, sólo cubren una zona relativamente reducida de la ciudad. Por lo que este instrumento se puede definir como una herramienta más bien complementaria a los subsidios para el sistema de transporte público (segundo mejor) con el fin de mejorar la asignación de recursos en un sistema de transporte<sup>1</sup>.

Por otro lado, existen economías de escala en los costos de proveer el sistema de transporte público. Esto no se debe a la existencia de costos fijos como lo es en el caso tradicional de un monopolio natural. De hecho, la evidencia empírica indica que, al menos para el sistema de buses, no existirían economías de escala por este motivo (Small, 1992). Más bien, esta situación proviene de un efecto más sutil, llamada efecto Mohring (1972).

En transporte, existe un componente importante del costo total de un viaje en la forma del tiempo de espera y de viaje de los usuarios. En una red de transporte público, en la medida que aumenta la demanda aumenta también la frecuencia de los servicios. Este aumento de frecuencia, al densificar la red, disminuye los tiempos de espera de todos los usuarios, disminuyendo los costos generalizados de transporte para ellos. En cierta forma, los usuarios nuevos generan una externalidad positiva a los existentes, por la disminución de los tiempos de espera como consecuencia de la mayor oferta de servicios y frecuencia que ellos generan. Por lo tanto, el costo marginal social de satisfacer un viaje adicional es menor al costo marginal privado que enfrenta el operador del servicio. Este es el efecto Mohring (1972) que empíricamente la evidencia internacional muestra que resulta ser bastante significativo<sup>2</sup>. Por lo tanto, al ser el costo marginal social menor al privado, la tarifa óptima a público sería igual al costo marginal social y menor al costo marginal privado, siendo necesario un subsidio para financiar la diferencia.

---

<sup>1</sup> De hecho, en Londres la recaudación del sistema de tarificación vial se destina a subsidiar y mejorar el sistema de transporte público.

<sup>2</sup> En el estudio de Parry y Small (2008) para las ciudades de Los Ángeles, Washington D.C. y Londres, el efecto Mohring representa el 53%, 27% y 14% del subsidio óptimo para los buses durante el horario punta en cada ciudad, respectivamente. Para el horario fuera de punta el efecto Mohring representa el 60%, 52% y 64% del subsidio óptimo. Por lo tanto, este efecto es mayor durante el período fuera de punta donde las frecuencias son menores. Ver Tabla 3 de Parry y Small (2008).

Estudios recientes muestran que los subsidios al transporte público en ciudades como Los Ángeles, Washington DC y Londres se justifican plenamente como consecuencia de los dos motivos señalados anteriormente (Parry y Small, 2008). De hecho, los resultados indican que en términos de eficiencia económica se justificaría aumentar aún más los subsidios a los costos operativos de los sistemas de transporte público, especialmente en el caso de Londres donde los costos de congestión causados por el transporte privado son muy altos.

Evidencia empírica de Parry y Small (2008) reportan que en Los Ángeles, Estados Unidos, los subsidios cubren el 78% de los costos operativos del sistema de ferrocarriles, mientras que en Washington D.C. los subsidios cubren aproximadamente el 75% de los costos operativos del sistema de buses. Parry y Small (2008) muestran que para 20 sistemas de transportes en ciudades de Estados Unidos, el subsidio como porcentaje de los costos operativos es en promedio un 61% para los ferrocarriles y de un 77% en el caso de los buses<sup>3</sup>.

De esta manera lo que se busca en este documento, es modelar conceptualmente el subsidio que necesita el sistema de transporte público chileno para lograr un resultado socialmente óptimo. Es decir, nos enfocaremos en encontrar la solución de segundo mejor (“second-best”).

Esta solución de segundo mejor debe considerar la existencia del impuesto a los combustibles existente en nuestro país ya que este en parte estaría internalizando algunos de los efectos nombrados anteriormente, por lo cual es de esperar que juegue un rol fundamental a la hora de calcular el subsidio óptimo al transporte público.

Otra particularidad de Chile y que también resulta fundamental de tomar en cuenta es el caso de los taxis colectivos, los cuales tienen una gran participación en el mercado del transporte, particularmente en regiones. Es probable que la sustitución entre los buses y taxis colectivos justifique un subsidio óptimo mayor en Chile que en países desarrollados, donde por lo general no existe un medio equivalente a los taxis colectivos.

---

<sup>3</sup> Ver tabla 1 Parry y Small (2008)

Un último alcance respecto a la justificación del uso de un subsidio al transporte público presentado en esta tesis, es que su fundamento es la mejoría en la asignación de recursos, no como una política social o de distribución de ingresos. En este sentido, se justifica un subsidio generalizado, no necesariamente focalizado a la población de menores recursos. De hecho, el objetivo del subsidio es que las personas modifiquen su opción modal a favor del transporte público en lugar del transporte privado, por lo que es razonable que dicho subsidio beneficie a la población de ingresos medios y altos, quienes son los más propensos a utilizar un automóvil en sus viajes.

# Capítulo 1

La justificación para subsidiar tan fuertemente el transporte público en países desarrollados se debe básicamente a dos fenómenos. Primero, a la necesidad de desincentivar el transporte privado debido a las externalidades que este produce y, segundo, por las economías de escala existentes en el transporte público.

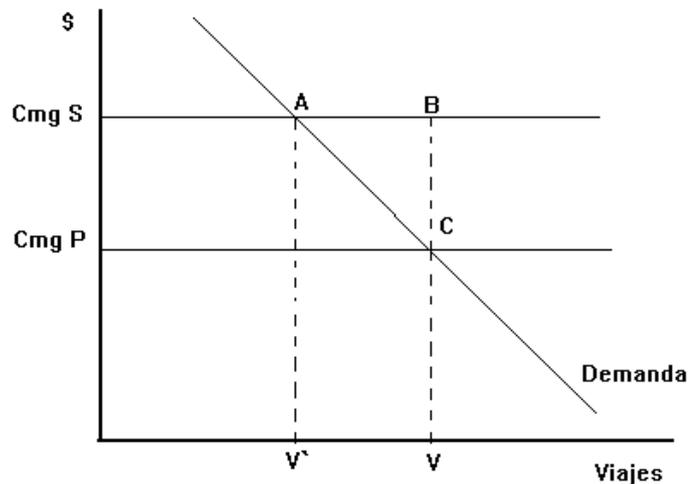
## 1. Externalidades

Existen casos en que los actos de una persona o empresa afectan a otras personas o empresas, esto se denomina externalidades. En el caso en que las externalidades sean pecuniarias no presentan un gran problema ya que estas son incorporadas o reflejadas por los precios, por lo tanto en este caso el mercado puede asignar eficientemente los recursos.

Sin embargo, existen otras externalidades a las cuales si le debemos prestar una gran atención, estas son las tecnológicas o no pecunarias, las cuales no permiten que el mercado asigne eficientemente los recursos, ya que el sistema de precios no incorpora estos efectos externos. Si es que estos efectos son negativos o sea, imponen costos a terceros que luego no son compensados, estamos frente a externalidades negativas. Además resulta importante considerar que como la totalidad de los costos generados no recaen sobre los agentes que toman las decisiones, la producción óptima privada es mayor a la cantidad socialmente deseada.

Precisamente esto se puede ver en el siguiente gráfico, donde se observa que el costo marginal privado (que debe incluir el impuesto a la bencina) es menor que el costo marginal social, costo que considera las externalidades negativas. Esto lleva a que se produzcan una mayor cantidad de viajes (**V**), de los que se producirían en el caso de que agentes interiorizaran los costos sociales (**V'**), produciendo así una pérdida de bienestar social equivalente al área del triángulo **ABC**.

**Gráfico 1: Externalidades negativas en el mercado del transporte**



Un claro ejemplo de un mercado que genera grandes externalidades negativas es el mercado del transporte ya que el transporte, particularmente el privado, produce efectos cuyos costos recaen sobre individuos distintos al agente que los genera. Estas externalidades hacen que el costo social del transporte sea mayor al costo social marginal privado, por lo cual el equilibrio competitivo lleva a la realización excesiva de viajes.

Entre las principales externalidades negativas del transporte se encuentra la contaminación, tanto atmosférica como acústica, los accidentes y la congestión. La primera es claramente una externalidad negativa ya que se trata de efectos cuyos costos recaen sobre individuos distintos al agente que los genera. Los accidentes también se consideran dentro de esta categoría ya que aunque una parte de los costos que se generan los sufre directamente el propio agente implicado (daños personales y a su vehículo), o tiene que pagarlos a terceros (con indemnizaciones o a través de la contratación de seguros), hay otros costos adicionales que se imponen a la sociedad en su conjunto. Sin embargo, la última externalidad o sea la congestión, que es muy relevante en la industria del transporte, tiene una naturaleza diferente a las anteriores, ya que se trata de un efecto externo que los usuarios de servicios de transporte se causan entre ellos. Este es un fenómeno que se produce principalmente en el transporte en automóviles privados. La externalidad se produce porque cada usuario, al tomar su decisión de utilizar una

carretera, sólo tiene en cuenta el costo que le supone el tiempo que va a emplear en el viaje, más el costo monetario de utilización del vehículo, pero no valora que al circular con su automóvil está haciendo que el tráfico sea menos fluido para todos los usuarios. Por tanto, el último usuario que entra en una carretera congestionada está imponiendo un coste en términos de tiempo extra al resto de automóviles en la carretera que ese usuario no paga.

En las grandes ciudades como Santiago, donde la tasa de motorización es alta, estas externalidades son significativas. En este punto el Estado tiene un papel fundamental, induciendo a las personas de que actúen de tal forma que tengan en cuenta los efectos que están causando en los demás. Una forma de lograr una asignación eficiente de recursos en el mercado de transporte es incentivando a los individuos a utilizar el transporte público en lugar del transporte privado, ya que aunque ambos generan externalidades negativas, estas externalidades son mayores en el transporte privado por pasajero transportado.

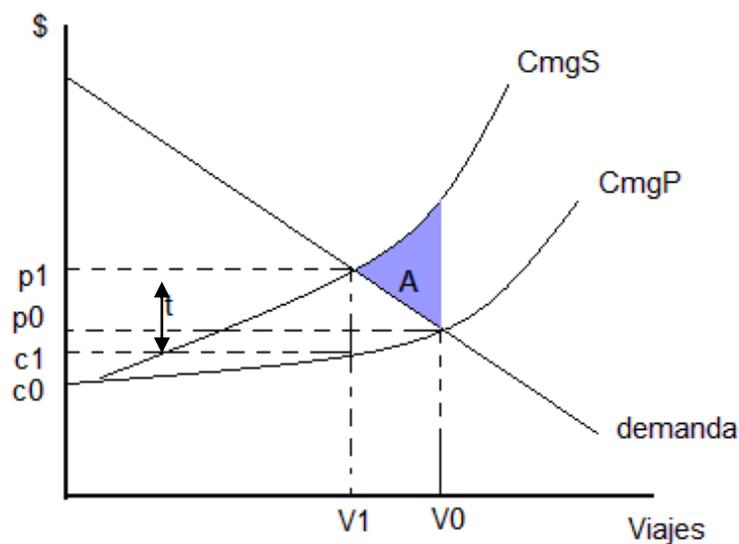
Una forma de desincentivar el transporte privado a favor del público para disminuir las externalidades negativas por pasajero transportado es cobrar tasas o impuestos proporcionales a la cantidad de externalidades producidas. Ya que un impuesto bien calculado le indicaría a los agentes los verdaderos costos de sus decisiones.

A pesar de lo atractiva que resulta esta alternativa, la tarificación vial posee varias limitaciones y una baja aceptación tanto social como política. En el gráfico 2 podemos observar los resultados de una tarificación vial, donde se observa que los viajes entre 0 y V1, experimentan un alza generalizada de los precios de  $p_0$  a  $p_1$  una vez aplicada la tarifa óptima que en este caso corresponde a  $t$ , estos usuarios, a menos que se les retribuya con beneficios con la recaudación lograda por la tarificación, tendrán un menor excedente del consumidor. Esto mismo se ve entre los usuarios correspondientes a los viajes entre V0 y V1, los cuales dada la alza en los precios por la tarificación no seguirán usando esta alternativa, lo que los lleva también a disminuir su bienestar.

Este análisis permite ver que la tarificación vial genera una disminución en el bienestar de los usuarios, sin embargo, esta disminución en el bienestar puede ser

compensada a través de una redistribución de la recaudación. Una forma de llevar acabo esta redistribución es destinando la recaudación lograda por la tarificación vial a el transporte público incentivando así, que los usuarios se trasladen desde el transporte privado al transporte público.

**Gráfico 2: Tarificación vial**

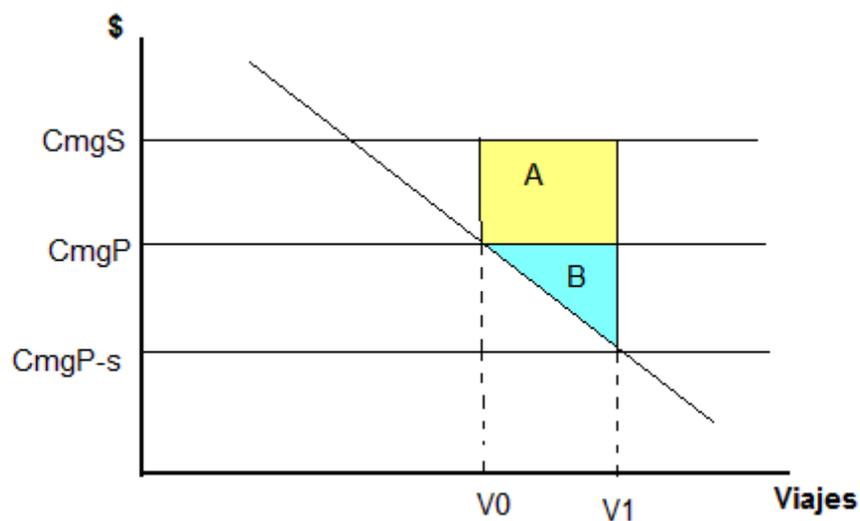


Bajo este contexto y considerando también que existen economías de escala en el transporte público, las que también influyen en la tarificación óptima de estos servicios, una política de segundo mejor es la introducción de un subsidio que logre incentivar el uso de este medio de transporte y desincentivar el uso del transporte privado, con el fin de mejorar la asignación de recursos en el sistema de transporte. Esta es la solución del segundo mejor y asume que los costes externos no pueden ser internalizados correctamente a través de la tarificación vial adecuada.

La introducción de este subsidio al transporte público, tiene un primer efecto que es provocar un aumento del uso del transporte público, tal como lo muestra el Gráfico 3 donde se observa que al implementar el subsidio al transporte público,  $s$ , los viajes aumentan de  $V_0$  a  $V_1$ , lo que sin considerar el efecto Mohring, se traduce en

un aumento de las externalidades generadas por este medio de transporte, este aumento de los costos externos corresponde al **área A** más el **área B**

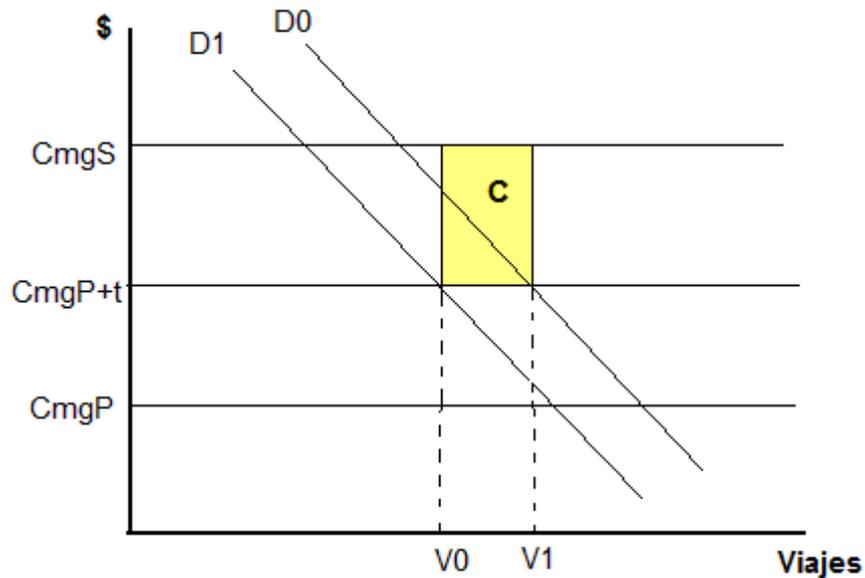
**Gráfico 3: Impacto de un subsidio en el mercado de transporte público**



La implementación de este subsidio además de tener los efectos recién mencionados en el mercado en el que se está aplicando el subsidio, o sea el transporte público, genera efectos en el mercado del transporte privado, dado que ambos medios de transporte son sustitutos<sup>4</sup>. Este efecto consiste en que al disminuir el precio del transporte público, se produce una disminución del uso del transporte privado. Esto se puede ver en el Gráfico 4 donde debido al subsidio los viajes en transporte privado disminuyen de  $V_0$  a  $V_1$ .

<sup>4</sup> En el capítulo 3 se justificara esta afirmación con una revisión de la literatura internacional

**Gráfico 4: Impacto de un subsidio al transporte público en el mercado del transporte privado**



Por lo tanto, se observa que si la implementación del subsidio, reduce el número de viajes en transporte privado, se produciría un beneficio social que corresponde al **área C**, debido a menores externalidades.

En el gráfico anterior  $t$  es el pago promedio del impuesto específico a los combustibles por viaje, este pago se considera dado que el **área C** toma en cuenta que existe un impuesto específico a los combustibles que grava más fuertemente al transporte privado, pero se asume que este impuesto no alcanza a compensar todas las externalidades negativas que son generadas por el transporte privado.

La importancia de estas tres áreas presentadas en los gráficos radica en que dado que tanto el área A como B son negativas y C positiva (cuando baja el precio de la tarifa), la efectividad de que el subsidio sea una forma efectiva de mejorar la asignación de recursos dependerá principalmente de la magnitud de estas áreas y de la posibilidad de lograr un traslado desde el transporte privado al público gracias al subsidio, lo cual es posible medir a través de la elasticidad cruzada de viajes en automóviles (transporte privado) con respecto a la tarifa del transporte público. Este

parámetro posee una gran importancia debido a que el objetivo de este subsidio es llevar a cabo una reducción en las tarifas del transporte público, volviéndolo más atractivo para los usuarios, o sea busca desincentivar el transporte privado, ya que un desplazamiento de usuarios desde los medios privados, al público permitiría reducir los costos externos de la congestión, contaminación local y global del aire, y de los accidentes. Otro parámetro importante a considerar es la elasticidad propia de los viajes en bus con respecto a su tarifa, ya que esto permitiría determinar los usuarios más sensibles a cambios en la tarifa.

## 2.- Economías de escala y efecto Mohring

En el caso de la red de transporte público, existe además una externalidad social positiva debido a los efectos positivos que genera un pasajero adicional sobre los demás pasajeros al densificarse una red de transporte.

Cuando consideramos los costos sociales involucrados en realizar un cierto viaje en transporte público, debemos incluir los tiempos de espera. Si por ejemplo, aumenta la demanda de una cierta ruta (por la existencia de un mayor número de pasajeros) la respuesta socialmente óptima será un aumento en la oferta de los buses que cubren dicha ruta. De este modo, todos los pasajeros involucrados percibirán menores tiempos de espera, puesto que ahora existe un mayor número de buses cubriendo la ruta. Los nuevos usuarios generan así una externalidad positiva sobre los ya existentes, logrando que el costo marginal social de proveer un nuevo viaje sea menor al costo marginal privado que enfrenta el operador. Este es el efecto Mohring (1972) el cual justifica un subsidio al transporte público.

Para explicarlo más claramente, vamos a considerar un ejemplo práctico. Supongamos que un cierto operador ofrece una frecuencia de 3 buses por hora en una cierta ruta. Esto implicaría que un bus llegaría a la parada cada 20 minutos. Si suponemos que los usuarios llegan en forma uniforme al paradero, el tiempo de espera promedio sería la media entre la llegada de 2 buses, o 10 minutos en este ejemplo. De este modo, si el operador decidiera doblar la frecuencia de buses,

entonces existirían 6 buses por hora en dicha ruta. Esto implica que el tiempo de llegada entre buses es de 10 minutos, y el tiempo de espera promedio para los usuarios disminuye a 5 minutos.

La principal idea es que al aumentar la cantidad de nuevos usuarios de una determinada ruta, el operador aumentará la frecuencia de buses y por ende disminuirán en la misma proporción los tiempos de espera para cada individuo (ya sea antiguo o nuevo usuario). De esta manera, los costos privados derivados del uso del transporte público disminuyen, disminuyendo así los costos generalizados de viaje.

Esto es el llamado efecto Mohring, donde el costo marginal social de agregar un pasajero al sistema de transporte es menor al costo medio social incurrido, por ende se justifica un subsidio al transporte público.

El subsidio al transporte público sería equivalente a la diferencia entre los costos medios sociales y los costos generalizados de viaje. Sin la entrega del subsidio, habrá subprovisión de viajes en el sistema público, no logrando satisfacer la demanda de mercado.

Como conclusión, existen 2 argumentos principales que apoyan el subsidio al transporte público: las externalidades negativas generadas por el uso masivo del transporte privado y las economías de escala o también conocido como efecto Mohring.

En el próximo capítulo se desarrolla un modelo más detallado de la tarifa socialmente óptima, para poder discutir sus determinantes.

## Capítulo 2

# Cálculo Subsidio Óptimo

Como se mostró en el capítulo anterior existen dos grandes argumentos que justifican un subsidio al transporte público, primero para desincentivar el uso del transporte privado donde las externalidades negativas producidas son considerablemente mayores que en el transporte público por pasajero transportado y las economías de escala existentes que provienen principalmente de los efectos positivos que genera un pasajero adicional sobre los demás pasajeros al densificar la red de transporte.

El propósito de este capítulo es presentar una fórmula simplificada del modelo planteado por Small (2007), donde se logra identificar los principales parámetros que determinan el subsidio óptimo al transporte público. Este modelo considera el efecto de las externalidades y las economías de escala sobre la determinación de dicho subsidio.

Considerando que  $q_a$  y  $q_b$  representan el número de viajes en automóvil y bus por unidad de tiempo y suponiendo que el efecto ingreso en la demanda es irrelevante, obtenemos que estos dos tipos de viaje se puedan expresar en una función de beneficio  $B(q_a, q_b)$  del consumidor representativo. Dicha función expresa el beneficio del consumidor según el monto de los respectivos viajes, o sea muestra la disposición a pagar por cada combinación de viajes, lo que representa una generalización del área bajo la curva de la demanda inversa.

Al igual que cuando se consume un bien, existen costos privados de los usuarios de automóviles  $C_a(.)$  mientras que la función de costos para los buses del transporte público es  $C_b(.)$ , donde se consideran los costos de tiempo de los usuarios  $C_b^{usuarios}(.)$  y los costos operativos del sistema de transporte  $C_b^{agencia}(.)$ , o sea los costos necesarios para que los buses puedan funcionar:

$$C_a = C_a^{usuarios} = q_a \cdot c_a(q_a)$$

$$C_b = C_b^{agencia} + C_b^{usuarios} = q_b \cdot c_b^{agencia}(q_b) + q_b \cdot c_b^{usuarios}(q_b)$$

Donde  $c(q)$  representa la función de costos medios para los automóviles y buses respectivamente.

Además de los costos nombrados anteriormente, el comportamiento de los usuarios estará determinado por  $\tau_a$  que representa un impuesto, el cual podría ser por ejemplo el impuesto al combustible y  $\tau_b$  que corresponde al costo de la tarifa del transporte público

De este modo el precio de usar el automóvil corresponderá a los costos propios de este sistema  $c_a(q_a)$  más el impuesto al combustible  $\tau_a$ . Mientras que el precio de usar el transporte público serán los costos de tiempo para los usuarios más  $\tau_b$ .

Considerando estos costos la función de beneficios netos del consumidor representativo es:

$$L : B(q_a, q_b) - \tau_a q_a - \tau_b q_b - q_a \overline{c(q_a)} - q_b \overline{c_b^{usuario}(q_b)}$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_a} : \frac{\partial B}{\partial q_a} - \tau_a - \overline{c(q_a)} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_b} : \frac{\partial B}{\partial q_b} - \tau_b - \overline{c_b^{usuario}(q_b)} = 0$$

Donde se asume que los usuarios no perciben los impactos marginales, por lo cual,  $\overline{c(q_a)}$  y  $\overline{c_b^{usuario}(q_b)}$  corresponden a los respectivos costos medios.

Resolviendo obtenemos que la demanda de los usuarios se determina mediante la igualdad del beneficio marginal y el precio de cada sistema de transporte, esto queda expresado en la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial B}{\partial q_a} = \overline{c_a(q_a)} + \tau_a$$

$$\frac{\partial B}{\partial q_b} = \overline{c_b^{usuario}(q_b)} + \tau_b$$

Sabiendo que las demandas por cada medio de transporte (privado y público) dependen del impuesto a los combustibles y de la tarifa del transporte público, es posible calcular el valor socialmente óptimo de estos dos parámetros.

Resolviendo

$$L = B(q_a, q_b) - q_a c_a(q_a) - q_b c_b^{agencia}(q_b) - q_b c_b^{usuario}(q_b)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_a} = \frac{\partial B}{\partial q_a} - c_a(q_a) - q_a \frac{\partial c_a(q_a)}{\partial q_a}$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_b} = \frac{\partial B}{\partial q_b} - c_b^{agencia} - c_b^{usuario} - q_b \frac{\partial c_b^{agencia}(q_b)}{\partial q_b} - q_b \frac{\partial c_b^{usuario}(q_b)}{\partial q_b}$$

Luego reemplazando por los valores ya conocidos:

$$\frac{\partial B}{\partial q_a} = c_a(q_a) + \tau_a$$

$$\frac{\partial B}{\partial q_b} = c_b^{usuario}(q_b) + \tau_b$$

Se obtienen los valores socialmente óptimos tanto para el impuesto a la bencina como la tarifa óptima para el transporte público.

$$\tau_a = q_a \frac{\partial c(q_a)}{\partial q_a}$$

$$\tau_b = q_b \frac{\partial c_b^{usuario}(q_b)}{\partial q_b} + c_b^{agencia} + q_b \frac{\partial c_b^{agencia}(q_b)}{\partial q_b} \equiv X_B^i$$

Además sabemos que:

$$CMe_i = CT_i / q_i$$

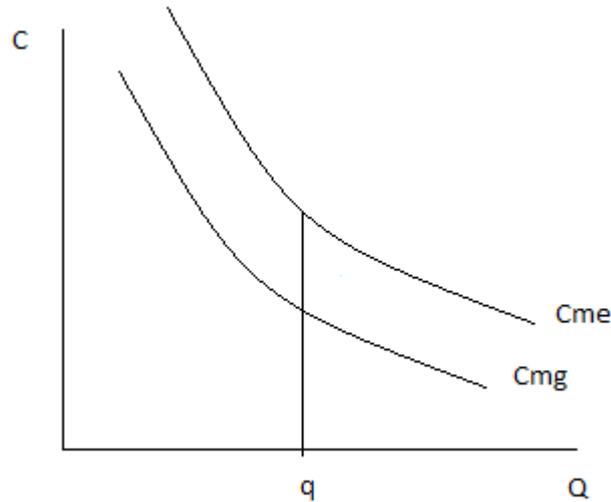
$$\frac{\partial CMe_i}{\partial q_i} = \frac{CMg_i}{q_i} - \frac{CT_i}{q_i^2} = \frac{1}{q_i} (CMg_i - CMe_i)$$

Donde  $i$  representa cada sistema de transporte, ya sea público o privado. Por lo tanto obtenemos que:

$$q_i \frac{\partial CMe_i(q_i)}{\partial q_i} = CMg_i - CMe_i$$

Para el caso de la existencia de economías de escala, la curva de costos marginales se ubica por debajo de la curva de costos medios. Este análisis es válido tanto para los costos de usuario de transporte público como para los costos de agencia.

**Gráfico 6: Economías de escala en el transporte público**



Esto quiere decir que:

$$\tau_b = (CMg_b^{usuarios} - CMe_b^{usuarios}) + c_b^{agencia} + (CMg_b^{agencia} - CMe_b^{agencia})$$

Donde  $(CMg_b^{usuarios} - CMe_b^{usuarios})$  representa el efecto Mohring y  $(CMg_b^{agencia} - CMe_b^{agencia})$  representa las economías de escala propias de los sistemas de transporte. Por lo cual, la tarifa óptima de los buses es el promedio de los costos de agencia ajustados por las economías de escala existentes en los usuarios (efecto Mohring) y en los costos de agencia. La suma de estos tres efectos es  $X_B$ .

La solución anterior encontrada es una solución del tipo first-best, donde se asume que el impuesto a los combustibles (impuesto pigouviano) logra internalizar las externalidades negativas provocadas por el transporte privado.

Sin embargo a veces se observa que el impuesto al combustible no logra internalizar del todo las externalidades, ya que:

$$\bar{\tau}_a < \tau_a^*$$

Donde  $\bar{\tau}_a$  representa el impuesto al combustible, que está fijo y es menor al socialmente óptimo. Esto tiene como consecuencia el hecho que no sea posible alcanzar una solución óptima. De este modo, es necesario plantear una nueva ecuación para buscar una solución second-best.

Entonces, la función objetivo a optimizar para calcular la solución second-best sería:

$$L = B(q_a, q_b) - C_a(q_a) - C_b^{agencia}(q_b) - C_b^{usuarios}(q_b) - C_a^s(q_a) - C_b^s(q_b) \\ + \lambda_a(\bar{\tau}_a + c_a(q_a) - \frac{\partial B}{\partial q_a}) \\ + \lambda_b(\tau_b + c_b^{usuarios}(q_b) - \frac{\partial B}{\partial q_b})$$

Donde incluimos los costos totales privados asociados al transporte privado y al transporte público (costos de agencia más costos de usuarios) además de externalidades provocadas por estos medios de transporte.

$$C^s = C_a^s(q_a) + C_b^s(q_b)$$

Las 2 principales externalidades negativas a considerar aparte de la congestión, que ya está incluido en los costos medios de usuarios, en este modelo serían: el aumento en el número de accidentes y la polución.

Si replanteamos las funciones de costos privados y públicos, podemos expresar el costo total en función del costo medio, obteniendo así:

$$L = B(q_a, q_b) - q_a c_a(q_a) - q_b c_b^{agencia}(q_b) - q_b c_b^{usuarios}(q_b) - C_a^s(q_a) - C_b^s(q_b) \\ + \lambda_a(\bar{\tau}_a + c_a(q_a) - \frac{\partial B}{\partial q_a}) \\ + \lambda_b(\tau_b + c_b^{usuarios}(q_b) - \frac{\partial B}{\partial q_b})$$

Ahora, analizando cada una de las restricciones incluidas en la función objetivo, existen varias conclusiones interesantes que debemos mencionar.

El impuesto a los combustibles afecta por un lado el número de viajes a realizar y por otro lado, afecta las decisiones de elección dependiendo del rendimiento que posee el motor del auto. Al aumentar el valor de los combustibles, se logra disminuir el número de viajes, disminuyendo así la congestión vehicular, la polución y el número de accidentes. Además, un aumento en el precio, afecta también en el largo plazo, las elecciones de los compradores de automóviles. A mayor valor de los combustibles, se buscará un vehículo que presente un rendimiento más alto, lo cual claramente disminuirá la polución, pero no logrará disminuir los accidentes ni la congestión.

Por estos motivos, fijamos  $\bar{\tau}_a$  como una constante que solo logra internalizar una parte de las externalidades pero que no logra internalizarlas por completo. De este modo suponemos que:

$$\lambda_a \neq 0$$

Logrando mantener la restricción activa.

En la segunda restricción, tenemos la variable de control que es  $\tau_b$  la cual por principio (y dado que vamos a optimizar) cumpliría la igualdad señalada, logrando así que la segunda restricción se vuelva inactiva.

$$\lambda_b = 0$$

Optimizando con respecto a cada una de las variables y las restricciones, obtenemos:

$$\frac{\partial L}{\partial q_a} = B'_A - c_a(q_a) - q_a c'_a(q_a) - C'_a{}^s(q_a) + \lambda_a(c'_a(q_a) - B''_{AA})$$

$$0 = \bar{\tau}_a - q_a c'_a(q_a) - C'_a{}^s(q_a) + \lambda_a(c'_a(q_a) - B''_{AA})$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_b} = B'_B - c_b^{usuarios}(q_b) - c_b^{agencia}(q_b) - q_b \left( c'_b{}^{agencia}(q_b) - c'_b{}^{usuarios}(q_b) \right) - C'_b{}^S(q_b) + \lambda_a(-B''_{AB})$$

$$0 = \tau_b - X_B - C'_b{}^S(q_b) + \lambda_a(-B''_{AB})$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_a} = \bar{\tau}_a + c_a(q_a) - B'_A$$

Reemplazando e igualando las ecuaciones obtenidas anteriormente, continuamos:

$$\bar{\tau}_a = q_a c'_a(q_a) + C'_a{}^S(q_a) + \lambda_a(c'_a(q_a) - B''_{AA})$$

$$\tau_b = X_B + C'_b{}^S(q_b) - \lambda_a(-B''_{AB})$$

Finalmente, podemos expresar  $\tau_b$  en función de:

$$\tau_b = X_B + C'_b{}^S(q_b) - (\bar{\tau}_a - q_a c'_a(q_a) - C'_a{}^S(q_a)) \frac{(-B''_{AB})}{(c'_a(q_a) - B''_{AA})}$$

Dicho de otro modo, el subsidio óptimo al transporte público, tomando en consideración las externalidades y el impuesto a los combustibles, queda expresado como:

$$\tau_b = X_B + CMg_b^S - (\bar{\tau}_a - (CMg_a - CMe_a) - CMg_a^S) \frac{(-B''_{AB})}{(c'_a(q_a) - B''_{AA})}$$

El subsidio óptimo depende de manera directa de las economías de escala existentes y del costo marginal social originado por el transporte público. A mayores economías de escala, ya sea efecto Mohring o variación en los costos operativos, y a mayores externalidades del transporte privado, se justifica un mayor subsidio por parte del Estado.

Los efectos del impuesto a los combustibles, de las externalidades provocadas por el transporte privado y de las economías/deseconomías de escala del sector privado dependerán de la sensibilidad de la demanda del transporte privado frente a su precio y frente al precio del transporte público.

Analizando casos más específicos, podemos obtener diversas conclusiones. Si suponemos que la demanda de transporte privado es insensible ante variaciones en el precio del transporte público; el impuesto a los combustibles, las economías de escala del transporte privado y las externalidades originadas por los automóviles no afectarían el subsidio óptimo del transporte público.

Si  $\tau_a$  fuera un impuesto que lograra internalizar completamente las externalidades provocadas, el subsidio óptimo dependerá exclusivamente de las economías de escala de la agencia operadora y del efecto Mohring.

Por lo tanto al momento que logramos fijar  $\tau_a$  en su nivel óptimo, la sensibilidad de la demanda del transporte privado frente a cambios en su precio y cambios en el precio del transporte público pierde toda relevancia. Esto ocurre debido a que alcanzamos el nivel óptimo de viajes en transporte privado (solución first-best) y por ende pierde total importancia afectar el mercado de transporte público para lograr un equilibrio en el mercado del transporte privado.

Sin embargo, a pesar de la importancia que posee el argumento del efecto Mohring y las economías de escala, en Chile se observa que existen muchos otros sectores donde podemos encontrar importantes economías de escala como el sector de la electricidad y del agua potable, donde se ha tomado la decisión política de no subsidiarlos. Sin embargo, a pesar de esta decisión de auto-financiamiento, existen argumentos suficientes para subsidiar al sector debido a las externalidades negativas generadas por el transporte.

Por lo tanto el cálculo del subsidio óptimo al transporte público basado exclusivamente en el argumento de las externalidades negativas generadas por los medios de transporte corresponde a:

$$\tau_b = CMg_b^s - \frac{(\tau_a - (CMg_a - CMe_a) - CMg_a^s)(-B_{AB}^u)}{(c_a^t(q_a) - B_{AA}^u)}$$

En este caso, las economías de escala en el transporte público tanto a nivel de usuario como a nivel de costos operativos, pierden influencia en el subsidio óptimo

al transporte público. La principal determinante continúa siendo las externalidades provocadas por el transporte público y también influyen variables tales como el impuesto a los combustibles, economías de escala en el sector privado y las externalidades originadas por el transporte privado.

Cabe destacar que este modelo no está considerando la existencia de un tercer medio de transporte, los taxis colectivos, los cuales actúan como sustitutos de los viajes en bus. La evidencia ayuda a sustentar esto, ya que se observa que en la realidad si existe competencia entre estos dos medios de transporte. Una clara muestra de la existencia de esta competencia son las declaraciones del presidente de la Confederación Nacional de Taxis Colectivos de Chile (Conatacoch), que se opone al subsidio al pasaje del transporte público (buses), argumentando que esto crea una competencia desleal<sup>5</sup>.

La importancia de considerar el efecto del subsidio al transporte público (buses) con respecto a la demanda por taxis colectivos radica en que a pesar de que generalmente los taxis colectivos poseen menores externalidades negativas por pasajeros transportados en comparación con el transporte privado, estas externalidades son mayores que para el caso de la locomoción colectiva (buses). Esto toma mayor relevancia al analizar los datos sobre este medio de transporte donde se observa que a nivel nacional existen cerca de 65.000 colectivos a lo largo del país y en algunas ciudades de Chile como es el caso de Rancagua cerca de un 60% de los pasajeros son transportados por colectivos y solo un 40% por los buses del transporte público.<sup>6</sup>

Esta evidencia muestra que un subsidio al transporte público (buses), que se traduzca en una reducción de las tarifas de este medio no solo ayudará a disminuir las externalidades negativas al incentivar que los usuarios del transporte privado se trasladen al transporte público, sino que además se debería producir una disminución de las externalidades negativas dado el traslado de pasajeros desde los taxis colectivos al sistema público de buses. Por ende se lograrían mayores resultados con un menor nivel de subsidio.

---

<sup>5</sup> El Mercurio. Lunes 1 de Septiembre del 2008. Pág. 7.

<sup>6</sup> Confederación nacional de taxis colectivos de Chile.

Como conclusión principal, hemos logrado establecer un modelo que fija el nivel de subsidio óptimo al transporte público en base al impuesto a los combustibles y que logra internalizar las externalidades generadas. La imposición de este subsidio se plantea como una solución second-best, donde se incentiva el uso del transporte público para desincentivar el uso del transporte privado.

## Capítulo 3

# Elasticidad cruzada y propia de la demanda por transporte público

De acuerdo al modelo desarrollado en el capítulo anterior, el subsidio óptimo depende de una serie de parámetros, entre los cuales, la sensibilidad de la demanda por viajes en automóviles frente a un cambio en el precio del transporte público es clave. Una manera de medir esta sensibilidad es a través de derivadas como se mostró en el capítulo anterior o a través de elasticidades, donde tanto la elasticidad cruzada como la propia resultan ser parámetros extremadamente útiles y utilizados al momento de medir los resultados de una determinada política pública como lo sería un subsidio al transporte público.

Aplicado al sector transporte a través de evidencia tanto internacional como nacional, buscaremos discutir y analizar los valores de la elasticidad cruzada en el caso del transporte público versus transporte privado y también las elasticidades propias, ya que este análisis de las sensibilidades resulta clave para comprobar si es que existe algún nivel de trade-off entre las cantidades demandadas de estos 2 tipos de transporte y por lo tanto la viabilidad de la aplicación de un subsidio con el fin de incidir en el comportamiento de los consumidores de transporte privado y público.

Antes de analizar las elasticidades del transporte es necesario conocer las definiciones formales tanto de la elasticidad propia como cruzada.

La elasticidad precio o propia es un término económico ampliamente utilizado para describir de una manera cuantitativa cuál es el cambio porcentual en la demanda de un bien, provocado por un cambio en un 1% de su propio precio. De este modo, una elasticidad precio equivalente a  $-0,8$  implica que un 1% de aumento (disminución) en su precio, disminuirá (aumentará) en un 0,8% su demanda. Un punto importante a resaltar es el hecho que el signo negativo implica una relación

inversa entre ambas variables, mientras que un signo positivo implicaría la existencia de una relación directa.

Algebraicamente, la definición de elasticidad propia es:

$$n_p = \frac{dQ}{dP} \times \frac{P}{Q}$$

Donde  $n_p$  es la elasticidad al precio P y Q es la cantidad demandada al precio P.

En el caso del transporte público, la elasticidad precio de la demanda es una variable sumamente importante ya que reflejaría el comportamiento de los pasajeros del transporte público ante variaciones del precio de su pasaje, y de este modo, ante variaciones del subsidio gubernamental que se reflejen en la tarifa.

Sin embargo, en nuestro caso, la elasticidad que es aún más importante es la elasticidad cruzada del transporte público versus el transporte privado. La elasticidad cruzada explicaría la variación porcentual en la demanda por transporte privado ante una variación de un 1% en el precio del pasaje del transporte público.

Cuando una elasticidad cruzada es positiva, los bienes serían sustitutos, mientras que una elasticidad negativa implicaría que los bienes son complementarios. En nuestro caso, los viajes en transporte público y transporte privados, deberían ser sustitutos y por ende se espera que la elasticidad cruzada sea positiva.

Luego de explicar las definiciones de elasticidad propia y cruzada, es posible entrar más a fondo a una revisión de la literatura y evidencia internacional y nacional acerca de las diferentes elasticidades que se observan en el sector transporte y sus valores, parámetros que resultan claves en la evaluación y cálculo de un subsidio al transporte público y que permiten tener un idea de la magnitud de las sensibilidades en este sector.

A pesar de que no todas las elasticidades que muestra la evidencia internacional son aplicables al caso de Chile, lo que se busca a través del estudio de estas sensibilidades es lograr tener una intuición sobre los patrones de comportamiento de los usuarios del transporte público, lo que da una idea de la magnitud y dirección del efecto que podría tener un subsidio al transporte público

### **Evidencia Internacional.- Factores subyacentes que afectan la sensibilidad de la demanda de transporte**

#### 1. Elasticidad promedio de la elasticidad cruzada:

En el caso del transporte, los medios privados como ya se dijo, son sustitutos de los medios de transporte público, por lo cual un aumento del precio de transporte público debería aumentar la demanda por el transporte privado. Esta elasticidad es sumamente importante a la hora de analizar el efecto de un subsidio al transporte público ya que mostrará si efectivamente al bajar la tarifa del transporte público existirá un traslado desde el transporte privado al público. Si la elasticidad cruzada es cero, entonces no se justifica un subsidio al transporte público, o al menos no por el motivo de reducir las externalidades del transporte privado.

Los diferentes estudios internacionales permiten ver que esta elasticidad es diferente de cero y que efectivamente como era de esperar presenta un valor positivo, lo que valida que estos dos tipos de transporte son sustitutos y que es posible afectar la demanda del transporte privado, bajando el precio de la tarifa del transporte público.

Un ejemplo de esto es el resultado encontrado para la ciudad de Denver EE. UU (Pratt 2000) donde la elasticidad cruzada tiene un valor de 0.14. Otros estudios llevados a cabo a nivel internacional muestran que el valor promedio de esta elasticidad se encuentra entre 0.1 y 0.3 (Litman 2004), lo que muestra que efectivamente un cambio en la tarifa del transporte público tendrá un efecto en la demanda por transporte privado

La elasticidad cruzada de viajes en automóvil con respecto al precio del bus, presenta variaciones dependiendo del horizonte temporal a considerar, si evaluamos el corto plazo o el largo plazo. Según Litman (2004), la elasticidad

cruzada en el corto plazo es aproximadamente 0,05 mientras que en el largo plazo aumenta, alcanzando valores equivalentes a 0,3 e incluso 0,4. Esta gran variación se explica debido a que las opciones que presentan los individuos son fijas en el corto plazo, y por ende la demanda se vuelve bastante inelástica puesto que los individuos no tienen más opciones que usar el transporte público. Sin embargo, en el largo plazo, los individuos pueden adquirir un automóvil y así presentar una demanda más elástica ante cambios en el precio del pasaje en bus. Esta gran diferencia en elasticidades puede originar grandes problemas en las estimaciones realizadas para calcular los efectos de las políticas públicas. Generalmente, el horizonte a considerar cuando se evalúan los efectos de una cierta política es el corto plazo (Litman 2004). Esto tiene como resultado una subestimación de los efectos positivos que podría tener un aumento en el subsidio del transporte público en el largo plazo. Al considerar el valor de la elasticidad cruzada de corto plazo, una disminución en el pasaje del bus originaría que una determinada cantidad de pasajeros se cambiara al transporte público. Sin embargo estaríamos excluyendo los efectos positivos de todas aquellas personas que derivado de la baja del pasaje, no comprarían un auto en los próximos años, no aumentando así la congestión, contaminación ni número de accidentes.

Finalmente, los efectos cambiarán dependiendo si la respuesta en el cambio de número de viajes es simétrica ante aumentos y disminuciones de la tarifa. Algunos datos un poco limitados sugieren que no existe una diferencia significativa en la respuesta de viajes ante aumentos o disminuciones del valor del pasaje (Mayworm, Lago & McEnroe, 1980).

## 2. Elasticidad propia:

La evidencia internacional muestra que la elasticidad propia de la demanda de viajes en bus con respecto a su propia tarifa, varía dependiendo de ciertas características como el horario del viaje, motivo del viaje, kilómetros recorridos y según disponibilidad de auto e ingreso familiar.

- Elasticidad propia según horario del día (peak vs off-peak):

La evidencia internacional muestra que cambios en las tarifas afectan de mayor manera la cantidad de viajes realizados en el transporte público en las horas off-Peak. Esto quiere decir que incluso sin cambiar la relación proporcional entre viajes fuera y dentro del horario punta, cambios en las tarifas afectarían la distribución entre estos viajes ya que se observa que de aumentar la tarifa, la diferencia entre viajes en horario punta y fuera de punta aumentará, en cambio de bajar la tarifa esta diferencia disminuirá, ya que los viajes fuera del horario Peak son más sensibles a las variaciones de precios.

Esto se refleja al analizar los datos entregados por la Asociación Americana de Transporte Público (APTA), que considera los cambios en las tarifas llevados a cabo por 52 sistemas de transporte público en Estados Unidos, donde se observa que la elasticidad promedio de viajes en horario fuera de punta es -0.42, mientras que para horarios punta la elasticidad promedio es de -0.23.

Otro estudio realizado por APTA en el año 1991, analizó los datos para 6 sistemas de buses distintos en Estados Unidos, obteniendo de manera consistente un patrón de mayor elasticidad en los periodos off-peak. La elasticidad fuera de los horarios punta llegó a ser el doble de la elasticidad promedio en los horarios punta (Linsalata & Pham, 1991).

La explicación más común para esta gran diferencia en la respuesta de los pasajeros, es que existe una concentración de los viajes por motivos de trabajo y de estudios (colegio, universidad) en el horario peak. Estos viajes son realizados a diario y son principalmente no discrecionales. Por lo cual en el caso de los viajes en horario punta, existirá una baja disminución de viajes ante aumentos en la tarifa. En contraste, los viajes fuera del horario de punta son realizados por otros motivos, tales como recreacionales, médicos, compras, etc. La elección de estos viajes es una variable más discrecional, y por tanto existirá una mayor respuesta ante cambios en el valor del pasaje.

- Elasticidad propia según propósito del viaje (trabajo vs recreación):

Tal como lo indicamos en el punto anterior, las diferencias entre las elasticidades de los viajes fuera y en horario punta se explican principalmente por las diferencias en las elasticidades según el tipo de viaje que se realice, ya que los viajes de recreación que generalmente se llevan a cabo fuera de horario punta son más sensibles a los precios que los viajes con motivo de trabajo que se realizan a diario en su mayoría en horario punta. Un ejemplo de esto es la diferencia existente entre las elasticidades por viajes por motivos de compra con respecto a la tarifa que varían entre -0.32 y -0.49 y las elasticidades de los viajes con motivo de trabajo que se encuentran entre un rango de -0.1 y -0.19 (Litman 2004).

Según un estudio realizado por una universidad federal en Estados Unidos alrededor de los años 80, y comparando los resultados en 3 ciudades distintas (Baltimore, Birmingham y Richmond), la elasticidad de los viajes en bus con motivo de trabajo varía entre -0.05 y -0.09. En el caso de viajes realizados con motivo de compras, la elasticidad varía entre -0.15 y -0.25 (Habib et al, 1978).

- Según kilómetros recorridos:

La elasticidad precio de la demanda va a presentar distintos valores dependiendo de la cantidad de kilómetros que comprende el viaje a realizar. Según la evidencia internacional, viajes superiores a 3 millas presentan una elasticidad equivalente a -0,29 mientras que viajes inferiores a 1 milla presentan una elasticidad igual a -0,55 (Gillen, 1994). Dicho de otro modo, los pasajeros que realizan viajes cortos poseen una demanda más elástica que aquellos que realizan viajes largos, es decir, presentan mayores cambios en su nivel de demanda ante cambios en la tarifa del transporte.

Esta conclusión parece bastante realista ya que considerando una persona que debe realizar un viaje corto, podría elegir desde caminar hasta ir en auto, dependiendo del costo directo que tenga cada una de las opciones para el individuo. Sin embargo, al momento de realizar viajes más largos, existen otros

factores más relevantes (comodidad, seguridad, tiempo de viaje) que el precio en la elección del medio de transporte, además de existir menores sustitutos.

- Según disponibilidad de auto / ingreso familiar:

Es posible observar que existen diferencias en el comportamiento con respecto a variaciones en las tarifas del transporte público de aquellas personas que poseen un auto propio o sea que pueden decidir que sistema de transporte utilizar con aquellos que no poseen un vehículo propio. Aquellos que pueden decidir son más sensibles a los cambios en las tarifas, tal como lo muestra un estudio realizado en Londres que mostró que aquellos que poseen vehículo, o sea que pueden decidir como trasladarse presentan una elasticidad de -0.41, mientras que aquellos que no tienen disponibilidad de un vehículo poseen una elasticidad de -0.1 (Litman 2004).

En el caso de la elasticidad promedio de las personas propietarias de auto, en horario off-peak alcanza un valor de -0.19. Este valor fue obtenido gracias a la demostración de Trenton realizada a fines de los años 70 (De Leuw, Cather & Company, 1979).

Este análisis se relaciona también con el efecto que tiene el nivel de ingreso en la elasticidad con respecto a la tarifa, ya que basándonos en la discusión de que tener la disponibilidad de un automóvil, lleva a ser más sensible ante las variaciones en la tarifa, se debería dar que individuos con mayor ingreso sean más sensibles a los cambios en las tarifas. Sin embargo existen argumentos contrarios que apuntarían a que mientras más alto sea el nivel de ingreso, menor será la sensibilidad a las variaciones de las tarifas ya que el pago por estas variaciones resulta relativamente insignificante con respecto a los gastos totales cuando los ingresos son altos.

Estudios llevados a cabo en Estados Unidos muestran que personas con mayores ingresos poseen una mayor sensibilidad al precio de la tarifa que aquellas con menores ingresos, siendo la elasticidad -0.28 para individuos con ingresos mayores a US\$15.000 y -0.19 para individuos con ingresos menores a US\$5.000 (Gillen, 1994).

### 3. Según el servicio de transporte público

La totalidad de las elasticidades antes mencionadas muestran las sensibilidades propia y cruzada con respecto a la tarifa del transporte públicos. La evidencia internacional muestra que además de estas resulta sumamente interesante estudiar otra elasticidad, la cual considera la demanda por transporte público usando como variable de control la calidad del servicio, esta permite mostrar como varía la demanda cuando cambia la calidad del servicio, resultado que podría ser interesante si consideramos que un subsidio al transporte público no solo se puede ver reflejado en una disminución de la tarifa, sino que también en una mejora del servicio. La elasticidad según el servicio queda determinada por distintos factores, tales como disponibilidad, conveniencia, rapidez y comodidad. Estos son factores que afectan la elasticidad de corto plazo, pero a largo plazo existen otros determinantes tales como rutas en nuevos sectores o una mayor frecuencia de buses.

Según Litman (2004), el valor sugerido de la elasticidad del uso de transporte público ante variaciones de su frecuencia se encuentra entre 0,5 y 0,7 en el corto plazo. Si consideramos el largo plazo (donde todas las elasticidades demuestran aumentar sus valores) obtenemos que la elasticidad se encuentra entre 0,7 y 1,1. Esta conclusión es bastante relevante debido a que demuestra que en el largo plazo, ante un incremento de un 1% en la frecuencia, podría originar hasta un aumento de un 1,1% en el uso del transporte. Al incrementar la frecuencia, logramos incrementar en mayor medida su uso, y de manera indirecta, desincentivar el uso de transporte privado.

Por otro lado, Pratt (1999) estudia la inserción de un nuevo servicio de buses en una comunidad donde antes no existía el transporte público, obteniendo como resultados que el nuevo servicio logra normalmente alcanzar entre 3 y 5 viajes anuales per cápita. Por otro lado, la extensión del servicio a nuevas rutas resulta en una elasticidad entre 0.6 y 1.0 (Litman, 2004).

La revisión de la literatura internacional permite descubrir que existen una serie de variables que pueden influir finalmente en la implementación de un subsidio al

transporte público. Dentro de los resultados existen algunas conclusiones internacionales que no son aplicables a nuestro país, pero otras resultan fundamentales para el modelo presentado en el capítulo anterior y permiten obtener directrices sobre los resultados que se esperarían encontrar en nuestro país. Las principales conclusiones que poseen alguna aplicabilidad en nuestro país son las siguientes:

- Efectivamente, el valor de la elasticidad cruzada según los estudios internacionales es un valor distinto de cero y positivo. Esto sugiere que sí existiría un aumento en la demanda por transporte público ante aumentos en el precio del transporte privado o una reducción en los viajes en transporte privado ante una baja en la tarifa del transporte público.
- En el largo plazo, todos los individuos son más sensibles a variaciones en el precio del transporte, ya que en el largo plazo pueden variar sus decisiones de consumo y ajustarlas dependiendo de la tarifa de los buses dado también que en el largo plazo existen posibilidades de inversión.
- La elasticidad propia de la demanda del bus con respecto a su propia tarifa, se observa que varía dependiendo de si los viajes se realizan en horario punta (menos sensibles) o no punta, además se ve que los viajes con motivo de trabajo son menos sensibles que aquellos con fines recreacionales, también se observa que aumenta la sensibilidad de la demanda del transporte público con respecto a la tarifa cuando disminuyen los kilómetros recorridos por viaje. A pesar de estas variaciones todas las elasticidades son negativas, lo que indica que un aumento en la tarifa del transporte público disminuye su demanda por viajes.

Luego de revisar la evidencia internacional referente a los distintos tipos de elasticidades existentes en el sistema de transporte, vamos a aterrizar estos datos a la realidad chilena para verificar si los resultados encontrados en nuestro país van en la misma línea de la evidencia internacional

## **Evidencia nacional**

Mediante los parámetros implícitos del modelo ESTRAUS, se estimó la elasticidad cruzada para la demanda de viajes por modo en Santiago, Chile (Fernández y De Cea, 2005). El modelo ESTRAUS es un modelo computacional para la solución de problemas de equilibrio oferta- demanda en redes multimodales de transporte urbano con múltiples clases de usuarios. El cálculo de la elasticidad cruzada del transporte privado ante el precio del transporte público se llevo a cabo considerando usuarios en horario punta mañana con propósito de trabajo y el valor encontrado para la elasticidad cruzada fue de 0,109. Esto implicaría que una disminución en la tarifa de los buses de 1% implicaría una disminución de 0,109% en la demanda de transporte privado. Por ende un aumento en el subsidio del transporte público, sí lograría disminuir los viajes en automóviles privados en Santiago. Esto a su vez, lograría disminuir las externalidades negativas causadas por el transporte privado, tales como: la contaminación, congestión o cantidad de accidentes.

Este resultado encontrado es congruente con las conclusiones obtenidas a nivel internacional, ya que se encuentra en el rango que el estudio de Litman (2004) presenta para las elasticidades cruzadas (0.1 a 0.4). Pero a pesar de estar en el rango, el resultado para Chile se encuentra muy cercano a la cota inferior lo que indicaría que la sensibilidad cruzada de la demanda por transporte privado con respecto a la tarifa de los buses es baja en comparación con lo que se observa en otros países.

La elasticidad propia de la demanda de transporte público con respecto a su propia tarifa para nuestro país, al igual que la evidencia internacional presenta un valor negativo, que en este caso es -0.195 (Fernández y De Cea 2005) lo que apoya la teoría de que un subsidio que se traduzca en una disminución de la tarifa aumentará la demanda por transporte público.

Esto permite ver que los resultados encontrados para nuestro país a pesar de ir en la misma dirección y ser congruentes con la evidencia internacional, son

relativamente bajos. Lo que indicaría que los usuarios chilenos son menos sensibles a cambios en la tarifa del transporte público.

Existe, sin embargo, un factor que no se considera en los estudios intencionales pero que juega un importante papel en nuestro país, los taxis colectivos. Un subsidio al transporte público que significara reducciones en las tarifas probablemente lograría cambiar pasajeros desde los taxis colectivos hacia los buses, sobre todo a nivel regional donde existe un mayor grado de sustitución entre los buses y los colectivos. Esto hace que sean importantes de considerar ya que si bien, las externalidades de los autos colectivos son menores a las provocadas por los autos privados, aún así son mayores que las originadas por el transporte público.

Según parámetros internacionales (Buchanan 1964), en términos de congestión, debemos considerar el concepto de vehículo equivalente (v.e.) donde 1 auto es igual a 1.0 v.e., un colectivo también sería 1.0 v.e. mientras que un bus urbano correspondería aproximadamente a 2.5 v.e. Las diferencias se originan en las tasas de ocupación de cada medio de transporte. En el caso del automóvil privado, son transportados en promedio, 1.25 pasajeros. Un colectivo posee una tasa de ocupación entre 3-3.5 pasajeros y finalmente el bus, transporta en promedio 40 pasajeros.

Por lo tanto, aunque se observa que las elasticidades encontradas para Chile, especialmente la elasticidad cruzada, son relativamente bajas si se comparan con los resultados en la evidencia internacional, no se está considerando que además de la sustitución entre transporte público (buses) y automóviles privados, existe también una sustitución y posiblemente mayor entre los viajes en colectivo y transporte público, elemento que no considera la evidencia internacional ni los modelos llevados a cabo para Chile.

## Conclusiones

Actualmente se observa en muchos países desarrollados que existe un subsidio al transporte público, este subsidio como se presentó anteriormente se puede justificar en dos argumentos principales, estos son el efecto Mohring y las externalidades negativas producidas por el transporte, que son mayores para el transporte privado que para el público por pasajero transportado.

Ambos argumentos se pueden ver claramente en la siguiente fórmula que muestra la tarifa del transporte público:

$$\tau_b = X_B + CMg_b^s - (\bar{\tau}_a - (CMg_a - CMe_a) - CMg_a^s) \frac{(-B''_{AB})}{(c'_a(q_a) - B''_{AA})}$$

Donde, el impuesto a los combustibles  $\bar{\tau}_a$  logra internalizar todos los efectos del transporte privado. El resto de las externalidades quedan representadas por los costos marginales sociales de cada sistema de transporte.

Por lo cual el subsidio óptimo quedara determinado por la diferencia entre la tarifa óptima calculada y los costos de agencia.

La sensibilidad de la demanda por viajes en transporte privado ante cambios en su propio precio y cambios en el precio del transporte público, determinan la importancia del impuesto a los combustibles y de las externalidades del transporte privado.

Además,

$$X_B = (Cmg_b^{usuarios} - Cme_b^{usuarios}) + c_b^{agencia} + (Cmg_b^{agencia} - Cme_b^{agencia})$$

El primer término de la ecuación anterior representa las economías de escala existentes para los usuarios de transporte público o efecto Mohring, el cual se

origina gracias a que cada pasajero adicional logra densificar la red de transporte y con esto disminuir los tiempos de espera para todos los usuarios.

El segundo término representa los costos operativos del servicio público.

El tercer término explica las economías de escala propias del sistema de transporte público.

Sin embargo, considerando que el efecto de las economías de escala en los costos de operación del sistema de buses es cercano a cero, obtenemos 2 conclusiones principales que justificarían el subsidio.

En primer lugar se observa el efecto Mohring que corresponde a las economías de escala de los usuarios y dado que  $\partial \tau_B / \partial (Cmg_b^{usuarios} - Cme_b^{usuarios}) \geq 0$ , obtenemos que un aumento en este efecto significaría un aumento en el subsidio al transporte público.

En segundo lugar se encuentran las externalidades negativas tanto del transporte privado como público donde sabemos que  $Cmg_b^s \leq Cmg_a^s$  por pasajero transportado. Además considerando que  $\partial \tau_a / \partial Cmg_a^s \geq 0$ , se tendría que el aumento de cualquiera de las externalidades del transporte público implicaría un aumento en el subsidio del transporte público.

Esto indicaría que aún cuando no se considera el efecto de economías de escala sobre los costos de usuario de transporte público, existe otro argumento que justifica el subsidio al transporte público. Esto ocurre debido a la existencia de una diferencia entre los costos marginales sociales y privados, lo que impide alcanzar un resultado socialmente eficiente sin la intervención del Estado, puesto que los usuarios de automóviles no internalizan todos sus costos.

Como solución a este problema se propone la imposición de tarificación vial. Los peajes permiten internalizar una parte de las externalidades, al actuar como un impuesto pigouviano a los automóviles y buscando generar una solución first best. Sin embargo, los peajes no logran internalizar todas las externalidades generadas,

disminuyen la congestión en un cierto tramo vial pero no afectan la cantidad de emisiones generadas por un determinado automóvil. Por este motivo, se propone la existencia de un impuesto a los combustibles, ya que logra internalizar de mejor manera las externalidades tales como congestión y contaminación. Además el impuesto a los combustibles logra afectar decisiones tales como número de viajes a realizar, número total de kilómetros recorridos, rendimiento del automóvil y tasa de ocupación.

Si bien el impuesto a los combustibles logra internalizar varias externalidades e incluso afectar decisiones de largo plazo (tales como la elección de un automóvil basado en su rendimiento), existen costos sociales que no logra internalizar. Por ejemplo, un alza en el impuesto de los combustibles que tenga como resultado la elección de un automóvil con mayor rendimiento, no afectará el número de accidentes viales ni disminuirá la congestión vial. En este caso, para afectar dichas variables será necesario imponer un impuesto que disminuya el número de viajes a realizar en transporte privado o imponer un impuesto a los combustibles lo suficientemente alto como para disminuir el número de viajes a realizar.

Mientras el impuesto a los combustibles no logre un equilibrio óptimo en el mercado del transporte privado, será necesario buscar una solución *second best*, donde mediante el incentivo del transporte público se logre disminuir el uso de automóviles. En este modelo conjunto, donde se considera la interacción de ambos mercados y la sustitución entre ambos medios de transporte, el impuesto a los combustibles tiene un rol fundamental en la determinación del subsidio óptimo ya que variaciones en el impuesto afectarán el nivel del subsidio al transporte público.

Otro punto importante a considerar es que el valor obtenido al utilizar esta fórmula puede estar subvaluando el valor real del subsidio, esto dado el importante rol que juegan los taxis colectivos en nuestro país, especialmente en regiones y que acá no ha sido considerado. Los viajes en taxis colectivos actúan como sustitutos de los viajes en automóviles y en bus, produciendo menores externalidades que los viajes en auto pero considerablemente mayores externalidades que los viajes en transporte público.

Por lo tanto, la inclusión de este tercer medio de transporte en nuestro modelo, permite que variaciones en el precio del transporte público logren también afectar el número de viajes realizado en taxis colectivos. De esta manera, incluiríamos la elasticidad cruzada existente entre demanda por viajes en taxis colectivos y variaciones en el precio del sistema público. Un aumento en el subsidio del transporte público no sólo disminuiría el número de viajes en automóvil sino también disminuiría la cantidad de viajes realizados en taxis colectivos, logrando captar pasajeros de 2 sectores distintos, obteniendo un mayor aumento de la demanda por viajes en bus y mayor disminución de las externalidades en el sistema de transporte chileno.

La correcta fijación de variables de control que afectan el nivel del subsidio, tales como el impuesto a los combustibles, puede facilitar un nivel de subsidio óptimo, donde cada medio de transporte sea capaz de internalizar sus propias externalidades y permita usar de manera favorable las economías de escala propias de cada medio.

El subsidio al transporte público busca cambiar las decisiones de aquellos individuos que pueden optar entre usar el transporte público o privado, incentivando el uso de buses para así reducir la contaminación, congestión y número de accidentes en Santiago.

## Bibliografía

Fernández & De Cea Ingenieros Ltda., Estimación Elasticidad Cruzada del Precio del Bus en Demanda del Auto.

Jara-Díaz, Sergio & A. Gschwender (2005) Making Pricing Work in Transport Provision. In: *Handbook of Transport Strategy, Policy and Institutions* (K. Button and D. Hensher, ed.), pp. 447-459. Pergamon Press, Oxford.

Litman, Todd (2004) Transit price elasticities and cross-elasticities, *Journal of Public Transportation*, Vol. 7, No. 2.

Mohring, Herbert (1972) Optimization and Scale Economies in Urban Bus Transportation, *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 62(4), pages 591-604, September.

Parry, Ian W.H. & Kenneth A. Small (2005) Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax?, *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 95(4), pages 1276-1289, September.

Parry, Ian W.H. & Kenneth A. Small (2009) Should Urban Transit Subsidies Be Reduced?, *American Economic Review*, American Economic Association, Vol. 99(3), Pages 700-724, June.

Pratt, et al (2000) Traveler Response to Transportation System Changes, Interim Handbook, TCRP Web Document 12.

Small, Kenneth & Erik Verhoef (2007) *The Economics of Urban Transportation*.