

Tarifas más bajas o frecuencias más altas, que es lo que la gente quiere? Un modelo microeconómico

Carlos Bueno, Pontificia Universidad Católica de Chile, cebueno@uc.cl

Pablo Guarda, Pontificia Universidad Católica de Chile, paguarda@uc.cl

Patricia Galilea, Pontificia Universidad Católica de Chile, pga@ing.puc.cl

Juan Carlos Muñoz, Pontificia Universidad Católica de Chile, jcm@uc.cl

Juan de Dios Ortúzar, Pontificia Universidad Católica de Chile, jos@uc.cl

RESUMEN

Diferentes estudios sustentan la implementación de subsidios para lograr una adecuada operación de los sistemas de transporte público. Sin embargo, el estado actual de la práctica muestra que muchos los sistemas son diseñados considerando esquemas de autosostenibilidad financiera. Adicionalmente, no se encuentra claramente definido bajo qué condiciones los esquemas de subsidios deben ser usados para aumentar el nivel de servicio o para reducir la tarifa. Este trabajo aborda este problema desarrollando una formulación matemática que determina como el tomador de decisiones puede invertir un monto fijo de subsidio para incrementar la participación de la participación modal de transporte público.

Palabras claves: Transporte público, Subsidios al operador, Subsidios a la tarifa

ABSTRACT

Different studies support the implementation of subsidies to ensure a proper operation of the public bus transport systems. However, in the actual state of the practice most systems are designed under the scheme of financial self-sustainability. In addition, it is not clearly defined under what conditions these subsidies should be used either to increase the level of service or to reduce bus fares. This paper addresses this issue by developing a mathematical formulation to determine how the government can allocate a fix amount of subsidy in order to increase the modal share in the bus public transport system.

Keywords: Public Transport, Operator Subsidy, Fare Subsidy

1. INTRODUCCIÓN

Durante la última década, muchos sistemas de transporte alrededor del mundo han sido reestructurados mediante concesiones privadas. En Latinoamérica, la implementación de estos nuevos sistemas ha tenido diferentes enfoques, teniendo como factor común la restricción presupuestaria en la operación, la cual obliga a la sostenibilidad financiera. Los recursos provienen principalmente de ingresos obtenidos de la venta de pasajes y en algunos casos de la aplicación de subsidios, los cuales no necesariamente son óptimos en términos de minimizar el costo social total del sistema (CAF, 2010). En la literatura, diversos estudios justifican la implementación de subsidios para garantizar una operación adecuada de los sistemas de transporte público (Basso y Jara-Díaz, 2010; Basso et al., 2011)

Para definir cómo asignar los subsidios, Jara-Díaz y Gschwender (2009) formulan un problema de optimización que determina la frecuencia óptima para una línea de buses dada, minimizando los costos totales por hora de la línea en un cierto horizonte de tiempo. Como se muestra en la Ecuación (1), la función objetivo integra tanto los costos operacionales del proveedor del servicio como los costos de los usuarios; el primer término refiere a los costos fijos y costos variables de los operadores, mientras que los dos siguientes términos representan los costos de los tiempos de espera y los tiempos dentro del vehículo de los usuarios, respectivamente. La Ecuación (2) define la restricción financiera de los operadores; los términos del lado izquierdo representan el costo operacional por hora (CO_h) del servicio (igual al primer término de la función objetivo), mientras que los términos del lado derecho son los ingresos económicos totales (A) obtenida por el operador durante el periodo de tiempo analizado.

$$\text{Min } VRC_{\{f\}} = (ft + tY) \left(c_o + c_1 \frac{Y}{f} \cdot \frac{l}{L} \right) + P_w \frac{1}{2f} Y + P_v \frac{1}{L} \left(T + t \frac{Y}{f} \right) Y \quad (1)$$

s.a

$$(fT + tY)(c_o + c_1 K) \leq A \quad (2)$$

Donde

VRC	:	Valor de los recursos consumidos [\$]
f	:	Frecuencia [veh/hr]
K	:	Capacidad [pasajeros/veh]
T	:	Tiempo en movimiento del vehículo [min]
t	:	Tiempo promedio de ascenso y descenso por pasajero[min]
L	:	Distancia de la ruta[km]
l	:	Distancia de viaje [km]
Y	:	Flujo de pasajeros [pasajeros/hr]
c_o	:	Costo fijo por vehículo y por hora [\$]
c_1	:	Costo variable por unidad de capacidad y por hora [\$]
P_w	:	Valor del tiempo de espera [\$/hr]
P_v	:	Valor del tiempo en vehículo [\$/hr]
A	:	Ingresos totales recibidos por el operador [\$]

Jara-Díaz & Gschwender (2009) calculan los ingresos totales obtenidos por el operador como el producto entre el flujo total de pasajeros (Y) y, la suma entre la tarifa que pagan los usuarios y el subsidio (por pasajero) proporcionado por la agencia pública para la operación. Para la formulación propuesta en este trabajo, se hace un ajuste a ésta formulación considerando un monto total de subsidio fijo (S) en el período de tiempo analizado. Por lo tanto, dada una capacidad de la flota K y definiendo c_f como el costo por vehículo y hora, la restricción financiera del operador bajo el esquema de subsidios a la operación que proponemos está dado por la siguiente ecuación

$$(fT + tY)c_f \leq pY + S \quad (3)$$

Donde

- | | | |
|-----|---|----------------------------|
| p | : | Tarifa por pasajero [US\$] |
| S | : | Subsidio total [US\$] |

Por otra parte, nuestro modelo integra las preferencias de los usuarios, puesto que la demanda de transporte público varía en función de los cambios en las tarifas y/o cambios en la frecuencia del servicio. Para cumplir este objetivo, modelamos sus elecciones utilizando la formulación del modelo Logit (Ortúzar y Willumsen, 2011), en la cual la probabilidad de que un individuo q elija el modo i está dada por:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq})} \quad (4)$$

Donde

- | | | |
|----------|---|--|
| β | : | Parámetro de forma (usualmente se iguala 1) |
| V_{iq} | : | Función de utilidad para el individuo q y la alternativa i |
| $A(q)$ | : | Conjunto de alternativas disponibles para el individuo q |

2. MODELACIÓN

Suponiendo que la agencia pública está interesada en maximizar la partición modal en transporte público, este trabajo considera que los cambios en la demanda de usuarios de transporte público generada por la aplicación del subsidio puede lograrse mediante dos estrategias: i) el aumento de la frecuencia del servicio (disminución de los tiempos de espera), o ii) disminución de la tarifa pagada por cada pasajero. A continuación se presentan las formulaciones desarrolladas para cada uno de los esquemas de subsidio.

2.1 Esquema de asignación de subsidios a la frecuencia

Bajo este esquema de subsidiación se produce un cambio en ΔCO_h por efecto del aumento de frecuencia. El delta de costo operacional por hora esta dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta CO_h = TC_f \Delta f_f + tC_f \Delta Y_f \quad (5)$$

Donde

- ΔCO_h : Delta de costo operacional por hora
- Δf_f : Delta de frecuencia bajo el esquema de subsidio a la frecuencia
- ΔY_f : Delta de demanda bajo el esquema de subsidio a la frecuencia

Al aumentar la frecuencia se tendrá un cambio de la demanda permitiendo que ΔCO_h este cubierto por el subsidio y los nuevos ingresos producidos por ΔY_f . Igualando ingresos y egresos de la línea de transporte se obtiene el delta de frecuencia producido al aplicar un subsidio S (Ecuación 6).

$$\Delta f_f = \frac{S + P\Delta Y_f}{TC_f} - \frac{t\Delta Y_f}{T} \quad (6)$$

Nótese que el primer termino del lado derecho representa el aumento de frecuencia producido por la inyección de nuevos recursos a la operación mientras que el segundo termino representa la perdida de frecuencia por efecto de la nueva demanda atraída.

Asumiendo que el tiempo de espera (w) esta dado por $w = \frac{Q}{f_o}$, tenemos que el Δw depende de Δf_f de la siguiente manera:

$$\Delta w_f = -\frac{\alpha \Delta f_f}{f_o^2} \quad (7)$$

Donde

- Δw : Delta de tiempo de espera bajo el esquema de subsidio a la frecuencia

- f_0 : Frecuencia inicial de la ruta
 α : Constante de regularidad del servicio

De otra parte dado que el cambio en la demanda afecta el tiempo de parada, se produce un delta en el tiempo de viaje (Δtv) representado por la siguiente ecuación:

$$\Delta tv_f = \frac{tl}{f_0 L} \left(\Delta Y_f - \frac{Y \Delta f_f}{f_0} \right) \quad (8)$$

Sobre la base de la especificación Logit, es posible derivar una ecuación simple para la elasticidad directa de la partición modal en transporte público (p_b) con respecto a cualquier variable explicativa incluida con una forma lineal en el modelo (Ortúzar y Willumsen, 2011). Suponiendo que todos los individuos tienen la misma función de utilidad y que experimentan el mismo nivel de servicio en el sistema de transporte público, el delta de demanda (ΔY) obtenido por el cambio en la frecuencia esta dado por:

$$\Delta Y_f = p_b D (1 - p_b) (\theta_w \Delta w_f + \theta_{tv} \Delta tv_f) \quad (9)$$

Donde

- Δw_f : Delta del tiempo de espera bajo el esquema de subsidio a la frecuencia
 Δtv_f : Delta del tiempo de viaje bajo el esquema de subsidio a la frecuencia
 θ_w : Parámetro del tiempo de espera en la función de utilidad del modelo Logit
 θ_{tv} : Parámetro del tiempo de viaje en la función de utilidad del modelo Logit
 D : Demanda total (incluye a los usuarios de todos los modos de transporte)

Reemplazando (7) y (8) en (9) se obtiene:

$$\Delta Y_f = \frac{S}{\left(tl - \frac{f_0 L}{p_b D (1 - p_b)} \right) + t C_f - P} \quad (10)$$

2.2 Esquema de asignación de subsidios a la tarifa

De forma análoga que en el esquema de asignación de subsidios a la frecuencia, se calcularon los deltas del tiempo de viaje y de los tiempos de espera (Ecuaciones 11 y 12).

$$\Delta w_p = - \frac{Q t_s \Delta Y_p}{f_0^2 T} \quad (11)$$

$$\Delta tv_p = \frac{tl}{f_0 L} \left(\Delta Y_p - \frac{Y \Delta f_p}{f_0} \right) \quad (12)$$

Donde:

- Δw_p : Delta del tiempo de espera bajo el esquema de subsidio a la tarifa
 $\Delta t v_p$: Delta del tiempo de viaje bajo el esquema de subsidio a la tarifa
 ΔY_p : Delta de la demanda bajo el esquema de subsidio a la tarifa

Nótese que la formulación de Δw_p incluye solo el efecto de perdida de frecuencia por la demanda inducida, ya que no se aplican recursos para aumentar la frecuencia.

De otra parte, se calcula el delta en la tarifa (Δp) teniendo en cuenta el subsidio aplicado y la nueva demanda atraída (Ecuación 12).

$$\Delta p = \frac{S + P\Delta Y_p}{p_b D + 2\Delta Y_p} \quad (13)$$

Utilizando la especificación del modelo Logit para este esquema de subsidio se tiene que el delta de demanda esta dado por:

$$\Delta Y_p = p_b D (1 - p_b) (\theta_w \Delta w_p + \theta_{tv} \Delta t v_p + \theta_p \Delta p) \quad (14)$$

Reemplazando (11), (12) y (13) en (14) obtenemos:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{Qt\theta_w}{f_o^2 T} + \frac{t^2 l Y \theta_v}{f_o^2 T L} - \frac{tl\theta_v}{f_o L} - \frac{1}{p_b D (1 - p_b)} \right) \Delta Y_p^2 \\ & + \left(\left(\frac{Qt\theta_w}{f_o^2 T} + \frac{t^2 l Y \theta_v}{f_o^2 T L} - \frac{tl\theta_v}{f_o L} - \frac{1}{p_b D (1 - p_b)} \right) D - \theta_p P \right) \Delta Y_p - \theta_p S = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

3. RESULTADOS

Considerando que el objetivo es maximizar la partición modal en transporte público, se definieron las condiciones para encontrar la región de soluciones en las que es más conveniente para dar subsidios a la tarifa ($\Delta D_p \geq \Delta D_f$) o subsidio a la frecuencia ($\Delta D_f \geq \Delta D_p$). En base en los datos obtenidos en AMB (2011), se graficó $\Delta D_p(S)$ y $\Delta D_f(S)$ en función del subsidio total entregada por la agencia (S). En la Figura 1, el eje X representa la cantidad total del subsidio dividido por la multiplicación entre la demanda total¹ y el valor del pasaje, mientras que en el eje

¹ Incluyendo los usuarios de todos los modos de transporte

Y se define el porcentaje de cambio de la demanda resultante debido a la implementación de cada esquema de subsidio.

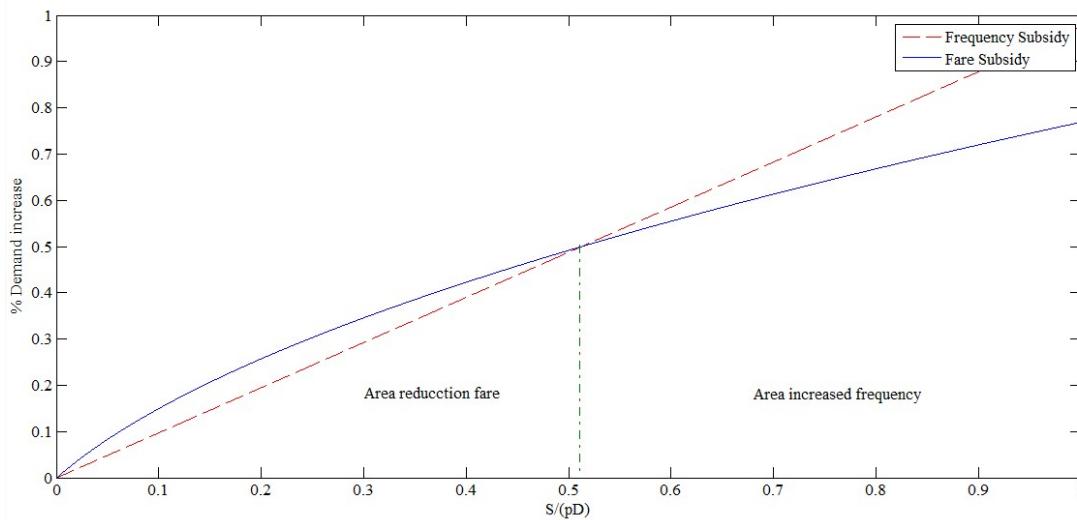


Figura1. Comparación del incremento de la demanda bajos los esquemas de subsidio a la frecuencia y la tarifa

4. CONCLUSIONES

La formulación matemática obtenida permite definir el rango de subsidio en la que es más conveniente reducir la tarifa del servicio o aumentar la frecuencia. El modelo incluye el efecto de las pérdidas de la frecuencia debido a la demanda inducida, la sensibilidad de los usuarios tanto a la reducción de tarifas como los cambios de los tiempos de espera, y la restricción financiera de los operadores. Nuestros resultados muestran que los cambios en los parámetros relacionados con las preferencias de los usuarios afectan directamente la región de soluciones en las que es más conveniente aplicar cualquiera de los dos sistemas de subvención. Por ejemplo, se verificó que valores más altos de θ_p (indicador de la sensibilidad de los usuarios de transporte público a la tarifa) aumentan el rango en el que la asignación de subsidios a la tarifa es más conveniente para maximizar la demanda de transporte público.

En futuras investigaciones, se analizará la influencia de otros factores en la decisión de asignación de subsidios ya incluidos en nuestra formulación, tales como θ_w (indicador de la sensibilidad de los usuarios de transporte público a los tiempos de espera), la participación modal actual de transporte público (p_b), la frecuencia actual (f_1), el tiempo total en el movimiento de la flota (fT) y los tiempos de carga total de pasajeros en la ruta (ty). Del mismo modo, el modelo será evaluado con datos reales de otros sistemas de transporte público para analizar el efecto de las diferencias en las variables de operación (e.g. frecuencia o tiempos de carga) y las preferencias de los diferentes tipos de usuarios (cambios en θ_p y θ_w), en las soluciones obtenidas con el modelo microeconómico propuesto en este trabajo.

REFERENCIAS

AMB (2011) Area Metropolitana Bucaramanga. **Diseño y procesamiento de encuestas PD orientadas a la caracterización de los usuarios de transporte de AMB**, Bucaramanga, Colombia.

Basso, L.J., Guevara, C.A., Gschwender, A. y Fuster, M. (2011) Congestion pricing, transit subsidies and dedicated bus lanes: Efficient and practical solutions to congestion. **Transport Policy**, 18, 676-684.

Basso, L.J. y Jara-Díaz, S.R. (2010) The case for subsidisation of urban public transport and the Mohring effect. **Journal of Transport Economics and Policy**, 44, 365-372.

CAF (2010) **Observatorio de movilidad urbana para América Latina**. 2.^a Ed, Corporación Andina de Fomento, Bogotá.

Jara-Díaz, S.R. y Gschwender, A. (2009) The effect of financial constraints on the optimal design of public transport services. **Transportation**, 36, 65-75.

Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011) **Modelling Transport**. 4.^a Ed, John Wiley & Sons, Chichester.