

---

## ELASTICIDADES DE LA DEMANDA DEL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: SÍNTESIS E INTERRELACIONES.

Antonio Gschwender y Sergio R. Jara-Díaz  
Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil  
Casilla 228-3, Santiago, Chile  
Fono: (56 2) 978 4380, Fax: (56 2) 689 4206,  
E-mail: [agschwen@yahoo.com](mailto:agschwen@yahoo.com)

### RESUMEN

Aunque la congestión y los problemas medioambientales hacen del aumento de usuarios de transporte público uno de los objetivos declarados más comunes en políticas de transporte urbano, las medidas para lograrlo suelen ser menos exitosas de lo esperado, incluso contraproducentes. En este artículo establecemos relaciones teóricas entre diversos tipos de elasticidades y revisamos exhaustivamente la evidencia empírica, lo que permite entender mejor de qué forma la demanda por transporte público ( $D_{TP}$ ) es afectada por diversas variables.

Salvo para la tarifa, cuya elasticidad de corto plazo se estima entre -0,2 y -0,6, por lo general no se encuentran en la literatura valores suficientemente robustos como para generalizarlos. Aunque la evidencia es escasa, se reconoce la importancia de variables como la confiabilidad, frecuencia, transbordos, estructura tarifaria, ingreso, desempleo y motorización, avalada por algunas experiencias exitosas en ciudades europeas que han logrado aumentar su  $D_{TP}$ . Análisis teóricos permiten revelar efectos no inmediatos que variables como el ingreso tienen sobre la  $D_{TP}$ .

*Palabras clave:* elasticidades, transporte público urbano, demanda.

### ABSTRACT

Due to congestion and environmental problems, increasing public transport use is one of the most common declared aims in urban transport policy. However, measures designed to achieve this objective are often less successful than expected, sometimes even counterproductive. In this article we establish theoretical relationships between different types of elasticities and review thoroughly the empirical evidence, which allows a better understanding of the effect of different variables on public transport demand ( $D_{TP}$ ).

With the exception of the fare elasticity, whose short-run value is estimated to be between -0.2 and -0.6, it is not possible to find elasticity values robust enough to be generalized. Although there is little evidence about them, the relevance of variables like reliability, frequency, transfers, fare structure, unemployment and motorization is recognized, supported by some successful experiences in European cities that have managed to increase significantly their  $D_{TP}$ . Theoretical analyses show non-immediate effects of variables like the population income on  $D_{TP}$ .

*Keywords:* elasticities, urban public transport, demand.

## 1. INTRODUCCIÓN Y MARCO DE ANÁLISIS

Analíticamente, la demanda total por transporte público en un período,  $D_{TP}$ , puede ser representada como

$$D_{TP} = \sum_i \sum_j T_{ij} S_{ij}^P, \quad (1)$$

donde  $T_{ij}$  es el número total de viajes en el período entre las zonas  $i$  y  $j$ , y  $S_{ij}^P$  es la proporción de viajeros que utiliza transporte público en el mismo par. Esta representación permite visualizar de manera simple algunos elementos importantes. En primer lugar, los viajes en transporte público dependen del número total de viajes en el área urbana  $\sum_i \sum_j T_{ij}$ , el que a su vez depende de

variables macrourbanas como el número de empleos, de estudiantes o el ingreso de la población (modelo de **generación** de viajes). En segundo lugar, sólo contribuyen al total aquellos pares de zonas que son servidos por transporte público, lo que está determinado por el alcance de la red (de recorridos de buses, de metro, etc.). Por último, la proporción de usuarios que usa transporte público entre cada par de zonas depende de la atracción **relativa** de éste con respecto a las alternativas en cuanto a precio, comodidad, confiabilidad, seguridad y tiempos de acceso, espera, viaje y egreso. Obviamente, estas características serán más importantes en la medida que existan alternativas (disponibilidad de vehículo privado); si no existen, se habla de usuarios cautivos.

Sobre esta base se puede establecer una relación entre los efectos a diferente nivel sobre la  $D_{TP}$ , analizando un cambio en la tarifa de transporte público,  $P_{TP}$ , generalizable a toda variable que afecte  $D_{TP}$ . De la ecuación (1) se obtiene

$$\frac{\partial D_{TP}}{\partial P_{TP}} = \sum_i \sum_j \left( \frac{\partial T_{ij}}{\partial P_{TP}} S_{ij}^P + T_{ij} \frac{\partial S_{ij}^P}{\partial P_{TP}} \right). \quad (2)$$

Cabe observar que, a nivel de cada par de zonas, hay un efecto sobre los viajes totales en el par y uno sobre la proporción de usuarios de transporte público; el primero de ellos refleja un efecto combinado de generación y distribución. Si se multiplica y divide adecuadamente la expresión (2) se obtiene una primera versión de la elasticidad precio de la demanda total por viajes en transporte público,  $\eta_{TP}$ .

$$\eta_{TP} = \frac{1}{D_{TP}} \sum_i \sum_j \left( \frac{\partial T_{ij}}{\partial P_{TP}} P_{TP} S_{ij}^P + T_{ij} P_{TP} \frac{\partial S_{ij}^P}{\partial P_{TP}} \right) \quad (3)$$

Al multiplicar y dividir el primer y segundo término en paréntesis por  $T_{ij}$  y  $S_{ij}^P$  respectivamente, se forman las elasticidades de los viajes en cada par y de la proporción de viajes en transporte público. Como ambas quedan multiplicadas por los viajes en transporte público en cada par, al introducir los viajes totales dividiendo cada término de la sumatoria se obtiene finalmente

$$\eta_{TP} = \sum_i \sum_j Prop_{ij} (\eta_{ij} + \eta_{sij}), \quad (4)$$

donde aparece la proporción que los viajes en transporte público en el par  $i-j$  significan con respecto al total ( $Prop_{ij}$ ), multiplicando a la suma de las elasticidades precio (transporte público) de los viajes totales en el par ( $\eta_{ij}$ ) y de la proporción de ellos que se hace en transporte público ( $\eta_{Sij}$ ). Como esta suma representa la elasticidad precio de los viajes en transporte público en el par respectivo,  $\eta_{TP}$  es un promedio ponderado de ellas. El resultado sintetizado en la ecuación (4) es válido para cualquier variable que influya sobre  $D_{TP}$ . Ella es interesante no sólo por la relación estricta que establece entre la elasticidad global, las interzonales y las modales, sino también porque permite estudiar en términos prácticos algunos rangos si se dispone de una matriz origen-destino de viajes en transporte público y de estimaciones (o rangos de valores) de las elasticidades locales. Debe recordarse que esta relación rige por período.

Nótese que para un único par origen-destino, la ecuación (4) se reduce a

$$\eta_{TP} = \eta_T + \eta_S , \quad (5)$$

donde  $\eta_T$  representa la elasticidad del número total de viajes y  $\eta_S$  corresponde a la elasticidad de la partición modal del transporte público a la variable correspondiente.

En general, dado un nivel y distribución de la actividad urbana (incluyendo la red de transporte), hay varios factores cuyo efecto sobre la  $D_{TP}$  es importante de entender. En la literatura es posible encontrar estimaciones de la elasticidad de la  $D_{TP}$  con respecto a diversas variables, aunque sólo para algunas de ellas hay estudios suficientes como para concluir acerca de valores generales. Según la síntesis de Webster y Bly (1980), las variables para las que existe mayor información cuantitativa de su impacto sobre la  $D_{TP}$  son la tarifa, el nivel de servicio (representado por veh-km) y el nivel de ingreso de la población. Otras revisiones interesantes sobre el tema son Goodwin (1992), quien enfatiza las diferencias de plazo, Litman (2004), quien se concentra en las elasticidades precio, y Balcombe et al. (2004), donde se actualiza el reporte de Webster y Bly considerando la evidencia surgida en las últimas décadas.

Según evidencia de Hong Kong, los atributos que los usuarios declaran como más importantes en el transporte público son frecuencia, confiabilidad, tarifa, velocidad y confort (Cullinane, 2003); para un grupo importante la confiabilidad del tiempo total de viaje estaba incluso en el primer lugar. Comparando el número de pasajeros por kilómetro en diferentes sistemas de tranvías en ciudades desarrolladas, Hass-Klau y Crampton (2002) identifican los factores que explican más significativamente el uso de estos sistemas: la proporción de pasajeros que usa abono de transporte, la cantidad de calles peatonizadas en el centro de la ciudad, la densidad de población en torno a las líneas de tranvía y el nivel de las tarifas. En el caso de áreas con servicios de baja frecuencia, algunos factores que pueden incidir favorablemente en la demanda son la disponibilidad de información de los horarios, el que ellos sean fáciles de recordar y que las conexiones entre servicios signifiquen bajos tiempos de espera en los transbordos (Litman, 2004).

## 2. ELASTICIDAD PRECIO

A partir de la revisión de estudios elaborados en la década de 1970 con información de varios países desarrollados, Webster y Bly (1980) encuentran valores de la **elasticidad precio global** ( $\eta_{TP}$ ) que varían entre -0,1 y -0,6, con un valor promedio de -0,3. Kain y Liu (1999) reportan una

elasticidad tarifa de -0,3 obtenida a partir de información de sección cruzada de 75 grandes operadores de transporte público en EE.UU. Bresson et al. (2003) estiman una elasticidad tarifa cercana a -0,3 para un panel de datos de 62 áreas urbanas francesas entre 1987 y 1995. Un análisis no publicado realizado el 2003 a partir de los modelos de demanda de ESTRAUS arrojó una elasticidad precio de la  $D_{TP}$  cercana a -0,3 para Santiago. Llama la atención la similitud de la elasticidad precio global en diferentes partes del mundo. La ecuación (4) sugiere que habrá elasticidades mayores y menores por par de zonas.

Los valores de la elasticidad precio global indicados en el párrafo anterior corresponden al corto **plazo**; hay evidencia de que en el largo plazo son mayores. De Rus (1990) estima modelos estáticos y dinámicos (series de tiempo) para varias ciudades españolas. Las elasticidades de mediano plazo resultan, en promedio, 1,46 veces mayores que las de corto plazo. Litman (2004) indica que la elasticidad tarifa se encuentra usualmente entre -0,2 y -0,5 en el corto plazo (primer año), pero crece hasta -0,6 a -0,9 en el largo plazo (cinco a diez años). Bresson et al. (2003) también obtienen elasticidades de largo plazo que aproximadamente duplican las de corto plazo. Además encuentran que a los seis años ya se había completado el 99 % del efecto de largo plazo. Goodwin (1992) revisa 50 estudios de elasticidad de la demanda por bus principalmente en Gran Bretaña, a partir de los cuales reporta una elasticidad precio promedio de -0,28 en el corto plazo y -0,55 en el largo plazo. Balcombe et al. (2004) reportan valores promedio para las elasticidades tarifa del bus de -0,4 en el corto plazo (uno a dos años), -0,56 en el mediano plazo (cinco a siete años) y -1,0 en el largo plazo (12 a 15 años). En el caso de la demanda por metro reportan elasticidades tarifa de aproximadamente -0,3 en el corto plazo y -0,6 en el largo plazo, mientras que para el tren suburbano el valor de la elasticidad tarifa de corto plazo es alrededor de -0,6. Comparando con los valores que se indicaban en Webster y Bly (1980), ellos concluyen que las elasticidades han aumentado (en valor absoluto<sup>1</sup>) en las últimas décadas.

Cuando se estiman elasticidades para **diferentes períodos** se encuentra valores más altos en los períodos fuera de punta que en las horas punta. Esto se debe principalmente a que en la hora punta dominan los propósitos trabajo y estudio, mientras que en los períodos fuera de punta se produce una mayor proporción de viajes con otros propósitos (por ejemplo ocio). Webster y Bly (1980), Goodwin (1992) y Blacombe et al. (2004) indican que las elasticidades precio en fuera de punta son alrededor del doble que en los períodos punta. Litman (2004) recomienda las elasticidades precio global, punta y fuera de punta que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1: Elasticidades precio recomendadas por Litman (2004)**

<b>Período</b>	<b>Corto plazo</b>	<b>Largo plazo</b>
Global	-0,2 a -0,5	-0,6 a -0,9
Punta	-0,15 a -0,3	-0,4 a -0,6
Fuera de punta	-0,3 a -0,6	-0,8 a -1,0

Según Webster y Bly (1980), el valor de la elasticidad precio de la  $D_{TP}$  no parece depender de la **dirección del cambio** (incremento o disminución), conclusión que mantienen Balcombe et al. (2004). No obstante, Hensher y Bullock (1979), Madre (1982) y Litman (2004) afirman que la elasticidad precio es levemente mayor cuando la tarifa se incrementa. A pesar de que Webster y Bly (1980) no encontraron que la elasticidad precio dependiera del **nivel inicial de la tarifa**,

<sup>1</sup> La comparación de elasticidades se realiza en este artículo en valor absoluto.

Bresson et al. (2003), Litman (2004) y Balcombe et al. (2004) encuentran evidencias de elasticidades mayores cuando los precios iniciales son más altos.

Cuando existen tanto **abonos de transporte**<sup>2</sup> como boletos unitarios, la demanda por estos últimos resulta ser más sensible a cambios en su valor que la de los abonos. Matas (2004) estima elasticidades precio para abonos en Madrid que no son estadísticamente distintos de cero. White (1981) sugiere valores despreciables o muy pequeños para la elasticidad precio de los abonos ante aumentos moderados de su precio. Balcombe et al. (2004) citan otros dos estudios que encuentran menores elasticidades precio para los abonos en comparación con los boletos unitarios. Matas (2004) cita dos trabajos que estiman elasticidades de -0,1 y -0,2 respectivamente para un abono mensual, y otros dos que, si bien le parecen menos confiables, muestran evidencia en la dirección contraria.

White (1981) entrega dos argumentos para justificar las menores elasticidades precio de los abonos de transporte con respecto a la de los boletos unitarios. Primero, la mayoría de los usuarios de abonos viajan en períodos punta, cuya elasticidad es menor que en fuera de punta. Segundo, si sólo hubiera boletos unitarios disponibles, un aumento de la tarifa generaría dos efectos: algunos pasajeros cambiarían de modo y otros reducirían su cantidad de viajes, como muestra la ecuación (4). Pero cuando aumenta el precio de los abonos de transporte sólo ocurre el cambio de modo. Los usuarios que permanecen no disminuyen su número de viajes, pues el costo marginal es nulo. Sólo si el aumento de precio es suficientemente alto como para que algunos usuarios dejen de adquirir el abono y vuelvan a utilizar boletos unitarios aparecerá el segundo efecto. Hacemos notar que, en rigor, el efecto de un alza del precio de un abono debe ser estudiado como una reducción del ingreso disponible en el período; si la elasticidad precio del abono es baja, es probable que el efecto sobre  $D_{TP}$  sea prácticamente nulo, pues quienes lo siguen comprando viajarán lo mismo, afectando sólo su consumo de otros bienes y servicios.

En general la  $D_{TP}$  es más sensible a cambios en la tarifa cuando hay más **alternativas disponibles**, tal como muestra la ecuación (4) ya que aumenta la elasticidad en la elección de modo. Según Webster y Bly (1980), en pequeñas distancias que pueden ser caminadas la elasticidad precio de la  $D_{TP}$  es mayor (entre -0,3 y -0,6) que en distancias mayores (-0,1 a -0,3), en las cuales la caminata es una opción poco atractiva. En aquellos pares en que existe el **auto como alternativa**, la elasticidad precio de la  $D_{TP}$  es mayor que en el caso de **pasajeros cautivos del transporte público**, para los cuales se encuentra valores del orden de -0,1 en el corto plazo. Esto también queda claramente explicado por la ecuación (4), ya que  $\eta_{Sij}$  es cero. Sin embargo, quienes son cautivos en el corto plazo no necesariamente lo son en el largo plazo, por lo que, en este último caso, la elasticidad seguramente será mayor.

### 3. ELASTICIDAD VEHÍCULO-KILÓMETRO.

Este tipo de elasticidad ha sido estudiada debido a que cambios en frecuencia y espaciado (densidad de líneas) quedan reflejados en el número de **vehículo-kilómetros** (veh-km) recorridos, aunque hay que tener en cuenta que este indicador también varía si se incorpora nuevas zonas al servicio en estudios de series de tiempo, o se observa redes urbanas de distinto

---

<sup>2</sup> El abono permite un número ilimitado de viajes durante su período de validez (por ejemplo un mes).

tamaño. A pesar de su ambigüedad, el número de estudios es sólo superado por el de tarifas, probablemente debido a la disponibilidad de información. Según Webster y Bly (1980), estudios de **series de tiempo** entregan valores para esta elasticidad desde 0,2 hasta 1,2, con un promedio de 0,7. La misma media y dispersión es obtenida por de Rus (1990) en España. Estos valores seguramente están sobrestimados debido a dificultades para diferenciar causa y efecto, pues se podría estar en presencia de cambios en los veh-km ante cambios exógenos en la demanda. Por su parte, estudios de **sección cruzada** entregan valores desde 0,6 hasta 1,4, con un promedio de 0,7 (Webster y Bly, 1980; Kain y Liu, 1999). Estos valores probablemente también están sobrestimados debido a que las áreas de alta demanda tienden a recibir altos niveles de servicio. Estudios del tipo “**antes y después**” (de variaciones en los veh-km), que son probablemente más confiables, arrojan elasticidades entre 0,2 y 0,5 (Webster y Bly, 1980).

En un estudio más reciente, Bresson et al. (2003) estiman elasticidades veh-km de 0,29 en el corto plazo y 0,57 en el largo plazo en ciudades francesas. A partir de la revisión de unos 25 estudios, Balcombe et al. (2004) reportan elasticidades veh-km promedio de 0,4 y 0,7 en el corto y largo plazo, respectivamente, con elasticidades veh-km mayores en ciudades grandes que en ciudades pequeñas. Es importante hacer notar que en todos estos casos se están considerando redes de tamaño distinto, lo que incide sobre la variable explicada (veh-km) sin cambiar necesariamente el nivel de servicio.

A cobertura constante en área, cambios en el número de veh-km pueden deberse a variaciones en las frecuencias - que impactan el tiempo de espera - o a cambios en la densidad de rutas - que afectan los tiempos de caminata. Algunos estudios analizan directamente estas elasticidades. Webster y Bly (1980) reportan elasticidades con respecto al **tiempo de espera** entre -0,1 y -0,6 con un promedio de -0,4. Estas elasticidades tienden a ser mayores (en valor absoluto) cuando las frecuencias iniciales son menores. Balcombe et al. (2004) reportan una elasticidad para el tiempo de espera de -0,64. Los pocos estudios existentes sobre elasticidad de la  $D_{TP}$  con respecto al **tiempo de caminata** (acceso y egreso) arrojan valores entre -0,1 y -0,5 (Webster y Bly, 1980).

Según estimaciones realizadas en Londres la elasticidad de la  $D_{TP}$  es un 33% mayor cuando la disminución del número de veh-km resulta de eventos no previstos que cuando se debe a cambios planificados en los horarios (Webster y Bly, 1980). Por último, y tal como en el caso de la elasticidad tarifa, la  $D_{TP}$  es más sensible a cambios en el número de veh-km en el caso de viajes más cortos y cuando se dispone de auto, es decir, cuando existen alternativas disponibles.

#### 4. ELASTICIDAD INGRESO

La relación entre el nivel de ingreso real en áreas urbanas y la cantidad de viajes en transporte público es compleja. Esto se debe a la superposición de dos efectos de signo contrario. Por una parte, el número total de viajes  $T$  es creciente con el ingreso, con un efecto de generación positivo sobre la  $D_{TP}$ . Por otra, sin embargo, el aumento del ingreso provoca un aumento en la posesión de automóviles, lo que tiende a disminuir la probabilidad de viajes en transporte público en la medida en que ambos compiten y no se complementan (efecto partición modal)<sup>3</sup>. El problema es aún más complicado si se considera que la posesión de automóvil también tiende a aumentar el

<sup>3</sup> Este es el caso usual, por ejemplo, el porcentaje de viajes en modo combinado auto-TP en Santiago es inferior a 0,5 % (EOD, 2001)

monto total de viajes. Este complejo nudo de relaciones puede ser formalizado a nivel agregado para establecer más claramente la relación entre los diferentes efectos que se superponen. Si  $S_{TP}$  es la proporción de viajes en transporte público a nivel urbano,  $A$  es el número de automóviles e  $I$  es el ingreso real promedio de la población, entonces las relaciones descritas en el párrafo anterior pueden ser representadas analíticamente como

$$D_{TP} = T \cdot S_{TP} \quad (6)$$

$$T = T(I, A) \quad \frac{\partial T}{\partial I} > 0 \quad \frac{\partial T}{\partial A} > 0 \quad (7)$$

$$A = A(I) \quad \frac{\partial A}{\partial I} > 0 \quad (8)$$

$$S_{TP} = S_{TP}(A) \quad \frac{\partial S_{TP}}{\partial A} < 0 \quad (9)$$

En esta formulación se mantiene implícitamente constante las características del sistema de transporte público (red, nivel de servicio y tarifas), pues el objeto es examinar el efecto de una variable exógena como  $I$ . Sintetizando las relaciones (6), (7), (8) y (9) puede observarse directamente el rol múltiple del ingreso sobre la  $D_{TP}$ .

$$D_{TP} = T[I, A(I)] \cdot S_{TP}[A(I)] = D_{TP}(I) \quad (10)$$

Luego,

$$\frac{\partial D_{TP}}{\partial I} = \left( \frac{\partial T}{\partial I} + \frac{\partial T}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial I} \right) S_{TP} + T \frac{\partial S_{TP}}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial I}. \quad (11)$$

La expresión (11) refleja el efecto total de un cambio en  $I$  sobre la  $D_{TP}$ , y puede ser manipulada para convertirla en una relación entre elasticidades, comenzando por multiplicar ambos lados por  $I/D_{TP}$ . Esto conduce, como resultado intermedio, a

$$\frac{I}{D_{TP}} \frac{\partial D_{TP}}{\partial I} = \frac{I}{T} \left( \frac{\partial T}{\partial I} + \frac{\partial T}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial I} \right) + \frac{I}{S_{TP}} \frac{\partial S_{TP}}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial I}, \quad (12)$$

lo que puede ser fácilmente convertido a

$$\eta_I^{TP} = \eta_I^T + \eta_A^T \eta_I^A + \eta_A^S \eta_I^A = \eta_I^T + \eta_I^A (\eta_A^T + \eta_A^S). \quad (13)$$

Recordando la expresión (5), la ecuación anterior puede reducirse a

$$\eta_I^{TP} = \eta_I^T + \eta_I^A \eta_A^{TP}. \quad (14)$$

Esta expresión muestra que la elasticidad ingreso de los viajes totales en transporte público ( $\eta_I^{TP}$ ) puede ser descompuesta en el efecto directo sobre los viajes (efecto generación), representado por la elasticidad  $\eta_I^T$ , y el efecto indirecto a través del número de automóviles, representado por el producto de la elasticidad ingreso de la posesión de automóvil ( $\eta_I^A$ ) y la elasticidad de la demanda por transporte público con respecto al número de autos ( $\eta_A^{TP}$ ). Esta última, como se

demostró en la ecuación (5) y como se ve en la expresión (14), puede dividirse también en un efecto de generación sobre el número total de viajes ( $\eta_A^T$ ) y otro de partición modal sobre la proporción de usuarios de transporte público ( $\eta_A^S$ ). Dados los signos de las derivadas señaladas en las ecuaciones (7), (8) y (9), todas las elasticidades de (14) son positivas, salvo  $\eta_A^S$  (una de las componentes de  $\eta_A^{TP}$ ). Al efecto positivo de un mayor ingreso sobre la  $D_{TP}$  (generación) se opone el de la tasa de motorización.

Para países desarrollados (con tasas de motorización relativamente altas) Webster y Bly (1980) encontraron elasticidades de la  $D_{TP}$  con respecto a la tasa de motorización ( $\eta_A^{TP}$ ) entre -0,1 y -0,8. El efecto de la adquisición de nuevos autos sobre la  $D_{TP}$  depende del nivel prevaleciente de motorización; es bajo si la gran mayoría de la población no posee automóvil o si la mayor parte de los nuevos autos son segundos o terceros, y es importante si la llegada de nuevos autos afecta a gran parte de la población y se trata del primer auto en el hogar. Estudios australianos citados en Webster y Bly (1980) muestran que, si se está adquiriendo primeros autos, la reducción de la  $D_{TP}$  es más fuerte en las horas punta, mientras que si la adquisición es de segundos o terceros vehículos la  $D_{TP}$  se ve más afectada en las horas fuera de punta. Por otra parte, para una tasa de motorización dada, el efecto directo del ingreso sobre la  $D_{TP}$  es negativo en las horas punta y positivo en las fuera de punta, probablemente por el mayor valor subjetivo del tiempo en la punta. La tabla 2 resume los valores de elasticidades involucrados en la ecuación (14).

**Tabla 2: Componentes de la elasticidad ingreso de la demanda por transporte público.**

Elasticidad de la demanda por transporte público con respecto a:	Tren	Bus	Transporte público urbano	Tipo de datos y plazo
<b>Posesión de auto (<math>\eta_A^{TP}</math>)</b>				
Ciudades de Australia		-0,4; -0,8		Serie de tiempo / corto plazo
Reino Unido		-0,3; -0,5		Sección cruzada / corto plazo
Montreal, Canadá			-0,1	Serie de tiempo / corto plazo
<b>Ingreso (<math>\eta_I^{TP}</math>)<sup>(a)</sup></b>				
Ciudades de Australia	-0,2		-0,8	Serie de tiempo / corto plazo
Melbourne, Australia		-0,2		Serie de tiempo / corto plazo
Ciudades de Canadá		-0,16		Serie de tiempo / corto plazo
Ciudades del Reino Unido *			-0,5 a -0,1	Diversos / largo plazo
Ciudades francesas **			-0,05	Panel de datos / corto plazo
Ciudades francesas **			-0,08	Panel de datos / largo plazo
Madrid, España ***			+0,15	Serie de tiempo / corto plazo
Freiburg, Alemania ****			+0,4 a +0,8	Serie de tiempo / corto plazo
<b>Ingreso (<math>\eta_I^T</math>)<sup>(b)</sup></b>				
Holanda	+0,6; +0,7	+0,5; +0,6		Serie de tiempo / corto plazo
Holanda: ciudades grandes			+0,4	Serie de tiempo / corto plazo
Holanda: ciudades pequeñas			+0,8	Serie de tiempo / corto plazo
Montreal, Canadá			+0,2	Serie de tiempo / corto plazo
Reino Unido		+0,5		Serie de tiempo / corto plazo
Reino Unido		< +0,4		Diversos / corto plazo

Fuentes: Webster y Bly (1980), excepto \* : Balcombe et al. (2004), \*\* : Bresson et al. (2003), \*\*\* : Matas (2004), \*\*\*\* : FitzRoy y Smith (1998)

(a) Incluyendo los efectos de generación y partición modal.

(b) Excluyendo el efecto de la tasa de motorización (partición modal).

En general **el efecto neto ha sido que la prosperidad económica disminuye la  $D_{TP}$** , salvo para tasas de motorización bajas o muy altas. En este último caso es esperable que la elasticidad ingreso de la  $D_{TP}$  sea menos negativa (Balcombe et al., 2004) o incluso positiva (Bresson et al., 2003). Sin embargo, hay evidencia en contrario. Matas (2004) obtiene una elasticidad ingreso positiva de 0,15 para el corto plazo al estimar ecuaciones de demanda para buses y metro usando una serie de tiempo entre 1979 y 2001 para Madrid, en tanto FitzRoy y Smith (1998) estimaron elasticidades ingreso de la  $D_{TP}$  entre 0,4 y 0,8 para la ciudad alemana de Freiburg (200.000 habitantes), usando series de tiempo entre 1969 y 1995. Madrid y Freiburg son considerados casos exitosos en términos de mejoras al transporte público y aumento de su demanda. Madrid lo logró tras una serie de medidas implementadas a partir de 1986. En Freiburg la  $D_{TP}$  creció a más del doble entre 1983 y 1995 gracias a una política integrada de mejoramiento del transporte público, restricción al uso del auto y planificación conjunta de transporte y urbanismo. Los casos de Madrid y Freiburg sugieren que en **ciudades grandes y medianas con buenos sistemas de transporte público la elasticidad ingreso de la  $D_{TP}$  puede ser positiva**.

## 5. OTROS FACTORES

Existen otras variables que son relevantes para la  $D_{TP}$ , pero cuyo impacto sobre ésta es menos frecuentemente analizado en la literatura. Bresson et al. (2003) indican que la sensibilidad de los viajeros hacia variaciones en el **tiempo de viaje** (al interior del vehículo) es aproximadamente el doble que hacia variaciones en las tarifas. Sin embargo, Webster y Bly (1980) reportan elasticidades algo menores con respecto al tiempo de viaje en el vehículo, entre -0,3 y -0,5. Balcombe et al. (2004) entregan valores ligeramente mayores tanto para servicios de buses (-0,4 a -0,6) como de trenes urbanos o regionales (-0,4 a -0,9).

Por otra parte, según Webster y Bly (1980) un **transbordo** resulta equivalente a un tiempo de espera extra de 3 ó 4 minutos (además del tiempo real de caminata y espera en el transbordo). Balcombe et al. (2004) indican que un transbordo es percibido como un equivalente de 21 minutos de tiempo de viaje en el vehículo en el caso de viajes en bus (incluyendo tanto la molestia del transbordo como el tiempo adicional de caminata y espera). Hacen notar, sin embargo, que existe una gran variabilidad en estos valores, los cuales pueden ser mucho menores en zonas urbanas con altas frecuencias.

En cuanto a **confiabilidad**, Rietveld et al. (2001) obtuvieron en Holanda que un minuto de incertidumbre en el tiempo de espera es valorado 2,4 veces más que un minuto de tiempo de viaje en el vehículo (preferencias declaradas). Hensher y Prioni (2002) encontraron que un minuto de atraso del bus es valorado como 1,8 veces un minuto de tiempo de viaje al interior del vehículo.

A partir de una sección cruzada de ciudades en EE.UU., Kain y Liu (1999) estiman una elasticidad de 0,25 con respecto al número de **empleos en la zona metropolitana**, y una elasticidad de 0,61 en relación al número de **habitantes en el centro de la ciudad**.

Goodwin (1992) revisa 3 estudios de elasticidades cruzadas de la  $D_{TP}$  con respecto al **costo de la bencina** (costo de operación del auto), encontrando valores en un rango de 0,08 a 0,8 con un promedio de 0,34. Litman (2004) recomienda valores para esta elasticidad cruzada entre 0,03 y 0,1 en el corto plazo, y entre 0,15 y 0,3 en el largo plazo. Un aumento en la **capacidad vial**

**destinada al automóvil** puede implicar una disminución en la  $D_{TP}$  si ambos modos son alternativos (Gschwender, 2000, pp103-106). Así como un aumento de capacidad puede inducir a más tráfico y reducir el uso de transporte público, el efecto contrario también se ha observado empíricamente: disminuciones *planificadas* en la capacidad vial destinada al auto pueden reducir el tráfico total y aumentar el uso del transporte público (Cairns et al., 1998).

## 6. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

La demanda por viajes en transporte público depende en forma compleja de una gran cantidad de variables. Algunas de ellas están relacionadas con el nivel de actividad urbana (variables macrourbanas) e inciden principalmente sobre la generación de viajes en general. Otras variables están directamente relacionadas con el sistema de transporte público, y corresponden gruesamente al alcance de la red, las tarifas y la calidad o nivel de servicio; esto incide sobre su atraktividad relativa al transporte privado, afectando la probabilidad de elección entre uno y otro, cuando tal elección es posible. Un tercer grupo de variables tiene relación precisamente con las características del transporte privado, y también operan a través de la atraktividad relativa; la mera **posesión** de automóvil juega un rol fundamental al aumentar la sensibilidad efectiva de la demanda por viajes en transporte público y otras variables, al existir alternativas (efecto partición modal).

En general las elasticidades de la  $D_{TP}$  son mayores (en valor absoluto) en el largo plazo que en el corto plazo. Además, son menores en el período punta que en fuera de punta. La  $D_{TP}$  agregada parece poco elástica a las tarifas y a los indicadores de calidad propios del sistema (valores usualmente menores que uno en valor absoluto). La elasticidad tarifa de la  $D_{TP}$  es la variable que más se estudia cuantitativamente en la literatura. Su valor se encuentra típicamente entre -0,2 y -0,6 en el corto plazo con un promedio entre -0,3 y -0,4. En el largo plazo los valores son aproximadamente el doble. Esta elasticidad ha aumentado ligeramente en las últimas décadas en países desarrollados, llegándose a valores que en el largo plazo son mayores que 1 (en valor absoluto). Así, si bien en el corto plazo un aumento de tarifa induce un crecimiento en la recaudación, esta puede disminuir en el largo plazo. En cuanto a diferentes estructuras tarifarias, cabe destacar que la elasticidad tarifa de abonos de transporte resulta ser menor que la de boletos unitarios. Aunque con signo contrario, las elasticidades veh-km de la  $D_{TP}$  que se obtiene en los estudios más confiables tienen valores similares a las elasticidades tarifa.

Por otra parte, el aumento de la riqueza provoca, a nivel agregado, más viajes y menos atractivo por el transporte público vía posesión de automóvil, efecto este último que suele dominar en términos netos. Sin embargo, la heterogeneidad zonal en la distribución del ingreso, de la motorización y/o de la red de transporte público en áreas urbanas es causa evidente de análisis específicos en distintos corredores de la ciudad. A medida que las tasas de motorización se acercan a la saturación, aumentos de ingreso de la población pueden traducirse en crecimiento de la  $D_{TP}$ . Por otra parte, la experiencia ha mostrado que en ciudades con muy buenos sistemas de transporte público la elasticidad ingreso de su demanda puede ser positiva.

Existen otras variables cuyo impacto sobre la  $D_{TP}$  parece ser también importante a pesar de que existe poca evidencia cuantitativa al respecto: la predictibilidad del tiempo total de viaje, la

cantidad y condiciones de los transbordos, existencia de abonos de transporte, restricciones al uso del auto, la densidad de población y el nivel de empleo.

El aumento de la  $D_{TP}$  no es un fin en sí mismo, sino que es socialmente deseable en cuanto permita disminuir el uso del auto. Cabe hacer notar, no obstante, que no todo el aumento de  $D_{TP}$  que resulte de cambios en tarifas, servicios, etc. proviene de reducciones en el uso del auto<sup>4</sup>; también puede provenir de aumentos de los viajes en general o de reducciones en los viajes a pie. Los casos más exitosos de aumentos significativos de la  $D_{TP}$  parecen responder a una política integrada de mejoramiento del transporte público y medidas complementarias en planificación urbana y restricción al uso del auto.

## REFERENCIAS

Balcombe, R., R. Mackett, N. Paulley, J. Preston, J. Shires, H. Titheridge, M. Wardman y P. White (2004) The demand for public transport: a practical guide. **TRL Report TRL593**. Crowthorne: TRL Limited. <http://www.demandforpublictransport.co.uk/TRL593.pdf>

Bresson, G., J. Dargay, J.-L. Madre y A. Pirotte (2003) The main determinants of the demand for public transport: a comparative analysis of England and France using shrinkage estimators. **Transportation Research Part A Vol 37**, 605-627.

Cairns, S., C. Hass-Klau y P. Goodwin (1998) **Traffic Impact of Highway Capacity Reductions: Assessment of the Evidence**. Landor Publishing: London

Cullinane, S. (2003) Attitudes of Hong Kong residents to cars and public transport: some policy implications. **Transport Reviews**, **23**, 21-34.

EOD (2001) Encuesta Origen Destino de Viajes 2001 de Santiago. Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte (Sectra), Santiago de Chile.

FitzRoy, F. e I. Smith (1998) Public transport demand in Freiburg: why did patronage double in a decade? **Transport Policy**, **5**, 163-173.

García-Ferrer, A., M. Bujosa, A. de Juan, y P. Poncela (2002) Demand forecast and elasticities estimation of public transport, mimeo. **Universidad Autónoma de Madrid**.

Goodwin, P. (1992) A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price charges. **Journal of Transport Economics and Policy**, **26**, 155-170.

Gschwender, A. (2000) **Caracterización Microeconómica de la Operación del Transporte Público Urbano: un Análisis Crítico**. Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

---

<sup>4</sup> Litman (2004) recomienda elasticidades cruzadas del número de viajes en auto con respecto a la tarifa del transporte público entre 0,03 y 0,1 en el corto plazo, y entre 0,15 y 0,3 en el largo plazo.

Gschwender, A. (2007) **A Comparative Analysis of the Public Transport Systems of Santiago de Chile, London, Berlin and Madrid: What can Santiago learn from the European Experiences?** Tesis de Doctorado, Universidad de Wuppertal, Alemania (*en preparación*).

Hass-Klau, C. y G. Crampton (2002) **Future of Urban Transport - Learning from Success and Weakness: Light Rail.** Environmental and Transport Planning, Brighton, UK., Universidad de Wuppertal, Alemania.

Hensher, D. y R. Bullock (1979) Price elasticity of commuter mode choice: effect of a 20 percent rail fare reduction. **Transportation Research Part A Vol 13**, 193-202.

Hensher, D. y P. Prioni (2002) A service quality index for area-wide contract performance assessment. **Journal of Transport Economics and Policy**, **36**, 93-113.

Iida, Y., T. Akiyama y T. Uchida (1992) Experimental analysis of dynamic route choice behavior. **Transportation Research Part B Vol 26**, 17-32.

Jara Díaz, S. (2000) **Transporte Público Urbano: fundamentos microeconómicos.** Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Kain, J. y Z. Liu (1999) Secrets of success: assessing the large increases in transit ridership achieved by Houston and San Diego transit providers. **Transportation Research Part A Vol 33**, 601-624.

Litman, T. (2004) **Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities.** Victoria Transport Policy Institute, Victoria, BC, Canada. <http://www.vtpi.org/tranelas.pdf> accessed May 2004

Madre, J. -L. (1982) Les différentes catégories de clientèle des transports publics urbains: analyse en évolution. **Rapport CREDOC.**

Matas, A. (2004) Demand and revenue implications of an integrated public transport policy: The case of Madrid. **Transport Reviews**, **24**, 195-217.

Rietveld, P, F. R. Bruinsma y D. J. van Vuuren (2001) Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands. **Transportation Research Part A Vol 35**, 539-559.

Webster, F. V. y P. H. Bly, comp. (1980) **The Demand for Public Transport: an International Collaboration Study.** Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, England.

White, P. R. (1981) "Travelcard" tickets in urban public transport. **Journal of Transport Economics and Policy**, **15**, 17-34.