

DISCRIMINACION DE PRECIOS Y SUBVENCIONES CRUZADAS EN TRANSPORTE PUBLICO

Ginés de RUS MENDOZA*

Universidad de La Laguna

La discriminación de precios y la subvención cruzada son dos características sobresalientes de los sistemas tarifarios vigentes en el transporte público de viajeros. En este artículo se aborda el problema que constituye la provisión de servicios de transporte en períodos con demandas de distinta intensidad y en diferentes zonas geográficas con el propósito de analizar los dos elementos que dan título al trabajo.

1. Introducción

La utilización generalizada de precios únicos en la tarificación de los servicios públicos de transporte urbano y metropolitano impulsó el sistema de financiación interna conocido como subvención cruzada. Este sistema, que generalmente opera entre distintos períodos de tiempo en una misma zona (cuando hay demandas de distinto nivel de intensidad) o entre áreas geográficas con diferencias sensibles en sus costes marginales de producción, ha sido fuertemente criticado por su falta de transparencia y por su naturaleza discriminatoria.

En un mercado exento de competencia, en el que precios y oferta están regulados, estructuras tarifarias tipo Ramsey permiten satisfacer eficientemente las restricciones presupuestarias.

En este trabajo se presenta el problema de optimización que supone la elección de precios y oferta en la provisión de servicios de transporte público de viajeros sujetos a restricción presupuestaria y con diferencias sensibles en demanda y costes según diferentes grupos de servicios (espacial o temporalmente).

Los resultados obtenidos en la aplicación empírica realizada apoyan la diferenciación de precios, en consonancia con los costes de producción, eliminando el sistema discriminatorio de subvención cruzada que se deriva de la introducción de precios tipo Ramsey.

* Este artículo es parte de una investigación dirigida por el profesor Cándido Muñoz y continuada en la Universidad de Leeds (Inglaterra), con beca del Banco de España, bajo la supervisión de los profesores P. J. Mackie y C. A. Nash. Los tests de sensibilidad con las elasticidades demanda-precio y demanda-nivel de servicio han sido incluidos siguiendo las sugerencias del profesor Julio Segura. Dolores Rosa Santos ha revisado la formulación matemática. La versión que se presenta se ha beneficiado sensiblemente de los comentarios de un evaluador anónimo.

2. Fundamentos teóricos

La provisión de transporte público de viajeros en áreas urbanas y metropolitanas presenta problemas teóricos de interés (Winston, 1985), cuya resolución ha influido en las características de la oferta de este servicio.

En la oferta de servicios de transporte público de viajeros, el operador ha de decidir el número de plazas ofrecidas por kilómetro y unidad de tiempo, mientras que los consumidores demandan viajes con distancias a recorrer variables y a distintas horas del día. Esto implica, como Turvey (1975) ha observado, que las unidades de demanda y oferta son diferentes, lo que exige a los responsables de la provisión del servicio una doble elección sobre cantidad ofrecida y precio, a diferencia del monopolista habitual que ha de decidirse por una de las dos variables para que el mercado determine la otra (Nash, 1978).

El precio único por viajero en las zonas urbanas (viajero-km en las de cercanías e interurbanas) ha sido un sistema generalizado de tarificación en la provisión de servicios de transporte público, sin diferenciar por horas del día o zonas dentro de las áreas urbanas o metropolitanas.

La existencia de períodos con demandas de distinta intensidad, y de trayectos o zonas con diferencias acusadas en los costes de producción de las plazas-km ofrecidas, es la razón por la que la política tarifaria de precio único puede ser calificada de discriminatoria, en perjuicio de los usuarios que viajan fuera de las horas punta o en servicios de mayor velocidad comercial y/o en trayectos con densidad de población media o alta.

La fijación de un precio único para diferentes períodos de tiempo o zonas tiene un interés teórico notable por ser el origen, cuando se dan las diferencias mencionadas entre servicios, de la generalización de las subvenciones cruzadas como vía de financiación interna en la industria.

Las soluciones óptimas en situaciones de restricción presupuestaria muestran que la subvención cruzada es una consecuencia de la estructura tarifaria tipo Ramsey, para que las desviaciones de los precios con relación a sus respectivos costes marginales sean compatibles con la minimización de la pérdida de eficiencia económica.

Dadas las consecuencias que, en relación al principio de equidad, se derivan de la aplicación de precios tipo Ramsey, es relevante evaluar, en una industria con costes fijos relativamente pequeños, la repercusión de eliminar las subvenciones cruzadas, tanto en un mundo «first best» como en situaciones de «second best» caracterizadas por precios para el tráfico privado inferiores a los costes marginales de sus desplazamientos.

El problema remite a la optimización del uso de un sistema de transporte público que provee servicios en períodos de tiempo y zonas diferentes (costes de producción, ocupaciones, etc.). Su tratamiento se realiza considerando separadamente el caso de dos períodos de tiempo y el de dos conjuntos de servicios

espacialmente diferenciados; asimismo, se suponen nulas las elasticidades cruzadas demanda-precio y demanda-nivel de servicio entre los diferentes períodos y entre las zonas servidas.

Dadas ciertas características de la zona objeto de estudio (renta, índices de motorización, etc.) las funciones de demanda en el sistema de transporte público descrito dependen del precio y de la frecuencia del servicio (tiempo de espera). De igual manera que para el sector o período j , para el i tenemos que:

$$Q_i = f_i(P_i, B_i) \quad [1]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial P_i} < 0 \quad \frac{\partial Q_i}{\partial P_j} = 0 \quad [2]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial B_i} > 0 \quad \frac{\partial Q_i}{\partial B_j} = 0$$

Q_i, Q_j : Flujos de kilómetros recorridos por los viajeros (viajeros-km) por día en el sector rentable y deficitario, o en el período punta y resto del día.

B_i, B_j : Oferta medida en kilómetros recorridos por los vehículos (vehículos-km) ofrecidos en el sector o período de tiempo (i, j) .

El problema de optimización planteado puede ser formulado según la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{máx } Z(Q_i, B_i, Q_j, B_j) = & \int_0^{Q_i} f_i^{-1}(B_i, q_i) dq_i + \\ & + \int_0^{Q_j} f_j^{-1}(B_j, q_j) dq_j - (\alpha + \beta B_i + \gamma B_j) \end{aligned} \quad [3]$$

donde:

f_i^{-1}, f_j^{-1} : Funciones implícitas¹ que definen a P_i y P_j como funciones de (Q_i, B_i) y (Q_j, B_j) , respectivamente, y que se obtienen a partir de las funciones de demanda para los períodos temporales o sectores considerados.

α, β, γ : Coeficientes de la función de costes.

¹ La existencia de la función f_i^{-1} tal que $P_i = f_i^{-1}(B_i, Q_i)$, puede ser evidenciada aplicando el teorema de la función implícita a la función $F_i(B_i, Q_i, P) = Q_i - f_i(P, B_i)$, considerando que se verifique la igualdad $Q_i = f_i(P_i, B_i)$, donde f_i es una función diferenciable con continuidad y suponiendo $\frac{\partial f_i}{\partial P}(P_i, B_i) \neq 0$ (condiciones [1] y $\frac{\partial Q_i}{\partial P_i} < 0$ en [2]). Análogamente para f_j .

La función de costes recogida en [3] incluye los costes fijos (α) de prestación del servicio y los costes variables unitarios (β , γ). Estos coeficientes son a su vez los costes marginales de producción, dada la función de producción de la industria. Dentro de límites razonables en las variaciones de la demanda, β y γ toman valores distintos porque la velocidad comercial de circulación disminuye en las horas punta con relación al resto del día o entre distintas zonas geográficas con diferente trazado, densidad de población, etc. Se han ignorado por simplicidad los costes impuestos por unos usuarios a otros aunque en la aplicación empírica realizada se han obtenido los índices de ocupación para no perder realismo en los resultados².

En «first best» las soluciones de maximizar el beneficio social neto (BSN), según la expresión [3], conduce a soluciones conocidas y poco prácticas³ al no haberse añadido restricción presupuestaria a la función objetivo y al ignorar el coste que un usuario impone a los demás por el hecho de acceder al sistema de transporte (Mohring y Turvey, 1975).

En este trabajo tiene mayor interés la siguiente formulación del problema de optimización:

$$\begin{aligned} \text{máx } L(Q_i, B_i, Q_j, B_j) = & \int_0^{Q_i} f_i^{-1}(B_i, q_i) dq_i + \\ & + \int_0^{Q_j} f_j^{-1}(B_j, q_j) dq_j - (\alpha + \beta B_i + \gamma B_j) - \\ & - \lambda [P_i Q_i + P_j Q_j + S - \alpha - \beta B_i - \gamma B_j] \end{aligned} \quad [4]$$

donde S es la subvención externa disponible.

Las condiciones de primer orden para la maximización del BSN serán diferentes si:

- a) En cada período o sector se deben cubrir los costes de cada período o sector.
- b) Se deben cubrir los costes globalmente.

Con las funciones de demanda usuales y una función de costes que refleja rendimientos constantes en la producción de vehículos-km se verificarán las condiciones de segundo orden. El único problema de existencia de solución vendría dado por la imposibilidad de cumplir la restricción presupuestaria.

2.1. *Cubrir costes en cada período o sector*

Si la restricción presupuestaria se establece separadamente, las condiciones de primer orden se obtienen en dos problemas de maximización independientes con una formulación similar a la expresión [4] en la que los costes fijos se han asignado convenientemente, o bien han desaparecido al aproximar el problema con una visión de medio plazo (Jansson, 1984).

² La referencia básica para la aproximación que incorpora el tiempo en la función de costes de los usuarios es, Mohring (1972).

³ Cf. Nash (1978).

Las condiciones generales de primer orden son para el sector o período i (igual que para el j):

$$f_i^{-1}(B_i, Q_i) = \lambda_i \frac{\partial(P_i Q_i)}{\partial Q_i} \tag{5}$$

$$\frac{\partial \int_0^{Q_i} f_i^{-1}(B_i, q_i) dq_i}{\partial B_i} - \beta = \lambda_i \left[\frac{\partial(P_i Q_i)}{\partial B_i} - \beta \right] \tag{6}$$

Como Nash (1978) ha señalado, la condición [5] indica la conveniencia de reducir el precio mientras éste exceda el ingreso marginal perdido, para ganar un viajero-km adicional, multiplicado por el precio sombra de los fondos públicos. La condición [6] aconseja incrementar el servicio siempre que el excedente social generado exceda al beneficio perdido multiplicado por el precio sombra de los fondos públicos.

Estos resultados exigen como condición previa separabilidad completa en la producción y en el consumo, con el fin de poder abordar los problemas de maximización independientemente en cada sector o período.

La maximización del BSN con cobertura de costes por separado para cada sector o período temporal conduce a soluciones conocidas caracterizadas por precios y cantidades que dependen exclusivamente del coste de producción y la demanda del servicio considerado, por lo que el precio será mayor en horas punta y en sectores de menor velocidad comercial.

Como aproximación a la maximización del BSN, la maximización de los viajeros-km ha sido considerada objetivo comercial recomendable para las empresas de transporte público (Glaister y Collings, 1978; Nash, 1978).

Cuando la optimización se realiza cubriendo costes en cada período o sector, las soluciones son similares a las obtenidas en la maximización del BSN con la única diferencia de utilizar el viajero-km como una aproximación al beneficio social.

2.2. Los costes se cubren globalmente

Si la restricción presupuestaria se satisface globalmente, las soluciones a la expresión [4] pueden presentarse de la manera siguiente:

$$\frac{f_i^{-1}(B_i, Q_i)}{\partial(P_i Q_i)/\partial Q_i} = \frac{f_j^{-1}(B_j, Q_j)}{\partial(P_j Q_j)/\partial Q_j} \tag{7}$$

$$\frac{\frac{\partial \int_0^{Q_i} f_i^{-1}(B_i, q_i) dq_i}{\partial B_i} - \beta}{\frac{\partial(P_i Q_i)}{\partial B_i} - \beta} = \frac{\frac{\partial \int_0^{Q_j} f_j^{-1}(B_j, q_j) dq_j}{\partial B_j} - \gamma}{\frac{\partial(P_j Q_j)}{\partial B_j} - \gamma} \tag{8}$$

Al existir un precio sombra de los fondos públicos, único para el problema de optimización a resolver, las soluciones de maximización del BSN con restricción presupuestaria global exigen la igualdad entre las reducciones de precios con relación a las pérdidas de ingresos sufridas para captar viajeros en cada período o sector, y la igualdad entre el BSN marginal, resultante de incrementar el nivel de servicio por unidad monetaria adicional de subvención para ambos sectores o períodos temporales analizados.

Las condiciones [7] y [8] tienen la virtud de facilitar el mejor uso de los fondos públicos destinados a la industria, al comparar el beneficio social marginal entre zonas antes de reducir el precio o aumentar los vehículos-km. Los precios y niveles de servicio resultantes del cumplimiento de ambas condiciones permiten maximizar el beneficio social para el nivel de subvención empleado.

Si la maximización de los viajeros-km es la función objetivo (como aproximación al BSN):

$$\begin{aligned} \text{máx } L(P_i, P_j, B_i, B_j) = & f_i(P_i, B_i) + f_j(P_j, B_j) - \\ & - \lambda [P_i Q_i + P_j Q_j + S - \alpha - \beta B_i - \gamma B_j] \end{aligned} \quad [9]$$

Para que se verifiquen las condiciones de primer orden han de satisfacerse las igualdades siguientes:

$$\frac{\frac{\partial f_i(P_i, B_i)}{\partial P_i}}{\frac{\partial (P_i Q_i)}{\partial P_i}} = \frac{\frac{\partial f_j(P_j, B_j)}{\partial P_j}}{\frac{\partial (P_j Q_j)}{\partial P_j}} \quad [10]$$

$$\frac{\frac{\partial f_i(P_i, B_i)}{\partial B_i}}{\frac{\partial (P_i Q_i)}{\partial B_i}} - \beta = \frac{\frac{\partial f_j(P_j, B_j)}{\partial B_j}}{\frac{\partial (P_j Q_j)}{\partial B_j}} - \gamma \quad [11]$$

La interpretación de las igualdades [10] y [11] es similar a la realizada para [7] y [8] aunque con una diferencia a subrayar:

La maximización de los viajeros-km conducirá a elevaciones del precio en los sectores o períodos más inelásticos y reducciones en los más elásticos; de manera que, con un coste similar se aumente el flujo de viajeros-km transportados con independencia de su beneficio social. Nash (1982) ha puesto de relieve este riesgo de sobreexpansión en los mercados más elásticos cuando se utiliza el viajero-km como aproximación al BSN.

La solución a este problema, consistente en introducir ponderaciones, resta simplicidad al objetivo de maximizar los viajeros-km transportados. Naturalmente, la supresión de la subvención cruzada restablece la sencillez de este objetivo comercial al eliminar el riesgo de sobreexpansión.

Con la tecnología disponible, el coste de introducir y mantener precios distintos en períodos y sectores con diferencias en sus costes de producción es prácticamente nulo⁵. El problema de mayor interés que queda por resolver es el siguiente: *¿Debe limitarse la diferenciación de precios a incorporar las diferencias en los costes marginales, cubriendo costes cada sector o período de manera independiente, o debe aplicarse la estructura tarifaria resultante de maximizar el BSN o los viajeros-km admitiendo subvención cruzada?*

La formulación teórica del problema realizada ofrece un conjunto de soluciones óptimas según las aproximaciones utilizadas, pero, *¿puede hablarse de una única que pueda ser considerada superior al resto?*

Si se maximiza el BSN, las condiciones [7] y [8] indican superioridad con respecto a [5] y [6] ya que se desviarán recursos de un sector a otro en función de los rendimientos que ofrezcan en términos de BSN.

Si la función objetivo viene dada por la maximización de los viajeros-km, las condiciones [10] y [11] conducen a una asignación de recursos que globalmente garantiza un máximo en el flujo de viajeros-km transportados con independencia de su beneficio social; por consiguiente, puede haber reducción en el BSN elevando precios en los mercados inelásticos para obtener con los recursos liberados más viajeros-km de menor valor social en los mercados elásticos.

Las soluciones teóricas de maximización cuando la función objetivo es BSN y cuando la función objetivo es viajeros-km indican suboptimalidad en el segundo caso cuando la restricción presupuestaria se establece globalmente; no obstante, la maximización del BSN con cobertura global de los costes aparece superior al resto de las alternativas. Esto justificaría la defensa del modelo de subvención cruzada, característico de la mayoría de los sistemas de transporte, con relación al criterio de eficiencia económica. En el apartado 3 se realiza una aplicación empírica cuyos resultados restan apoyo a la conclusión anterior.

3. Precios y oferta con restricción presupuestaria: Una aplicación

3.1. Formulación del problema

Con información facilitada por las empresas sobre viajeros transportados por hora y línea en laborables, para Las Palmas y la concesión V-3072 en Gran Canaria durante el año 1983, se han obtenido, tras un análisis de costes de las explotaciones utilizando el sistema CIPFA (1978), datos relativos a la demanda de transporte público en horas punta y resto del día para la ciudad de Las Palmas, y para el área rentable y la deficitaria de la concesión V-3072 en Gran Canaria que comprende el pasillo Las Palmas-Sur, algunos servicios de cerca-

⁵ Aunque no habría que olvidar los problemas derivados de la actitud de los usuarios ante un sistema tarifario que es *percibido* como discriminatorio.

nías y un grupo de servicios rurales con un coste de producción notablemente superior al medio. La formulación general del modelo corresponde a la expresión [4] con funciones de demanda semilogarítmicas:

$$\begin{aligned} Q_i &= \exp \left(a - bP_i - \frac{c}{B_i} \right) \\ Q_j &= \exp \left(d - eP_j - \frac{g}{B_j} \right) \end{aligned} \quad [12]$$

La elección del tipo de función de demanda responde a la necesidad de permitir que las elasticidades demanda-precio y demanda-nivel de servicio experimenten variaciones graduales con distintos niveles de precios y producción en línea con la evidencia empírica disponible (TRRL, 1980; Department of Transport, 1982; Glaister, 1983).

Con información contable y de explotación de la Empresa Municipal de Transporte Urbano de Las Palmas, desagregada por línea y hora del día, se agruparon los datos en cinco segmentos horarios por cada línea. De los cinco grupos se han unido los tres períodos con mayor intensidad en su demanda (7:00-9:00; 13:00-14:00; 17:00-19:00 horas). Los valores de las elasticidades utilizadas han sido 0,2 para la demanda-precio y demanda-nivel de servicio en las horas punta (0,4 para el resto del día).

Con estos valores, las funciones de demanda y costes son las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Ln } Q_p &= 12,645 - 0,0322P_p - \frac{1,9352}{B_p} \\ \text{Ln } Q_o &= 13,578 - 0,0644P_o - \frac{8,22}{B_o} \\ C_p &= 219.927 + 173.500B_p \\ C_o &= 260.933 + 112.300B_o \end{aligned}$$

donde:

Q_p = Viajeros-km transportados por día en horas punta.

Q_o = Viajeros-km transportados por día en horas normales.

P_p, P_o = Precio (ptas./viajero-km).

B_p, B_o = Vehículos-km (miles) por día.

C_p, C_o = Costes totales en cada período de tiempo.

Para el caso de sectores con diferente nivel de rentabilidad, originado por diferencias en los costes de producción y en las demandas, se han estimado dos funciones de demanda y dos de costes con datos de la concesionaria V-3072 (SALCAI) de Gran Canaria. Los cálculos realizados permitieron calcular índices de rentabilidad para las aproximadamente cuarenta líneas que componen la concesión. Posteriormente fueron agrupadas en dos bloques: el de líneas rentables y el de deficitarias, caracterizadas estas últimas por su mayor coste y menor ocupación.

Con los valores (0,3; 0,3) para las elasticidades demanda-precio y demanda-nivel de servicio en ambos sectores, las funciones son las siguientes:

$$\text{Ln } Q_r = 13,56 - 0,06547P_r - \frac{5,6956}{B_r}$$

$$\text{Ln } Q_d = 12,906 - 0,06547P_d - \frac{4,6567}{B_d}$$

$$C_r = 149.098 + 67.255B_r$$

$$C_d = 192.215 + 86.817B_d$$

donde:

Q_r = Viajeros-km transportados por día en el sector rentable.

Q_d = Viajeros-km transportados por día en el sector deficitario.

P_r, P_d = Precio (ptas./viajero-km).

B_r, B_d = Vehículos-km (miles) por día.

C_r, C_d = Costes totales en cada sector.

Para valorar la sensibilidad de los resultados ante cambios en las elasticidades, se han buscado todas las soluciones que corresponden a las diferentes posibilidades de combinar los valores de las elasticidades empleados para ambos sectores.

3.2. Resultados

Los resultados obtenidos en la resolución del problema empírico, con los programas de optimización no lineal BUSOPTIM y BUSOPT2 de C. A. Nash, se recogen en los cuadros 1 y 2 y apéndices.

CUADRO 1.
Precios y nivel de servicio óptimos para horas punta y resto del día

Objetivo	Restricción	B_p (miles)	B_0 (miles)	P_p	P_0	Viajeros-km (miles)	BSN (miles de ptas.)
Excedente social	Cubrir costes globalmente	8	20	12	6	511 (30,4) (69,6)	10.659
Excedente social	Cubrir costes en cada período	7,8	19	8,6	7,7	495 (37,1) (62,9)	10.506
Viajeros-km	Cubrir costes globalmente	6	22	19	4	541 (22,5) (77,5)	10.299
Viajeros-km	Cubrir costes en cada período	7,8	19	8,6	7,7	495 (37,1) (62,9)	10.506

Nota: En la columna de viajeros-km transportados se indica entre paréntesis la participación porcentual de cada período: horas punta (p) y horas normales (0).

CUADRO 2.
Precios y nivel de servicio óptimos para sectores con distinto nivel de rentabilidad

Objetivo	Restricción	B_r (miles)	B_d (miles)	P_r	P_d	Viajeros-km (miles)	BSN (miles de ptas.)
Excedente social	Cubrir costes globalmente	24,6	13,5	4,8	4,9	656 (68,4) (31,6)	10.016
Excedente social	Cubrir costes en cada sector	24,6	11,9	3,8	7,2	650 (73,9) (26,1)	9.933
Viajeros-km	Cubrir costes globalmente	24,6	13,5	4,8	4,9	656 (68,4) (31,6)	10.016
Viajeros-km	Cubrir costes en cada sector	24,6	11,9	3,8	7,2	650 (73,9) (26,1)	9.933

Nota: En la columna de viajeros-km transportados se indica entre paréntesis la participación porcentual de cada sector: rentable (r) y deficitario (d).

En relación a la determinación de precios óptimos en horas punta y horas normales (cuadro 1) las combinaciones de precios y cantidades ofrecidas muestran que la diferencia de precios resultante de maximizar el excedente social, cubriendo costes cada período independientemente, es mínima si consideramos la duplicación del precio en horas punta con relación a las normales, resultante de maximizar con restricción global para el conjunto del sistema.

Aunque el máximo BSN se produce con esta última aproximación, la mejora que se produce con relación a los resultados obtenidos cuando los costes se cubren por separado es de poca significación como para justificar la variación en la participación de cada período o sector y la discriminación de precios asociada a esta solución.

Si la cobertura de costes se realiza en cada período por separado, la maximización de los viajeros-km es una réplica de la maximización del excedente social; sin embargo, al permitirse subvención implícita, el operador reducirá la producción y elevará los precios en los segmentos más inelásticos (horas punta) aplicando la política contraria el resto del día, soluciones que han sido puestas de manifiesto en el tratamiento teórico del problema y que son subóptimas al perderse BSN por transportar más viajeros-km de menor valor.

Es importante subrayar que la diferencia de precios no discriminatoria (Hirschleifer, 1958) será más acentuada cuanto más severo sea el problema de las horas puntas y el nivel de congestión en dichas horas; si bien, consideraciones de «second best» por la ausencia de una tarificación acorde con el criterio de eficiencia económica en el tráfico privado podría aconsejar la modificación de la solución obtenida en condiciones de «first best».

El conjunto de resultados para los sectores rentables y deficitarios se recoge en los cuadros 1, 3 y 4 y apéndices. Estos resultados tienen un mayor interés porque sustentan una política de precios distinta a la que actualmente informa las estructuras tarifarias vigentes en la mayoría de los sistemas de transporte urbanos y metropolitanos.

Los resultados presentados en el cuadro 2 muestran que, incluso sin diferencias en las elasticidades de cada sector, la maximización del BSN o de los viajeros-km cubriendo costes globalmente y, por tanto, permitiendo subvenciones cruzadas, conduce a una elevación de precios en las líneas rentables sin beneficios significativos en términos de BSN o viajeros-km. La eliminación de la subvención cruzada no reduciría apreciablemente el BSN; sin embargo, los precios tendrían que ser reducidos en un 17 por 100 para las líneas rentables y elevados en un 59 por 100 para las deficitarias.

En los fundamentos teóricos del problema de optimización del sistema de transporte, las soluciones obtenidas con cobertura global de costes formuladas en [10] y [11] evidencian la posibilidad de suboptimalidad por excesiva expansión en los mercados de mayor elasticidad en detrimento de los inelásticos. Sin embargo, las expresiones [7] y [8] muestran de manera inequívoca la superioridad en términos de BSN de la maximización del excedente social con cobertura global de los costes, por la posibilidad de asignar los recursos en función de los rendimientos marginales obtenidos en cada sector. La aplicación empírica realizada ha puesto de relieve que la solución que admite subvención cruzada no aumenta sensiblemente el BSN.

En los apéndices 1 y 2 se han obtenido las soluciones óptimas para todas las combinaciones posibles de las elasticidades demanda-precio y demanda-nivel de servicio para los valores 0,3 y 0,2 en líneas rentables y deficitarias, tanto con relación a la maximización del excedente social como a la maximización de los viajeros-km.

CUADRO 3.

Variaciones porcentuales en los resultados al permitir subvenciones cruzadas con relación a los resultados obtenidos en la maximización del excedente social sin subvenciones cruzadas

Deficitarias	0,3/0,3		0,3/0,2		0,2/0,3		0,2/0,2	
Rentables	v.-km	BSN	v.-km	BSN	v.-km	BSN	v.-km	BSN
0,3/0,3	0,8	0,8	0,3	0,3	-0,8	0,2	-0,4	0,1
0,3/0,2	1,1	1,1	0,4	0,4	-1,1	0,4	-0,6	0,2
0,2/0,3	3,2	0,9	2,1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
0,2/0,2	4,0	1,2	2,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,3

CUADRO 4.

Variaciones porcentuales en los resultados al permitir subvenciones cruzadas con relación a los resultados obtenidos en la maximización de los viajeros-km sin subvenciones cruzadas

Deficitarias	0,3/0,3		0,3/0,2		0,2/0,3		0,2/0,2	
Rentables	v.-km	BSN	v.-km	BSN	v.-km	BSN	v.-km	BSN
0,3/0,3	0,8	0,8	0,3	0,3	0,5	-1,2	1	-0,8
0,3/0,2	1,1	1,1	0,4	0,4	0,2	-0,7	0,8	-1,1
0,2/0,3	5	-0,7	3,7	-1,3	0,3	0,3	0,2	0,2
0,2/0,2	5,8	-0,9	4,3	-1,0	0,5	0,5	0,3	0,3

En los cuadros 3 y 4 se ha calculado para cada posibilidad (por ejemplo, elasticidades demanda-precio y demanda-nivel de servicio 0,3/0,3 para las líneas rentables y 0,3/0,3 para las deficitarias) la variación porcentual en términos de viajeros-km (v-km) y BSN que la introducción de subvención cruzada origina sobre la base de una optimización en la que no se permite subvención cruzada. En el cuadro 3 tomando como función objetivo la maximización del excedente social, y en el cuadro 4 la maximización de los viajeros-km.

En ninguno de los casos, el sistema de subvenciones cruzadas mejora los resultados en más de un 1,2 por 100 en términos de BSN. En términos de viajeros-km llega a alcanzarse un aumento del 6 por 100 aunque con una pérdida del 0,9 por 100 de BSN, como ya sugerían las soluciones obtenidas en los fundamentos teóricos del problema.

Finalmente, suponiendo que no existan problemas derivados del carácter conjunto de la producción en la estimación de los costes marginales, la eliminación de las subvenciones cruzadas y el tratamiento consiguiente de cada sector por separado en relación a la restricción presupuestaria ha de enfrentarse con la elección de la combinación precio-cantidad ofrecida que satisfaga la restricción presupuestaria y optimice el objetivo perseguido.

En el gráfico 1 se representan las combinaciones de mayor interés y el punto donde se maximizan los viajeros-km y el BSN⁶. Los resultados son inequívocos en el sentido de estar situados en el óptimo cuando elegimos la combinación 3,76 ptas./viajero-km y 24.650 vehículos-km diarios (con elasticidades 0,3/0,3 en el sector rentable).

Se han comparado combinaciones significativas de menor calidad (precio reducido-menor oferta) con otras de mayor calidad (precio elevado-mayor oferta) obteniendo variaciones sobre el BSN y sobre los viajeros-km transportados prácticamente insignificantes. Es muy difícil elegir, por tanto, una combinación u otra cuando es sabido que el valor del tiempo, uno de los componentes fundamentales de la función de costes del usuario, es variable con el nivel de renta y por consiguiente sin valor único para diferentes grupos de usuarios. El «trade off» se produce entre precios y tiempos de espera, con lo que de nuevo el tema de la distribución está presente en la elección que haga el regulador.

CC: Combinaciones precio-nivel de servicio que permiten cubrir costes.

v.-km₁: Combinaciones precio-nivel de servicio para un mismo flujo de viajeros-km transportados por día: v.-km₁ corresponde a 400.000, v.-km₂ a 480.000 y v.-km₃ a 576.000.

En el punto A se maximizan los viajeros-km respetándose la restricción presupuestaria (sector rentable y elasticidades 0,3/0,3).

⁶ Frankena (1981) emplea esta aproximación para examinar los efectos de varios sistemas de subvención externa. Ver Frankena (1983) para un tratamiento diferente de la función de demanda.

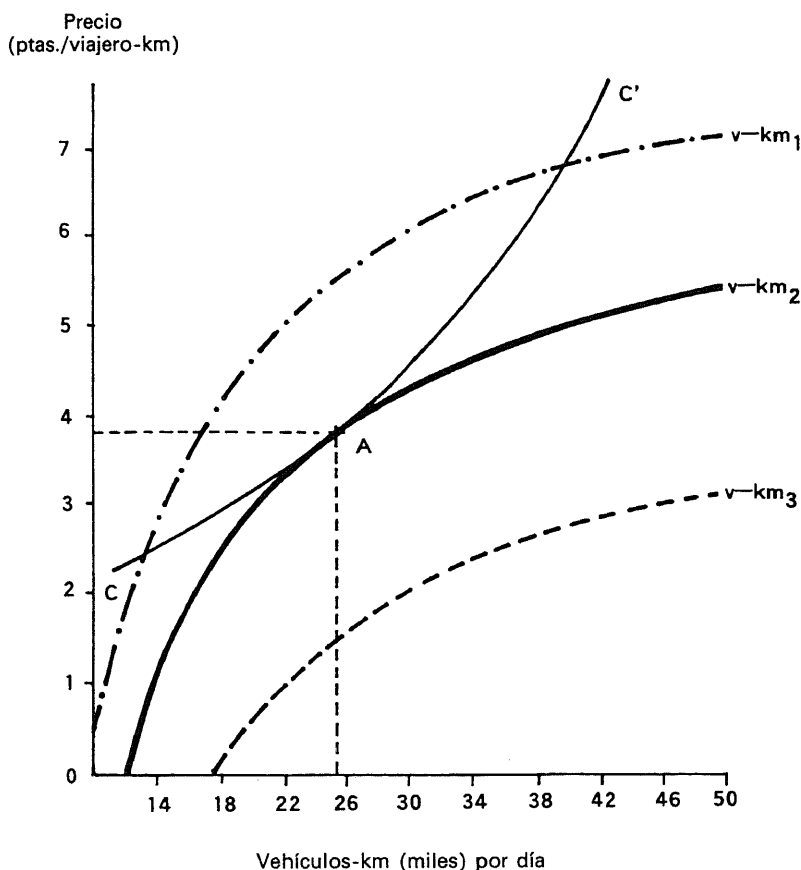


Gráfico 1. Maximización de los viajeros-km con restricción presupuestaria en el sector rentable para valores 0,3/0,3 en las elasticidades demanda-precio y demanda-nivel de servicio.

4. Conclusiones

La formación de precios en transporte público de viajeros puede ser abordada desde enfoques diversos (estructura de precios óptimos en función de la distancia, en función de la zonificación del área servida, etc.). En este artículo se han analizado dos de las cuestiones más relevantes que se plantean en la determinación de los precios que van a emplearse en una ciudad, concesión o área metropolitana cuando, por un lado, hay demandas de distinta intensidad a lo largo del día; y por otro, cuando cabe distinguir entre grupos de servicios según su localización atendiendo a su coste de producción y grado de ocupación.

Los resultados obtenidos en el análisis realizado apoyan la introducción, en áreas urbanas y metropolitanas, de una política no discriminatoria de precios

en el transporte público de viajeros urbano y de cercanías, con estructuras tarifarias que incorporen las diferencias más notables en los costes de producción entre horas punta y horas normales y entre diferentes sectores.

Con los resultados obtenidos en este trabajo reforzados con los tests de sensibilidad empleados, el modelo de subvención cruzada que caracteriza a la mayoría de nuestros sistemas urbanos y metropolitanos de transporte es poco defendible con relación al principio de asignación eficiente de los recursos en una situación ideal sin congestión. Difícilmente lo es con relación al de equidad.

No encontramos razones por las que, como ocurre en la actualidad, los usuarios del transporte público de un conjunto de líneas de la red deban subvencionar las líneas de mayor coste y menor ocupación. La diferenciación de precios que proponemos debe reflejar los costes marginales de producción, siendo la cobertura de los costes fijos (en caso de ser exigida) realizada tarifando según el coste total medio (la desviación es mínima por la escasa importancia del componente fijo en la industria).

En situaciones de congestión en las que no se tarifica el tráfico privado de acuerdo con sus costes marginales debido a restricciones de naturaleza técnica y/o política, la estructura tarifaria tipo Ramsey no es sólo cuestionable desde consideraciones de equidad. La elevación de precios en las líneas urbanas o suburbanas que operan en zonas y trayectos de mayor ocupación, y con problemas de congestión, para subvencionar líneas rurales o de débil tráfico es insostenible desde criterios de racionalidad económica (siempre que las elasticidades cruzadas de la demanda de transporte privado con relación al público no sean nulas).

La maximización de los viajeros-km como función objetivo es la mejor aproximación a la maximización del beneficio social neto. Cuando se eliminan las subvenciones cruzadas desaparece el riesgo de sobreexpansión en los mercados elásticos y el objetivo comercial se simplifica para su aplicación empresarial.

Se ha mostrado la dificultad que entraña decidir el par precio-cantidad ofrecida dentro de todos los posibles que cumplen la restricción presupuestaria (una vez que hemos eliminado el problema de la subvención cruzada). Combinaciones que implican menores tiempos de espera con un precio medio más elevado han de compararse con combinaciones en las que el recorte en la cantidad ofrecida va acompañado de un precio inferior.

Finalmente, para poder llevar a cabo la política de diferenciación de precios propuesta es condición necesaria la existencia de períodos o sectores separables en el consumo y en los que no se den problemas serios de producción conjunta que conviertan en un mero ejercicio contable la desagregación de costes por sectores, líneas y horas del día. Por otra parte, en cada caso habría que resolver el conflicto entre la necesaria simplicidad de la estructura tarifaria y la realidad, cuando ésta presente situaciones más complejas (puntas importantes con varios sectores muy diferenciados, etc.).

Apéndice

Nota a los apéndices

A1 y A2: Precio expresado en ptas./viajero-km en el sector rentable y en el deficitario, respectivamente.

A3 y A4: Oferta diaria en miles de kilómetros en el sector rentable y en el deficitario, respectivamente.

A5: Viajeros-km transportados por día.

A6: Beneficio social neto (ptas.).

CUADRO A1.
Maximización del beneficio social neto

Deficitarias	0,3/0,3	0,3/0,2	0,2/0,3	0,2/0,2
Rentables				
Cubrir costes en cada sector	3,76 ^{A1} 7,21 ^{A2} 24,65 ^{A3} 11,88 ^{A4} 650.339 ^{A5} 9.933.464 ^{A6}	3,76 5,95 24,65 10,30 663.184 10.129.698	3,76 7,96 24,65 15,15 669.975 11.684.489	3,76 6,20 24,65 11,50 672.697 11.746.857
0,3/0,3				
Cubrir costes globalmente	4,80 4,90 24,60 13,50 655.703 10.015.560	4,20 4,60 24,20 10,40 664.996 10.158.490	4,30 6,50 24,30 15,30 664.805 11.705.570	4,10 5,80 24,80 12,40 670.010 11.761.260
Cubrir costes en cada sector	3,19 7,21 20,17 11,88 641.261 9.794.759	3,19 5,95 20,17 10,30 654.106 9.990.993	3,19 7,96 20,17 15,15 660.897 11.545.794	3,19 6,20 20,17 11,50 663.619 11.608.152
0,3/0,2				
Cubrir costes globalmente	4,20 4,50 19,20 13,30 648.599 9.907.065	3,90 4,20 20,50 10,40 656.914 10.034.450	4 6,10 19,40 16,20 653.443 11.587.340	3,70 5,50 20 12,90 659.324 11.633.320
Cubrir costes en cada sector	4,60 7,21 30,32 11,88 645.478 13.504.018	4,60 5,95 30,32 10,30 658.323 13.700.252	4,60 7,96 30,32 15,15 665.114 15.255.043	4,60 6,20 30,32 11,50 667.836 15.317.411
0,2/0,3				
Cubrir costes globalmente	5,90 4 30,50 13 666.630 13.630.320	5,50 3,50 29,50 10,80 672.416 13.757.470	5,70 5,50 29,40 16,60 667.359 15.307.280	5,20 4,80 24,40 12,40 668.946 15.342.890

CUADRO A1. (Continuación)

Deficitarias		0,3/0,3	0,3/0,2	0,2/0,3	0,2/0,2
Rentables					
Cubrir costes en cada sector		3,91 7,21	3,91 5,95	3,91 7,96	3,91 6,20
		24,42 11,88	24,42 10,30	24,42 15,15	24,42 11,50
		627.947	640.792	647.583	650.305
		13.101.858	13.298.092	14.852.883	14.915.251
0,2/0,2					
Cubrir costes globalmente		5,30 3,60	4,97 3,35	5,10 5,30	4,80 4,40
		23,40 13,40	24 10,96	23,50 16,60	23,40 13
		653.094	656.757	650.850	652.121
		13.258.060	13.374.224	14.927.830	14.957.660

CUADRO A2.
Maximización de los viajeros-km

Deficitarias		0,3/0,3	0,3/0,2	0,2/0,3	0,2/0,2
Rentables					
Cubrir costes en cada sector		3,76 7,21	3,76 5,95	3,76 7,96	3,76 6,20
		24,65 11,88	24,65 10,30	24,65 15,15	24,65 11,50
		650.339	663.184	669.975	672.697
		9.933.464	10.129.698	11.684.489	11.746.857
0,3/0,3					
Cubrir costes globalmente		4,80 4,90	4,20 4,60	3 10,20	2,90 9,40
		24,60 13,50	24,20 10,40	25,40 13,30	25,80 11,20
		655.703	664.996	673.147	679.564
		10.015.560	10.158.490	11.542.880	11.650.730
0,3/0,2					
Cubrir costes en cada sector		3,19 7,21	3,19 5,95	3,19 7,96	3,19 6,20
		20,17 11,88	20,17 10,30	20,17 15,15	20,17 11,50
		641.261	654.106	660.897	663.619
		9.794.759	9.990.993	11.545.784	11.608.152
0,3/0,2					
Cubrir costes globalmente		4,20 4,50	3,90 4,20	2,90 9,40	2,30 9,70
		19,20 13,30	20,50 10,40	21,80 14,40	21,10 11,50
		648.599	656.914	662.501	668.974
		9.907.065	10.034.450	11.461.640	11.481.630

CUADRO A2. (Continuación)

Deficitarias	0,3/0,3	0,3/0,2	0,2/0,3	0,2/0,2
Rentables				
Cubrir costes en cada sector	4,60 7,21	4,60 5,95	4,60 7,95	4,60 6,20
	30,32 11,88	30,32 10,30	30,32 15,15	30,32 11,50
	645.478	658.323	665.114	667.836
	13.504.018	13.700.252	15.255.043	15.317.411
0,2/0,3				
Cubrir costes globalmente	8,30 0,70	7,70 0,20	5,70 5,50	5,20 4,80
	27,30 15,10	26,40 12,10	29,40 16,60	29,40 12,40
	679.121	682.418	667.359	668.946
	13.411.680	13.520.070	15.307.280	15.342.890
Cubrir costes en cada sector	3,91 7,21	3,91 5,95	3,91 7,96	3,91 6,20
	24,42 11,88	24,42 10,30	24,42 15,15	24,42 11,50
	627.947	640.792	647.583	650.305
	13.101.858	13.298.092	14.852.883	14.915.251
0,2/0,2				
Cubrir costes globalmente	8,40 0,50	7,60 0,10	5,10 5,30	4,80 4,70
	22,10 16,50	22,80 12,50	23,50 16,60	24,50 12,90
	664.540	668.218	650.850	652.146
	12.989.990	13.162.860	14.927.830	14.957.660

Referencias

- CIPFA (1978): *Passenger Transport Operations*, Chartered Institute of Public Finance and Accounting.
- Department of Transport (1982): *Urban Public Transport Subsidies: An Economic Assessment of Value for Money*, Londres.
- Frankena (1981): «The Effects of Alternative Urban Transit Subsidy Formulas», *Journal of Public Economics*, vol. 15, pp. 337-348.
- Frankena (1983): «The Efficiency of Public Transport Objectives and Subsidy Formulas», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 17, pp. 67-76.
- Glaister, S. (1983): *The Allocation of Urban Public Transport Subsidy*, London School of Economics.
- Glaister, S., y Colling, J. J. (1978): «Maximisation of Passenger Miles in Theory and Practice», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 12, pp. 304-321.
- Hirshleifer, J. (1958): «Peak Loads and Efficient Pricing: Comment», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 72, pp. 451-462.
- Jansson, J. O. (1984): *Transport System Optimization and Pricing*, John Wiley and Sons.
- Mohring, H. (1972): «Optimization and Scale Economies in Urban Bus Transportation», *American Economic Review*, vol. 62, pp. 591-604.
- Mohring, H., y Turvey, R. (1975): «Optimal Bus Fares», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 9, pp. 281-286.

- Nash, C. A. (1978): «Management Objectives, Fares and Service Levels in Bus Transport», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 12, pp. 70-85.
- Nash, C. A. (1982): *Economics of Public Transport*, Longman, Londres.
- T.R.R.L. (1980): *The Demand for Public Transport*, Transport and Road Research Laboratory, Berkshire.

Abstract

Price discrimination and cross-subsidization are two relevant characteristics of present fare systems in urban public transport. This article deals with the problem of public transport provision in different periods of time and different zones, with the purpose of analyzing both elements which figure in the heading.

Recepción del original, marzo de 1986
Versión final, noviembre de 1986