

¿CÓMO DIFERENTES ESQUEMAS DE PAGO AL OPERADOR AFECTAN LAS CONCESIONES DE TRANSPORTE PÚBLICO? UN MODELO MICROECONÓMICO

Juan Pablo Sepúlveda, Pontificia Universidad Católica de Chile, jasepulveda@uc.cl
Patricia Galilea, Pontificia Universidad Católica de Chile, pgalilea@ing.puc.cl

Resumen

En concesiones de transporte público, el mecanismo de pago al operador lo incentiva a actuar de cierta forma en la provisión del servicio. Se hace necesario estudiar analíticamente el efecto de dichos mecanismos en el desempeño de los sistemas de transporte. En este trabajo modelamos esquemas de pago lineales en la frecuencia de operación y en la demanda servida, y estudiamos su efecto sobre el desempeño del sistema. Los resultados indican que el pago por frecuencia es un incentivo al operador a modificar su producción, lo que permitiría al regulador replicar un escenario socialmente óptimo.

Palabras clave: diseño de contratos, concesiones de transporte público, incentivos.

In public transport concessions, the payment mechanism encourages the operator to act in a certain way in the provision of the service. It is necessary to analyze analytically the effect of these mechanisms on the performance of transport systems. In this work, we model payment schemes linear in the frequency of operation and in the demand served, and we study its effect on the performance of the system. The results indicate that the frequency payment is an incentive to the operator to modify its production, which would allow the regulator to replicate a socially optimal scenario.

Keywords: contract design, public transport concessions, incentives.

1. INTRODUCCIÓN

Varias ciudades en el mundo tienen sistemas de transporte público concesionados. Esto significa que el ente regulador licita la operación del servicio de transporte a empresas privadas. El desempeño de estas concesiones está en permanente cuestionamiento, principalmente respecto a la calidad del servicio ofrecido y a los costos que tiene para el estado. En este sentido, los contratos que relacionan al operador con el regulador son determinantes en el desempeño del sistema. En particular, el mecanismo de pago al operador (establecido en el contrato) lo incentiva a actuar de cierta forma en la provisión del servicio. En la próxima sección discutiremos al respecto; la literatura que evidencia esta afirmación es vasta. De ella que puede ser un aporte estudiar analíticamente el efecto de los mecanismos de pago en el desempeño de los sistemas de transporte.

En los sistemas de transporte del mundo se han implementado distintos mecanismos de pago. Estos pueden incluir conceptos como el pago fijo, el reembolso de costos, el pago por variables operacionales y el pago por pasajeros transportados, entre otros. En el caso de Transantiago, el sistema de transporte público de Santiago de Chile, el esquema de pago considera variables operacionales y demanda servida; además, establece multas ante el no cumplimiento de indicadores de desempeño.

En este trabajo comparamos el efecto de distintos mecanismos de pago al operador sobre el desempeño del sistema, medido en variables operacionales y en bienestar social. Para hacer esto formulamos un modelo microeconómico y realizamos simulaciones de parámetros, de las cuales obtuvimos resultados que pudimos comparar.

Este artículo se organiza de la siguiente forma. En la sección 2 se presenta una revisión bibliográfica de los contratos en mercados de transporte. En la sección 3 se formula el modelo que vamos a usar para nuestro análisis. En la sección 4 se muestran las simulaciones realizadas y los resultados obtenidos de ellas. Finalmente, en la sección 5 se entregan conclusiones sobre estos resultados y sus implicancias.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Presentamos un resumen de la bibliografía relevante en cuatro partes. En la primera discutimos sobre la literatura de teoría económica en contratos de concesiones. En la segunda parte mencionamos algunos trabajos teóricos sobre mercados de transporte en particular. En la tercera parte discutimos sobre incentivos en la operación del transporte público a partir de un trabajo de análisis conceptual. En la cuarta parte presentamos algunos trabajos empíricos sobre contratos en concesiones de transporte.

La provisión de servicios públicos mediante concesiones se caracteriza por la presencia de asimetrías de información. La empresa proveedora tiene mayor información sobre los costos del servicio que el regulador. Este último busca formular un contrato que cumpla con los objetivos sociales (maximizar el bienestar), considerando las asimetrías de información.

Un trabajo fundamental en esta materia es el de Laffont y Tirole (1986), quienes asumen que el contrato se compone de dos partes: la primera es el reembolso de los costos del servicio, y la segunda es una transferencia que queda de utilidad al operador. El modelo planteado considera las asimetrías de información, y el operador puede invertir en reducción de costos. El principal resultado es que, ante neutralidad al riesgo, el operador anuncia un costo esperado y el regulador le ofrece una transferencia lineal en el exceso de costos (es decir, el costo real menos el anunciado). Dicho contrato tiene en sus extremos a los esquemas *fixed-price* y *cost-plus*.

El contrato de Laffont y Tirole constituye un resultado más bien teórico. El esquema óptimo es matemáticamente complejo de calcular y requiere mucha información. Rogerson (2003) hizo un aporte en esta línea al demostrar que, bajo ciertas condiciones matemáticas, los contratos *fixed-price* y *cost-plus* permiten alcanzar gran parte de la eficiencia del esquema óptimo. Los primeros son más simples que el último, por lo que son usados ampliamente en la práctica.

Los trabajos de esta línea tienen limitaciones respecto a lo que nosotros queremos abordar. Una de ellas es el tipo de contratos que asumen. En la práctica existen reglas de pago mucho más variadas que la de reembolso de costos. Por ejemplo, en Transantiago el esquema de pago es lineal en los pasajeros transportados y en los kilómetros recorridos, como ya mencionamos en la sección 1. Otra limitación es que no incluyen características particulares de los mercados de transporte público. Un ejemplo de ellas es el costo que perciben los usuarios debido al tiempo que usan en

transportarse. Dadas estas dos limitaciones, necesitamos un marco teórico distinto sobre el cual construir nuestro modelo.

Acabamos de decir que el transporte público tiene características económicas exclusivas, y se han desarrollado modelos que las abordan. Estos permiten distinguir entre los costos de los usuarios y los costos de los operadores del sistema de transporte. La modelación se ha hecho más compleja con el paso de los años; cada autor añade nuevos elementos. Algunos de los trabajos son Jansson (1980), Jara-Díaz y Gschwender (2005, 2009) y Mohring (1972), quienes muestran sus resultados a través de simulaciones de parámetros. Otros modelos incluyen una demanda elástica y el costo de los fondos públicos, como el de Sun y Schonfeld (2015). Esta es la literatura que vamos a usar como base para nuestro modelo.

Respecto a las concesiones de transporte público, un trabajo conceptual que recoge elementos esenciales de los contratos es el de Briones y Gómez-Lobo (2014). Ellos analizan los incentivos al operador asociados a distintos esquemas de pago – basados en la demanda o en la oferta. Un pago asociado a la cantidad de pasajeros incentiva al operador a detenerse en los paraderos y a recoger pasajeros; y a ofrecer una alta frecuencia y regularidad, si la demanda es alta. Pero el operador también enfrenta mayores riesgos (de demanda, financiero) y lo incentiva a una conducción insegura de los vehículos, al competir con otros operadores por llevar pasajeros. En cambio, un pago asociado a los asientos-kilómetro recorridos reduce el riesgo de demanda del operador y lo incita a una conducción segura, pero ya no tiene incentivos a recoger pasajeros.

En el campo de la literatura empírica abundan los trabajos sobre concesiones de transporte público. La mayoría de estos incluye la estimación de funciones de costo de sistemas de transporte y el cálculo de medidas de eficiencia. Algunos de estos trabajos son Avenali et al. (2016), Batarce y Galilea (2013), Dalen y Gómez-Lobo (2003), Gagnepain e Ivaldi (2002), Margari et al. (2007), Mouwen y Van Ommeren (2016), Piacenza (2006) y Roy e Yvrande-Billon (2007). A modo de ejemplo, Batarce y Galilea estiman funciones de costo para los operadores de Transantiago, con datos de los contratos previos a la renegociación de 2012. También estiman un modelo de demanda agregado y comparan distintos esquemas de tarifa al usuario.

En este artículo formulamos un modelo que está basado en los trabajos de diseño de servicios. Consideramos funciones de costo de los usuarios y de los operadores de manera similar a esos trabajos. Nosotros añadimos la parte del problema relativa a la demanda, y también consideramos el costo social del subsidio otorgado al sistema, pero el principal aporte de nuestro trabajo es la incorporación del diseño de contratos a la modelación microeconómica. Estudiamos de forma teórica cómo cambia el problema del planificador y del operador cuando se consideran distintos esquemas de pago al operador.

3. MODELO

En esta sección se formula el modelo que vamos a usar para nuestro análisis del diseño de contratos. La sección se organiza en tres partes. En la primera se bosquejan los elementos que definen el modelo. En la segunda parte se modela un escenario para el planificador, donde ignoramos el comportamiento utilitarista del operador. En la tercera parte se modela el escenario en que el operador toma sus propias decisiones, y analizamos los incentivos tras ellas.

3.1.DEFINICIONES

Consideremos un servicio de transporte público cuya provisión está a cargo de una sola empresa. El costo para ella de operar una flota de B vehículos de capacidad C pasajeros cada uno es $B(C_0 + C_1C)$, donde C_0 es el costo fijo de operar la capacidad y C_1 es el costo marginal, ambos en \$/hora. El operador recibe un pago p por la provisión del servicio. La utilidad del operador queda dada por:

$$U = p - B(C_0 + C_1C) \quad (1)$$

El servicio en cuestión opera con una frecuencia f , en vehículos/hora, y tiene una demanda $q(P)$, en pasajeros/h, donde P es el precio generalizado de realizar un viaje usando el servicio. Dicho precio incluye el pago de una tarifa y un costo por el tiempo de espera y tiempo de viaje del usuario. La demanda está distribuida uniformemente en el tiempo.

El tiempo promedio que un pasajero espera un vehículo del servicio es k/f , donde k es un parámetro asociado a la regularidad de las pasadas de los vehículos. Así, el costo del tiempo de espera de ese pasajero es $C_E k/f$, donde C_E es el valor social del tiempo de espera, en \$/hora; y el costo total del tiempo de espera, es decir, de todos los pasajeros, es $C_E qk/f$. Similarmente, el costo del tiempo de viaje de un pasajero es $C_V t_V$, donde t_V es el tiempo de viaje, en horas, y C_V es el valor social del tiempo de viaje, en \$/hora; y el costo total del tiempo de viaje es $C_V t_V q$.

Definimos la siguiente función de precio generalizado:

$$P = \text{tarifa} + C_E \frac{k}{f} + C_V t_V \quad (2)$$

Derivamos una expresión para la tarifa a partir de la ecuación (2):

$$\text{tarifa} = P - C_E \frac{k}{f} - C_V t_V \quad (3)$$

y, por ende, el ingreso por tarifa del sistema será $(P - C_E k/f - C_V t_V)q$. Este ingreso lo recauda el regulador y puede ser distinto al pago p que recibe el operador.

Si el pago al operador es mayor que el ingreso tarifario del sistema, se requiere de un subsidio estatal para completar el pago. Un peso de subsidio tiene un costo para el estado de $1 + \lambda$, donde λ es el costo de los fondos públicos. Este costo surge de la distorsión que generan los impuestos con los cuales se financia el subsidio.

Dadas las definiciones anteriores, definimos la siguiente función de bienestar social:

$$W = \int_0^q P(x)dx - \left(P(q) - C_E \frac{k}{f} - C_V t_V \right) q - C_E \frac{k}{f} q - C_V t_V q + t - B(C_0 + C_1C) - (1 + \lambda) \left(p - \left(P(q) - C_E \frac{k}{f} - C_V t_V \right) q \right) \quad (4)$$

donde los primeros cuatro términos corresponden al excedente del consumidor, los dos términos siguientes al excedente del productor, y el último término al costo social del subsidio. Reduciendo términos semejantes, la ecuación (4) queda de la siguiente forma:

$$W = \int_0^q P(x)dx - C_E \frac{k}{f} q - C_V t_V q - B(C_0 + C_1 C) \\ - \lambda \left(p - \left(P(q) - C_E \frac{k}{f} - C_V t_V \right) q \right) \quad (5)$$

Un supuesto subyacente a la ecuación (4) o (5) es que el pago al operador es mayor que el ingreso tarifario del sistema, es decir, que el término asociado al subsidio es negativo. De lo contrario estaríamos diciendo que el sistema genera ingresos al planificador, lo cual no tiene asidero en la realidad. En el caso extremo el pago al operador es igual a los ingresos del sistema, lo cual corresponde a un escenario second-best.

Si hacemos algunos supuestos sobre la operación del servicio, es posible obtener expresiones para el tamaño de flota y el tiempo de viaje. En particular, vamos a usar los términos propuestos por Jara-Díaz y Gschwender (2009). Supongamos que el servicio consiste en una línea circular que tiene un largo total de L kilómetros, y que los pasajeros viajan una distancia de l kilómetros de ella (con $l < L$). Supongamos también que los vehículos tardan un tiempo de T horas en recorrer toda la línea, excluyendo las paradas, que cada pasajero tarda un tiempo de t horas en subir al vehículo y que el tiempo de subida domina al tiempo de bajada¹. La demanda $q(P)$ se distribuye homogéneamente a lo largo de la línea.

Con estos supuestos el tiempo de ciclo del sistema queda dado por $T + tq/f$, donde q/f es la cantidad de pasajeros que se sube a cada vehículo en su ciclo. Si usamos que la frecuencia es el cociente del tamaño de flota con el tiempo de ciclo, podemos derivar la siguiente expresión para el tamaño de flota:

$$B = Tf + tq \quad (6)$$

Además, el tiempo de viaje que experimenta cada pasajero es la parte del tiempo de ciclo que corresponde a su viaje, es decir, la parte l/L del tiempo de ciclo. Así, el tiempo de viaje de cada pasajero queda dado por la siguiente expresión:

$$t_V = \frac{l}{L} \left(T + t \frac{q}{f} \right) \quad (7)$$

Reemplazamos la ecuación (6) en la (1):

$$U = p - (Tf + tq)(C_0 + C_1 C) \quad (8)$$

Y reemplazamos las ecuaciones (6) y (7) en la (5):

$$W = \int_0^q P(x)dx - C_E \frac{k}{f} q - C_V \frac{l}{L} \left(T + t \frac{q}{f} \right) q - (Tf + tq)(C_0 + C_1 C) \\ - \lambda \left(p - \left(P(q) - C_E \frac{k}{f} - C_V \frac{l}{L} \left(T + t \frac{q}{f} \right) \right) q \right) \quad (9)$$

¹ Esto significa que la subida y la bajada ocurren en paralelo, y que el tiempo de subida es mayor que el de bajada. Así, el único tiempo relevante es el de subida, porque el de bajada queda incluido en él.

3.2.ESCENARIO DEL PLANIFICADOR

Partamos considerando el problema de maximizar el bienestar social, sin restricciones de financiamiento del operador. La solución de este problema tiene asociada el máximo bienestar social posible, dados los valores de los parámetros, pero también tiene asociada una utilidad del operador negativa. Esto implica que dicha solución no es factible en la realidad, pero sirve para comparar con otros escenarios. La formulación matemática del problema y su solución se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} & \max_{q,f,C} W \\ & s.a. \quad \frac{q}{f} \frac{l}{L} \leq C \end{aligned}$$

La restricción impuesta es de operación e indica que la capacidad de los vehículos debe ser mayor o igual a la capacidad necesaria para que todos los pasajeros que están esperando en el paradero se puedan subir al próximo vehículo en llegar. La capacidad óptima va a ser igual a esa capacidad necesaria, es decir, la mínima donde quepa dicha cantidad de pasajeros. Una capacidad mayor a esa solo aumenta los costos del operador; no hay un beneficio por mayor capacidad, según nuestra definición de bienestar social. Así,

$$C^P = \frac{q}{f} \frac{l}{L} \quad (10)$$

Reemplazamos la ecuación (10) en la (9) y derivamos la frecuencia óptima, la cual queda dada por la siguiente expresión:

$$f^P = \sqrt{\frac{q}{TC_0 + \lambda \partial p / \partial f} \left((1 + \lambda) C_E k + ((1 + \lambda) C_V + C_1) \frac{l}{L} tq \right)} \quad (11)$$

Hasta ahora no hemos dicho nada sobre la forma funcional del pago p . Para hallar una expresión para $\partial p / \partial f$ debemos hacer una suposición al respecto. En la sección 2 comentamos que el pago en Transantiago es lineal en los pasajeros transportados y en los kilómetros recorridos. Consideraremos un esquema de pago de esa forma.

Dado que definimos a la frecuencia y a la capacidad como las variables de operación del servicio, usaremos dichas cantidades para modelar el pago, en lugar de los kilómetros recorridos. En un corredor ideal estos últimos son directamente proporcionales a la frecuencia y a la capacidad, por lo que nuestro enfoque de modelación es razonable. En particular, diremos que el pago tiene la siguiente expresión:

$$p = \alpha_f f + \alpha_q q + p_0 \quad (12)$$

donde α_f es el pago por vehículos/hora producidos (o pago por frecuencia), α_q es el pago por pasajero transportado y p_0 es un pago fijo (que puede ser cero). De la ecuación (12) obtenemos que $\partial p / \partial f = \alpha_f$, con lo que la ecuación (11) se modifica a:

$$f^P = \sqrt{\frac{q}{TC_0 + \lambda \alpha_f} \left((1 + \lambda) C_E k + ((1 + \lambda) C_V + C_1) \frac{l}{L} tq \right)} \quad (13)$$

Al ser el pago al operador lineal en la frecuencia, podemos expresar la frecuencia óptima y el bienestar social que la incluye de forma explícita. Si el pago no es lineal, dichas expresiones generalmente serán implícitas.

De la ecuación (13) podemos ver que la frecuencia óptima disminuye con el pago asociado a la frecuencia. Esto se explica porque, al aumentar el gasto de la sociedad en pagar al operador, es óptimo proveer una frecuencia menor. Respecto a la variación de λ , su efecto no es claro: el parámetro está en el numerador y en el denominador de la expresión. La condición de segundo orden para la ecuación (13) se cumple.

Reemplazamos la ecuación (13) en la expresión del bienestar social modificada y derivamos la condición de primer orden para la demanda, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial q} = P(q) - \frac{\partial}{\partial q} \left(2 \sqrt{(TC_0 + \lambda \alpha_f) \left((1 + \lambda)C_E k + ((1 + \lambda)C_V + C_1) \frac{l}{L} tq \right)} q \right) \\ - (C_V + C_1) \frac{l}{L} T - tC_1 - \lambda (\alpha_q - P'(q)q - P(q)) = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Sea q^P la demanda que resulta de la ecuación (14). La condición de segundo orden se cumple bajo nuestros supuestos. De (14) podemos desprender que la demanda óptima disminuye con el aumento de λ , α_f o α_q , están asociados a los costos (o los términos negativos). El aumento de estos parámetros implica mayor carga para el regulador. Vale notar también que el término asociado al costo del subsidio es creciente (en valor absoluto) en q , cuando $\lambda > 0$.

Salvo que el pago al operador sea arbitrariamente alto, se espera que:

$$U^P = p(f^P, q^P) - (Tf^P + tq^P)(C_0 + C_1 C^P) < 0 \quad (15)$$

3.3.ESCENARIO DEL OPERADOR

Consideremos ahora el problema de maximizar las utilidades del operador, en contraposición al problema de maximizar el bienestar social. La solución de este problema tiene asociada un bienestar social menor al del problema anterior, porque para aumentar las utilidades del operador se incurre en una pérdida social. La formulación del problema y su solución se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} \max_{q, f, C} U &= p - (Tf + tq)(C_0 + C_1 C) \\ \text{s.a. } &\frac{q}{f} \frac{l}{L} \leq C \end{aligned}$$

La capacidad óptima es, al igual que en el problema del planificador, la mínima donde caben todos los pasajeros que están esperando en el paradero cuando llega el vehículo:

$$C^O = \frac{q}{f} \frac{l}{L} \quad (16)$$

Reemplazamos la ecuación (16) en la función objetivo del problema y derivamos la frecuencia óptima, la cual queda dada por la siguiente expresión:

$$f^o = q \sqrt{\frac{tC_1 l / L}{TC_0 - \alpha_f}} \quad (17)$$

La frecuencia óptima aumenta con el pago por frecuencia. Asumimos que $TC_0 > \alpha_f$. Si esto no fuera así, la frecuencia óptima tendería a infinito. La condición de segundo orden para la ecuación (20) se cumple. Reemplazamos (17) en función objetivo del problema modificada:

$$\begin{aligned} U = t_0 + & \left(\alpha_q + \alpha_f \sqrt{\frac{tC_1 l / L}{TC_0 - \alpha_f}} \right) q \\ & - \left(TC_0 \sqrt{\frac{tC_1 l / L}{TC_0 - \alpha_f}} + \sqrt{(TC_0 - \alpha_f) C_1 \frac{l}{L} t + C_1 \frac{l}{L} T + tC_0} \right) q \end{aligned} \quad (18)$$

donde el término negativo corresponde a la función de costos del operador. Dicha función de costos es lineal en la demanda. Este es un buen resultado si consideramos que estimaciones de costos de distintos sistemas de transporte, entre ellos Transantiago, indican funciones que presentan economías constantes a escala (Batarce y Galilea, 2013).

Si derivamos la condición de primer orden de la demanda, obtendremos una ecuación que no tiene una solución “cerrada” (o finita), porque la función de utilidad queda lineal en q . Para que la tuviera, una alternativa sería que el pago por el pasajero marginal fuera decreciente, que no es el caso de Transantiago. Con un pago lineal en la demanda, la cantidad de pasajeros óptima a transportar por el operador es infinita o cero, según los valores de α_q y α_f . Para que dicha cantidad no sea cero, el pago por pasajero, o beneficio marginal, debe ser mayor al costo marginal de atenderlo, para que el operador tenga el incentivo a recoger al pasajero. Esto no significa que el operador vaya a atender infinitos pasajeros. La solución del operador solo representa una demanda potencial, que se ve modificada por la real curva de demanda del mercado y por la tarifa que fije el regulador.

Resuelto el problema de incentivos, el regulador fijará la tarifa (o, equivalentemente en nuestro modelo, la cantidad de pasajeros) que maximice el bienestar social bajo la elección de frecuencia del operador. Para ello es necesario que el regulador conozca toda la información del servicio y costos del operador. Reemplazamos la ecuación (17) en alguna de las expresiones del bienestar social y derivamos la condición de primer orden para la demanda en este escenario, la cual queda dada por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial q} = & P(q) - ((1 + \lambda) C_V + C_1) \frac{l}{L} t \sqrt{\frac{TC_0 - \alpha_f}{tC_1 l / L}} - (C_V + C_1) \frac{l}{L} T - tC_1 \\ & - (TC_0 + \lambda \alpha_f) \sqrt{\frac{tC_1 l / L}{TC_0 - \alpha_f}} - \lambda (\alpha_q - P'(q)q - P(q)) = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

Los términos asociados a los costos del operador y de los usuarios quedan constantes en q , y con un precio generalizado decreciente en q la solución de esta condición es finita. Respecto a la variación de los parámetros, en los casos de λ y α_q el comportamiento de la solución es similar al

del escenario planificador: la demanda óptima disminuye con el aumento de dichos parámetros. En el caso de α_f , la expresión anterior muestra que los términos se mueven en distintas direcciones; mediante la simulación de la sección 4 veremos que domina el efecto del aumento de la demanda.

4. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección simulamos valores para los parámetros de nuestro modelo y calculamos el resultado de las variables y escenarios planteados en la sección 3. Se comparan distintos esquemas de pago mediante dichos resultados.

En la Tabla 1 se muestran los valores que usamos para los parámetros de la función de costos del operador y del corredor ideal. Dichos valores están basados en los que usaron Jara-Díaz y Gschwender (2009).

Tabla 1: Parámetros de la función de costos y del corredor ideal.

C_0 (\$/h)	5000	t (h)	0,00139
C_1 (\$/h)	100	T (h)	3
l (km)	10	C_E (\$/h)	2200
L (km)	60	C_V (\$/h)	740
k	0,5		

Consideramos $P(q) = 1200 - 0,1q$. Una función lineal para el precio es una forma simple con elasticidad variable, por lo que sirve para nuestro análisis.

Partamos con la decisión del operador sobre la frecuencia que va a ofrecer. En la Ilustración 1 mostramos la frecuencia del operador, f^O (ecuación 17), para tres valores de α_f ; y la frecuencia del planificador, f^P (ecuación 11), para distintos niveles de demanda. Esta última requiere de un valor para λ , pero usamos $\lambda = 0$ para centrarnos en el efecto del incentivo al operador. Se puede ver que con el aumento de dicho incentivo la frecuencia del operador aumenta, incluso alcanza la frecuencia del planificador cuando α_f es grande.

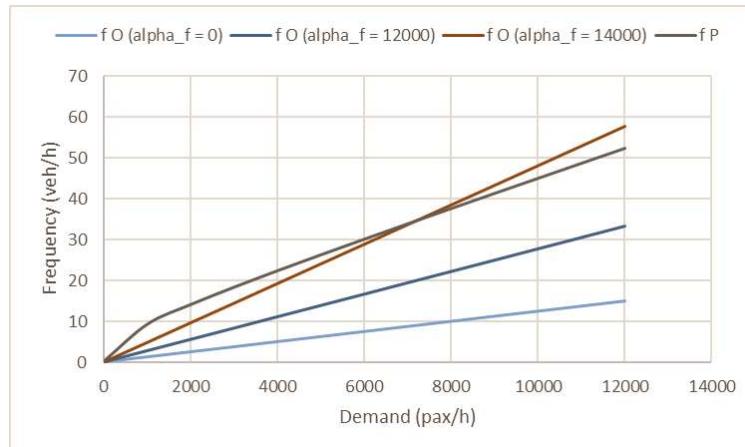


Ilustración 1: Frecuencia del operador para distintos α_f y frecuencia del planificador.

El resto del análisis se divide en dos partes. En la parte 4.1 se comparan las soluciones de los escenarios del planificador y del operador, para un esquema de pago dado, cuando los fondos públicos tienen un costo, es decir, $\lambda > 0$. En la parte 4.2 se compara el efecto de distintos esquemas de pago en la solución de los dos escenarios en estudio.

El esquema de pago que consideramos en la parte 4.1 es el siguiente:

$$t = 5.000f + 95q + 120.000 \quad (20)$$

Si bien podemos escoger cualesquier parámetros para el pago, la elección anterior tiene un sentido económico que justificaremos en la parte 4.2.

4.1.COMPARACIÓN ENTRE ESCENARIOS

En primer lugar, analicemos la solución de la demanda en el escenario del planificador. En la Ilustración 2 mostramos dicho escenario. Usamos $\lambda = 0,1$. El costo medio de los usuarios (UAC) es decreciente en el rango de interés debido al aumento de la demanda y frecuencia. En cambio, los costos medio (TAC) y marginal (TMC) no son decrecientes en todo el rango de interés, como cuando $\lambda = 0$, sino que son crecientes a partir de algún punto. Esto se explica porque el costo del subsidio es creciente en la demanda, según nuestro modelo (revisar ecuación 14). De esta forma, la demanda óptima es menor en este caso que cuando $\lambda = 0$, porque este costo marginal es mayor. El concepto subyacente es que el pago al operador tiene un costo social.

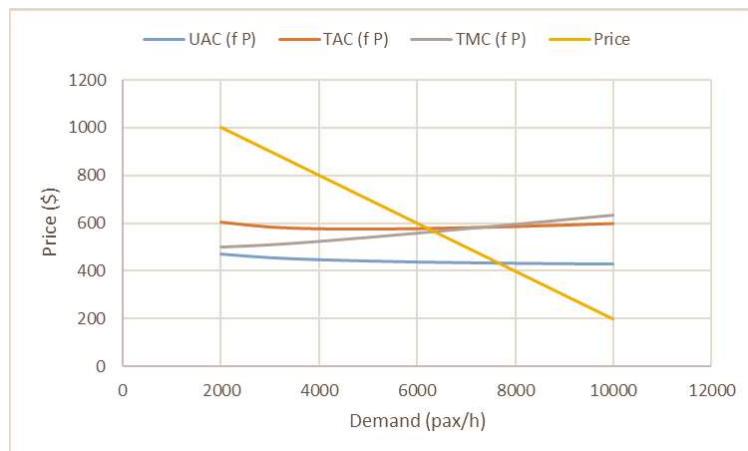


Ilustración 2: Escenario del planificador cuando $\lambda = 0,1$ y $p = 5.000f + 95q + 120.000$.

En segundo lugar, analicemos el problema del operador. El costo marginal y el beneficio marginal del operador por atender pasajeros son constantes e iguales a 95 y 102,6, respectivamente (ver ecuación 18). Como el segundo es mayor que el primero, el operador va a recoger pasajeros. Este análisis es el mismo que cuando $\lambda = 0$ porque al operador no le cuenta el costo de los fondos públicos, solo le interesa maximizar su utilidad.

En tercer lugar, analicemos el escenario completo del operador, una vez que eligió su frecuencia (en función de la demanda) y está dispuesto a atender toda la demanda disponible. Partamos por determinar las curvas de costo medio y compararlas con las del escenario del planificador. Sea f^0

la frecuencia del operador y f^P la del planificador. En la Ilustración 3 mostramos que los costos medios de los usuarios y total con f^O son mayores que con f^P (los mismos de la Ilustración 2), comparación similar al caso $\lambda = 0$. Sin embargo, hacemos notar que en este caso ($\lambda > 0$) el costo medio total con f^O es mayor que cuando los fondos públicos son infinitos. Esto se debe a que el subsidio tiene un costo que se cuenta en el costo total.

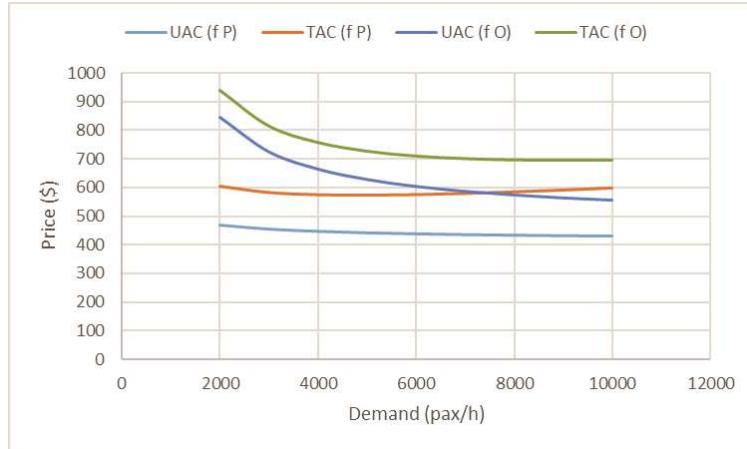


Ilustración 3: Costo medio de los usuarios y total en ambos escenarios cuando $\lambda = 0,1$ y $p = 5.000f + 95q + 120.000$.

Si $\lambda = 0$, el aumento del costo de los usuarios domina la disminución del costo del operador. Dicho argumento también es válido en este caso, y se ve reforzado por la existencia de un costo del subsidio.

En el escenario del operador, el subsidio requerido va a ser mayor que en el escenario del planificador, debido a que los ingresos por tarifa del sistema son menores. Esto se explica porque $f^O < f^P$, por ende, los usuarios tienen menor disposición a pagar una tarifa determinada (recordar que la función de precio generalizado considera la frecuencia y la tarifa). Así, el costo del subsidio en el escenario del operador es mayor que en el escenario del planificador, y el costo medio total se comporta de forma similar, como ya comentamos. Vale notar que los costos medios totales de ambos escenarios son mayores cuando $\lambda > 0$ que cuando $\lambda = 0$.

Finalmente, comparemos la demanda óptima de los escenarios en estudio. En la Ilustración 4 mostramos el costo marginal total con f^P (el mismo de la Ilustración 2) y con f^O , que en este caso es creciente. Este último es constante en la demanda cuando $\lambda = 0$. Para cualquier λ , la demanda óptima del operador será menor que la del escenario del planificador, tal como en la ilustración.

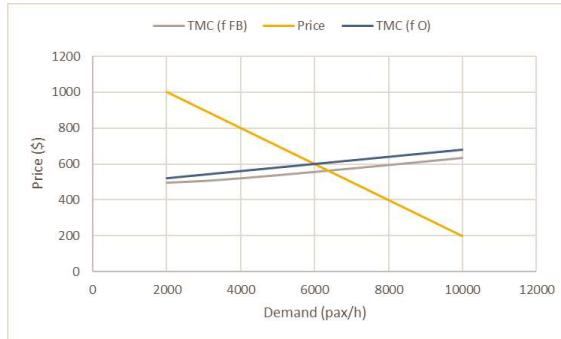


Ilustración 4: Demanda óptima de ambos escenarios cuando $\lambda = 0,1$; $\alpha_f = 5.000$ y $\alpha_q = 95$.

4.2.COMPARACIÓN DE DISTINTOS ESQUEMAS DE PAGO

En esta parte realizamos un ejercicio similar al de la parte 4.1, pero considerando más de un esquema de pago. Formulamos cuatro esquemas distintos, los cuales varían en los parámetros, y para cada esquema calculamos los resultados de los dos escenarios en estudio: del planificador y del operador. En la Tabla 2 mostramos los esquemas de pago considerados.

Tabla 2: Esquemas de pago a comparar.

1	$p = 95q + 300.000$
2	$p = 5.000f + 95q + 300.000$
3	$p = 14.060f + 95q + 300.000$
4	$p = 14.060f + 70q$

El esquema 1 consiste en un pago solo por demanda servida; no hay un pago por frecuencia. $\alpha_q = 95$ es un valor apenas mayor al mínimo que asegura el incentivo del operador a recoger pasajeros, dado que el pago por frecuencia es cero (recordar que dicho valor mínimo para α_q depende del valor de α_f). $p_0 = 300.000$ es un pago fijo que deja al operador con una utilidad apenas positiva en el escenario del planificador.

El esquema 2 consiste en un pago mixto: por demanda y por frecuencia, a diferencia del esquema 1. Mantenemos el valor del pago por pasajero de este último, y modificamos α_f a 5.000. Este es un valor intermedio entre 0 y 14.060 (valor que explicaremos en el siguiente párrafo); además está relacionado con los costos del operador: costo fijo $C_0 = 5.000$ \$/h. También mantenemos el valor del pago fijo del esquema 1. El esquema 2 es el que usamos en la sección 4.1 para mostrar la forma de las curvas de costo y determinar los óptimos.

El esquema 3 difiere del esquema 2 en el pago por frecuencia: este se aumenta a 14.060. Este es el valor que iguala las frecuencias del planificador y del operador para el nivel de demanda óptimo (de ambos problemas), para los valores que elegimos de los parámetros de la función de costos del operador y del corredor ideal (ver Tabla 1). En otras palabras, tal valor es el que alinea los incentivos del operador con los deseos del planificador, al ser el operador quien elige la frecuencia socialmente óptima.

Finalmente, el esquema 4 difiere del esquema 3 principalmente en el valor del pago por pasajero: este se disminuye a 70. Este es un valor apenas mayor al mínimo que asegura la “nueva” compatibilidad de incentivos; el problema cambió al aumentar el pago por frecuencia (de 0 a 14.060). El pago fijo también se reduce: pasa a ser cero. El pago fijo se usa para ajustar las utilidades del operador. Si sus utilidades son positivas sin necesidad de un pago fijo (que es el caso del esquema 4, como mostraremos a continuación), entonces este se fija en cero. Con estas disminuciones se busca reducir el gasto de fondos públicos sin alterar mayormente la solución (demanda y frecuencia óptima).

Las cantidades que vamos a comparar entre esquemas y escenarios son: demanda, frecuencia, utilidades del operador y bienestar social. En la Tabla 3 mostramos las cantidades calculadas. Usamos $\lambda = 0,1$.

Tabla 3: Resultados de cada esquema en los escenarios del planificador (P) y del operador (O).

	Demanda		Frecuencia		Bienestar social		Utilidades	
	P	O	P	O	P	O	P	O
1	6.376	5.788	33	7,2	1.939.024	792.131	19.407	304.560
2	6.359	6.008	32,4	9,1	1.923.297	1.117.903	189.300	345.817
3	6.330	6.329	31,4	31,4	1.895.513	1.895.530	481.829	481.814
4	6.351	6.350	31,4	31,5	1.940.583	1.940.609	23.664	23.662

Respecto al escenario del planificador, la demanda, frecuencia y bienestar social no varían mucho de un esquema a otro. Esta variación se debe al distinto gasto de fondos públicos que tiene asociado cada esquema. Las utilidades del operador varían según los parámetros del pago de cada esquema. El escenario del planificador es solo una referencia; sirve para comparar con el del operador, que es más cercano a la realidad. Los resultados del escenario del operador varían significativamente de un esquema a otro.

Respecto al escenario del operador, el esquema 1 exhibe los peores resultados entre los cuatro esquemas, en términos de bienestar social y variables de servicio; y también presenta la mayor desviación entre los escenarios del planificador y del operador. La demanda, frecuencia y bienestar social asociados a este esquema son menores que los asociados al resto. La falta de un pago por frecuencia determina estos malos resultados: el operador no tiene incentivos a producir mayor frecuencia.

El esquema 2 presenta mejores resultados que el esquema 1: la demanda, frecuencia y bienestar social aumentan y la brecha con el escenario del planificador se reduce, pero sigue siendo alta. La adición del pago por frecuencia aporta a alinear los incentivos del operador y planificador. El esquema 3 reduce la brecha entre los escenarios al mínimo: el valor de α_f utilizado iguala las frecuencias del operador y planificador, tal como mencionamos anteriormente.

El esquema 4 presenta un mejor resultado en términos de bienestar social que el esquema 3. Al reducir el gasto de fondos públicos al máximo posible (con la disminución de α_q y p_0) se alcanza el bienestar social máximo, dados los valores de los parámetros que definen el servicio.

5. CONCLUSIONES

En este artículo formulamos un modelo microeconómico de transporte público, con el cual comparamos distintos esquemas de pago al operador de una concesión. Los esquemas de pago modelados son funciones lineales, cuyas variables son la cantidad de pasajeros transportados y la frecuencia de operación. Dichos esquemas están inspirados en el actual mecanismo de pago de Transantiago. Los resultados del modelo y de las simulaciones realizadas indican que el pago por frecuencia es un incentivo al operador a modificar su producción. El regulador puede disponer de dicho pago para alinear las decisiones del operador con las suyas. El modelo también indica que el pago por pasajero transportado es un incentivo al operador a recoger pasajeros, pero a partir de cierto nivel no influye en la operación del servicio. De ahí que se pueden formular esquemas de pago más complejos (no lineales) que, cumpliendo con las condiciones de incentivos, impliquen menor gasto de fondos públicos.

A partir de nuestro análisis podemos derivar recomendaciones para el desarrollo de políticas públicas en el sector de transporte. En este trabajo hemos mostrado que el pago por variables operacionales tiene un gran impacto en el desempeño del sistema de transporte. De ahí que tal pago debiera tener un peso importante en los contratos. En el caso del Transantiago actual, el pago por kilómetros recorridos representa un 30% del pago total al operador, en promedio. Este porcentaje debiera aumentar para los próximos contratos. También hemos mostrado que el pago por pasajeros transportados juega un rol relevante a la hora de definir los incentivos al operador, pero en Transantiago es posible que esté sobreestimado.

Este estudio puede servir de base para modelar la economía de los contratos en sistemas de transporte más complejos. En este artículo solo consideramos un servicio que opera en un corredor ideal. Una extensión para tal modelo es considerar la estructura de red propia de los sistemas de transporte público, con demandas relacionadas entre servicios. Otro elemento que puede ser añadido a la modelación es la asimetría de información entre operador y regulador. Esta no permitiría al regulador fijar la tarifa de la forma planteada en nuestro modelo. Un problema que también merece ser abordado es la evasión, con la cual los pasajeros transportados reales no coinciden con los que se paga al operador (en Transantiago es un problema crítico).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Hugo Silva por sus valiosos comentarios y al Bus Rapid Transit Centre of Excellence por su apoyo financiero.

REFERENCIAS

- Avenali, A., Boitani, A., Catalano, G., D'Alfonso, T., & Matteucci, G. (2016). Assessing standard costs in local public bus transport: Evidence from Italy. *Transport Policy*, 52, 164-174.
- Batarce, M., & Galilea, P. (2013, October). Cost and fare estimation for the urban bus transit system of Santiago. In *Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte* (No. 16).

- Dalen, D. M., & Gómez-Lobo, A. (2003). Yardsticks on the road: Regulatory contracts and cost efficiency in the Norwegian bus industry. *Transportation*, 30(4), 371-386.
- Gagnepain, P., & Ivaldi, M. (2002). Incentive regulatory policies: the case of public transit systems in France. *RAND Journal of Economics*, 605-629.
- Gómez-Lobo, A., & Briones, J. (2014). Incentives in Bus Concession Contracts: A Review of Several Experiences in Latin America. *Transport Reviews*, 34(2), 246-265.
- Jansson, J. O. (1980). A simple bus line model for optimisation of service frequency and bus size. *Journal of Transport Economics and Policy*, 53-80.
- Jara-Díaz, S., & Gschwender, A. (2003). Towards a general microeconomic model for the operation of public transport. *Transport Reviews*, 23(4), 453-469.
- Jara-Díaz, S. R., & Gschwender, A. (2009). The effect of financial constraints on the optimal design of public transport services. *Transportation*, 36(1), 65-75.
- Laffont, J. J., & Tirole, J. (1986). Using cost observation to regulate firms. *Journal of political Economy*, 94(3, Part 1), 614-641.
- Margari, B. B., Erbetta, F., Petraglia, C., & Piacenza, M. (2007). Regulatory and environmental effects on public transit efficiency: a mixed DEA-SFA approach. *Journal of Regulatory Economics*, 32(2), 131-151.
- Mohring, H. (1972). Optimization and scale economies in urban bus transportation. *The American Economic Review*, 62(4), 591-604.
- Mouwen, A., & van Ommeren, J. (2016). The effect of contract renewal and competitive tendering on public transport costs, subsidies and ridership. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 87, 78-89.
- Piacenza, M. (2006). Regulatory contracts and cost efficiency: Stochastic frontier evidence from the Italian local public transport. *Journal of Productivity Analysis*, 25(3), 257-277.
- Rogerson, W. P. (2003). Simple menus of contracts in cost-based procurement and regulation. *The American economic review*, 93(3), 919-926.
- Roy, W., & Yvrande-Billon, A. (2007). Ownership, contractual practices and technical efficiency: The case of urban public transport in France. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 41(2), 257-282.
- Sun, Y., & Schonfeld, P. M. (2015). Optimization Models for Public Transit Operations Under Subsidization and Regulation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2530), 44-54.