MODELOS DE TARIFICACION EN SISTEMAS DE TRANSPORTE

Sergio R. Jara Díaz
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Chile

Resumen

El problema de tarificar los servicios de sistemas de transporte tiene diversas respuestas, dependiendo tanto del objetivo que se persiga como de las condiciones que restringen el rango de las tarifas. En el trabajo se desarrollan varios casos, en un contexto de multiproducción con forma de operación constante, mostrando que los requerimientos de información van desde el simple análisis de costos del sistema a tarificar, hasta la incorporación de todos los modos, tanto desde el punto de vista de costos como de la sensibilidad directa y/o cruzada de la demanda. Además de sugerir una forma de análisis, se presentan algunos ejemplos reales ilustrativos del nivel de tarifas que se alcanzarían en zonas urbanas. Se discuten algunas posibles aproximaciones, el rol del nivel de servicio y los supuestos más importantes. Se establecen algunos criterios para la elección de modelos.

1. Introducción

La tarificación de servicios públicos de transporte es una herramienta de alto impacto en el funcionamiento del sistema urbano de transporte en su conjunto. Si bien la demanda agregada por este tipo de servicios es sumamente inelástica en el corto plazo, la presencia de modos o recorridos alternativos hace que cada operador aislado perciba un grado mucho mayor de sensibilidad de los usuarios a sus propias tarifas. Si bien los viajeros son también sensibles al nivel de servicio,en el caso particular de Santiag operación atomizada de la locomoción colectiva de superficie y el criterio de niveles de servicio adecuados adoptado por el Metro, hace que el control sobre esta variable de "calidad" no sea vista por cada operador como un instrumento de influencia sobre su propia demanda. Esto otorga al precio especial relevancia en la determinación de la partición modal.

Por otra parte, cada modo de transporte tiene una estructura distinta de costos, reflejo de las diversas combinaciones de recursos asociadas a la provisión de un determinado volumen de viajes. Por esta razón, particiones modales distintas generan distintos costos, tanto a nivel agregado como modal o de operador individual. Normalmente, la estructura tarifaria de la locomoción colectiva de todo tipo ha descansado básicamente en análisis de costo del modo involucrado, tanto en ambientes regulados como no regulados. Sin embargo, es un hecho que la variación de tarifas en un modo de transporte urbano provoca, por las razones mencionadas, variaciones en la demanda por todos los modos, lo que a su vez implica el uso de recursos adicionales en algunos de ellos, así como la liberación de recursos en otros.

En este trabajo se presentan diversas posibilidades de tarificación en sistemas de transporte público a nivel urbano. Estas tarifas dependen tanto del objetivo que se persiga como de las condiciones que restringen el rango de las tarifas. En la sección siguiente se desarrollan varios casos elementales, mostrando que los requerimientos de información van desde el simple análisis de costos del sistema a tarificar, hasta la incorporación de todos los modos, tanto desde el punto de costos como de la sensibilidad directa y/o cruzada de la demanda. Como cada caso corresponde a ópticas distintas (privadas o sociales) en la tercera sección se presentan algunos ejemplos reales ilustrativos del nivel de tarifas que se alcanzarían en zonas urbanas. En la cuarta sección se presentan algunas extensiones.Las pricipales conclusiones se incluyen en la sección final.

2. Tarifas Optimas para Diversos Objetivos y Restricciones

2.1. Aspectos generales

Se analizarán los siguientes objetivos posibles:

i) maximización del beneficio privado;
ii) maximización del beneficio social;
iii) id. ii con cobertura de costos;
iv) maximización del servicio con cobertura de costos.

En el desarrollo analítico se adoptará una visión modal y se supondrá que la empresa (modo) de transporte k genera un vector de flujo $Y_k=\{Y_{ki}\}$, cada componente bien descrita por un modelo Logit de partición modal y representando los viajes en un par origen-destino *. La cantidad total de viajantes por período en cada par es N_i y la proporción usuaria de k es S_{ki}. El costo de producción está dado por $C_k(Y_k)$. El modo k compite con n-1 modos por los N_i pasajeros y la variable de decisión es el vector de precios $P_k = \{P_{ki}\}$. Dado el énfasis en la diferenciación espacial de las componentes de Y_k, se supondrá que $(\partial Y_{ki}/\partial P_{kj}) = 0, \forall i \neq j$.

Dado el uso frecuente que se hará de las propiedades analíticas del modelo de demanda elegido, conviene recordar que

$$S_{ki} = e^{V_{ki}} (\sum_j e^{V_{ji}})^{-1} \text{, donde} \quad (1)$$

$$V_{ki} = \alpha_{ki} + \sum_l \sigma_{li} \, q_{lki} + \beta_i \, P_{ki} \quad (\beta < 0) \quad (2)$$

con α_{ki}, σ_{li} y β_i constantes, q_{lki} características del modo k en el par i (usualmente tiempos de viaje o espera). Entonces se demuestra que (Jara Díaz y Martínez, 1984).

$$\frac{\partial S_{ki}}{\partial P_{ki}} = \beta_i \, S_{ki} \, (1 - S_{ki}) \quad \text{y} \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_{ki}}{\partial P_{hi}} = - \beta_i \, S_{ki} \, S_{hi} \quad (4)$$

2.2. Maximización del beneficio privado

Este caso corresponde a una óptica individual en mercados con características oligopólicas o monopólicas. Se trata de encontrar el vector de precios que resuelva

$$\underset{P_k}{\text{Max}} \ \pi = P_k \, Y_k' - C_k(Y_k) \quad (5)$$

Como $Y_{ki} = N_i \, S_{ki}$, las condiciones de primer orden (CPO) son

$$\frac{\partial \pi}{\partial P_{ki}} = N_i \, S_{ki} + N_i \, P_i \frac{\partial S_{ki}}{\partial P_{ki}} - \frac{\partial C_k}{\partial Y_{ki}} \frac{\partial S_{ki}}{\partial P_{ki}} N = 0 \ , \quad \forall \, i \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación 3 en la 6 y desarrollando se llega a

---

* Se obviará la dimensión temporal de Y_k. Un análisis de la naturaleza vectorial del producto en transporte puede encontrarse en Jara Díaz (1982).

$$P^1_{ki} = m_{ki} + \frac{1}{|\beta_i| \, (1 - S_{ki})} \qquad (7)$$

donde m_{ki} es el costo marginal de producir el i-ésimo flujo. Como S_{ki} es función de P_{ki}, la ecuación 7 debe resolverse iterando. Nótese que cada componente de Y_k genera un problema independiente. Además, la ecuación 6 equivale a hacer ingreso marginal igual a costo marginal; luego, su solución (caso escalar) está representada por el punto 1 en la figura 1. La importancia de β_k, que refleja sensibilidad de la demanda a la tarifa, es evidente en la ecuación 7; valores típicos llevan a P^1_{ki} a niveles mucho mayores que el respectivo costo marginal.

2.3. Maximización del beneficio social

Esta es por definición la óptica pública, lo que no significa necesariamente que sea la más operacional. Se considera aquí la operación de todo el sistema de transporte urbano. Siguiendo el enfoque de Turvey (1971), se trata de maximizar la diferencia entre el excedente (generalizado) de los consumidores y el costo social. Dada la interrelación entre las demandas por diferentes modos en cada mercado i, la variación de P_{ki} afecta todas las demandas en ese mercado y, en general, todos los costos. Dada la independencia entre mercados, se demuestra que (Jara Díaz y Martínez, 1984)

$$P^2_{ki} = m_{ki} + \sum_{l \neq k} (P_{li} - m_{li}) \frac{S_{li}}{1-S_{ki}} \qquad (8)$$

Puede también demostrarse que el término de la mano derecha no depende de P_i. La ecuación 8 muestra que, en general, la tarifa óptima social en cada mercado difiere del costo marginal en un monto dado por una suma ponderada de las diferencias precio-costo marginal en el resto de los modos; se notará que cada ponderador es menor que 1 y que la suma de ellos es 1. Nótese también que la consideración del automóvil como alternativa tiende a hacer P_{ki} menor que m_{ki} en corredores congestionados. El caso de tarificación a costo marginal como óptimo social resulta sólo si todos los modos están así tarificados. Como ilustración, se muestra este particular caso en el punto 2 de la figura 1.

2.4. Maximización del beneficio social sujeto a cubrir costos

Esta óptica nace de la posibilidad de que el vector de tarifas óptimas sociales no cubra costos. Formalmente el problema tiene la misma función objetivo que en el caso anterior, pero se debe introducir restricciones. En forma standard se formula como

$$\min_{P_k} \quad \text{(Costo Social - Beneficio a los consumidores)}$$

sujeto a

$$C_k (Y_k) - \sum_{j=1}^{m} P_{kj} Y_{kj} \leq 0 \qquad (9)$$

$$P_{ki} \geq 0$$

Las CPO son resumidas por ($\lambda \geq 0$)

$$\nabla_{P_k} \left(\sum_{1} C_1 - BC \right) + \lambda \, \nabla_{P_k} \left[C_k(Y_k) - \sum_{j=1}^{m} P_{kj} \, Y_{kj} \right] = \bar{0} \, , \quad o \tag{10}$$

$$\sum_{1} \frac{\partial C_1}{\partial Y_{1i}} \frac{\partial Y_{1i}}{\partial P_{ki}} - \sum_{1} P_{1i} \frac{\partial Y_{1i}}{\partial P_{ki}} + \lambda \left(\frac{\partial C_k}{\partial Y_{ki}} \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} - Y_{ki} - P_{ki} \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} \right) = 0 \tag{11}$$

Reemplazando las expresiones 3 y 4 y desarrollando, se obtiene

$$P^3_{ki} = m_{ki} + \frac{1}{(1+\lambda)\,(1-S_{ki})} \left[\frac{\lambda}{|\beta_i|} + \sum_{1 \neq k} (P_{1i} - m_{1i}) \, S_{1i} \right] , \ \forall i \, + \tag{12}$$

Este caso sólo tiene relevancia cuando la restricción de costos es activa, pues de otra forma la solución está dada por la ecuación 8 (que es equivalente a la ecuación 12 para $\lambda = 0$)*. De ser activa, es esta restricción la que aporta una ecuación adicional al sistema de m ecuaciones como la 12 en P_{ki} y λ. Se notará que, en general, aquellos mercados con mayor sensibilidad al precio (mayor $|\beta_i|$) tienden a desviarse menos de su costo marginal. Por otra parte, el caso escalar conduce a la solución trivial de tarificación a costo medio, representada por el punto 3 en la figura 1.

2.5. Maximización del servicio con cobertura de costos

Es este un caso relevante si se desea aprovechar adecuadamente la infraestructura existente y corresponde, sin duda, a una óptica social eventualmente equivalente al caso anterior. Como el objetivo es maximizar el número de pasajeros servidos, la solución del problema no restringido (sujeto sólo a precios no-negativos) es, trivialmente, $P_i = 0$ ya que $\partial S_i/\partial P_i < 0$. Luego, la restricción de cubrir costos es siempre activa, condición que es perfectamente compatible con eventuales tarifas nulas en algunos mercados. El caso escalar siempre tiene por solución tarificar a costo medio.

Formalmente, el caso general (multiproducción) corresponde a

$$\begin{aligned} &\max_{P_k} \sum_{j=1}^{m} Y_{kj}(P_{kj}) \\ &\text{sujeto a} \\ &\qquad P_k \, Y'_k \geq C_k(Y_k) \\ &\qquad P_{kj} \geq 0 \qquad \forall j=1,\ldots m \end{aligned} \tag{13}$$

+ Si $p_1 = m_1$, se obtiene la conocida regla del inverso de la elasticidad desarrollada por Baumol y Bradford (1970). Ver apéndice.

* Las CPO con holgura complementaria varían marginalmente al introducir no-negatividad de P_{ki} ; no desarrollaremos aquí esa posibilidad.

o, en forma standard e incorporando $P_{ki} \geqslant 0$ a las CPO,

$$\begin{aligned} &\underset{P_k}{\text{Min}} - \sum_{j=1}^{m} Y_{kj}\,(P_{kj}) \\ &\text{sujeto a} \\ &C_k(Y_k) - \sum_{j=1}^{m} P_{kj}\, Y_{kj} \leqslant 0 \end{aligned} \tag{14}$$

Las CPO generalizadas son

$$- \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} + \mu \left(m_{ki} \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} - Y_{ki} - P_{ki} \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} \right) \geqslant 0 \ , \ \mu > 0 \ , \ \text{y} \tag{15}$$

$$P_{ki} \left[- \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} + \mu \left(m_{ki} \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} - Y_{ki} - P_{ki} \frac{\partial Y_{ki}}{\partial P_{ki}} \right) \right] = 0 \ , \ \forall\ i \tag{16}$$

Desarrollando se llega a

$$P^4_{ki} = m_{ki} - \frac{1}{\mu} + \frac{1}{|\beta_i|\,(1-S_{ki})} \ , \ \text{o} \tag{17}$$

$$P^4_{ki} = 0 > m_{ki} - \frac{1}{\mu} + \frac{1}{|\beta_i|\,(1-S_{ki})} \ , \ \forall\ i \tag{18}$$

$$C_k\,(Y_k) - \sum_{j=1}^{m} P_{kj}\, N_j\, S_{kj} = 0 \tag{19}$$

Como $\mu > 0$ las tarifas óptimas resultan menores que las asociadas al máximo beneficio privado en cada mercado i, como se espera. La estructura tarifaria resultante tiende a discriminar a favor de los usuarios más sensible al precio y de aquellos que provocan un menor costo marginal.

3. Discusión y Ejemplo

De las fórmulas asociadas a cada caso estudiado, puede observarse que sólo la maximización del beneficio social admite como solución particular un caso en que la sensibilidad de la demanda al precio no juega rol alguno, cual es el de tarificación a costo marginal ("primer óptimo" en la literatura). La sensibilidad al precio está dada por el parámetro β, que se usa en formas diversas según el objetivo y las restricciones. Así, en el caso de máximo beneficio privado, una mayor insensibilidad al precio (menor $|\beta|$) permitirá subir la tarifa a niveles mucho mayores sobre el costo marginal ya que la demanda bajará menos que proporcionalmente. Por otra parte, el máximo beneficio social sólo apunta a reorientar la partición modal hacia un uso eficiente de recursos; si bien $|\beta|$ transmite originalmente el efecto del precio, su rol es más bien pasivo. Por último, la introducción de restricciones de costo motivan casos de subsidios cruzados en el caso (más general) de multiproducción. Así, se espera que en estos últimos casos las tarifas resulten mayores en los mercados más insensibles al precio (probablemente zonas de mayores ingresos).

No parece razonable discutir sobre una base exclusivamente analítica los objetivos, restricciones y métodos de tarificación delineados en la sección anterior. Es por ello que se incluye aquí algunos ejemplos que involucran aproximaciones gruesas si bien los resultados son cualitativamente útiles.

En el primer ejemplo se muestra un caso en el que se ha elegido el Metro como modo a tarificar. Se distinguen dos mercados muy particulares que representan de algúna forma casos extremos de sensibilidad de la demanda al precio (sector "rico" y sector "pobre"). Se usará en forma simplificada uno de los modelos de partición modal, estimados por Aldea (1982) para los viajes en hora punta de la mañana hacia el centro de Santiago. Los parámetros del modelo y los valores asignados a las variables en ambos mercados (año 1980) se incluyen en la Tabla 1, Desde el punto de vista de costos, se supondrá que la operación del período considerado genera gastos de la forma

$$C = 360000 + 5Y_1 + 5Y_2 \tag{20}$$

en pesos de 1980. Es decir, se supone un costo marginal de 5 pesos por pasajero para todo tipo de viajeros. Adicionalmente se supondrá $N_1 = 200000$ y $N_2 = 100000$. Con estos datos se calcularon las tarifas asociadas a diversos objetivos tanto con ópticas de producción escalar (flujo total) como de multiproducción. Cabe hacer notar que el ejercicio así generado, si bien tiene raíces reales, equivale a concentrar un cierto tipo de viajes en ciertas estaciones del Metro. Además, la atracción del Metro es particularmente destacada por tratarse de viajes al centro, lo que se refleja en las variables de nivel de servicio. Los resultados se muestran en la Tabla 2,

La regla del inverso de la elasticidad genera tarifas muy cercanas a los costos marginales y pareciera combinar varios aspectos atractivos que serán discutidos más adelante.

Variable	Parámetro	Bus	Auto	Taxi	Metro
Tiempo en el vehículo (TD)	-0,0388174	32,5	22	20	10
(min)		35	25	26	
Tiempo fuera del vehículo (TF)	-0,0321546	7	8	7,5	7
(min)		8		10	9
Precio (P) (Pesos por pasajero)	-0,0152562	6,5	54	90	6
(1980)	-0,0610248		40	60	
Constante modal		-2,47053	-1,8574	-3,017	-1,51564

TABLA 1: Modelo de demanda y valores de las variables en los mercados "rico" (superior) y "pobre" (inferior)

Objetivo	Restricción	Análisis de producción	Ecuación(es)	Tarifas ($/Pax)		Proporción %		Uso (pax)
				P_1	P_2	S_1	S_2	
Primer óptimo	no	cualquiera	8	5,0	5,0	71,3	84,0	226600
Máx. bienestar	costos	multi	12	7,0	5,9	70,7	83,3	224670
Máx. servicio	costos	mono	19	6,6	6,6	70,8	82,7	224300
Máx. servicio	cost var.	multi	17,18,19	8,1	0,0	70,4	88,2	228930
Máx. servicio	costos	multi	17,18,19	10,8	0,0	69,5	88,2	227190
Máx. ganancia	no	multi	7	105,0	35,0	34,9	45,5	115330

TABLA 2: Tarifas para diversos objetivos y restricciones

De los resultados obtenidos, ~~llama poderosamente~~ la atención el to nivel que alcanzan las tarifas que maximizan la ganancia. La expli ción tiene dos aspectos: el período del día representado por el model demanda, y el grado de atracción del Metro. Ya se ha dicho que la de da agregada por viajes en el área urbana es sumamente inelástica. Est particularmente evidente en la hora punta de la mañana cuando la mayo te de los viajes son a los lugares de trabajo o estudio; el carácter los viajes hace que el tiempo que toma hacerlo adquiera particular re vancia, lo que se refleja en una alta valoración relativa de un minut ahorrado. Si además se considera que las variables de nivel de servic tradicionales (tiempos de viaje y espera) son substancialmente menore el caso del Metro, se comprenderá que la diferencia de 10 o 20 minuto con los modos alternativos admita una diferencia apreciable de precio se desease operar con criterio privado. Debe tomarse en cuenta, si, q los valores teóricos resultantes de aplicar tal criterio resultan poc confiables al caer muy fuera del rango de las tarifas de los modos ha tuales.

Interesante, por otra parte, resulta observar el resultado de lo ejercicios asociados a la maximización del servicio con cobertura de tos de operación. La forma en que los datos fueron construídos (de "realidad simplificada"), genera una estructura tarifaria óptima con precio mayor que los costos medios para el sector que presenta a la más usuarios y menor sensibilidad al precio; esto posibilita el pago berado en el otro sector, resultando en una cobertura mayor que la as ciada a una tarifa única. La resolución del sistema de ecuaciones 17, y 19 es bastante más complejo que encontrar las tarifas pseudo monopó cas de la ecuación 7. Se diseñó para ello un procedimiento que resuel la ecuación 17 para varios valores de μ, para cada componente del vector de flujo; se encuentra luego aquel μ que genera un vector de tarifas que satisface la ecuación 19 respetando la 18.

El segundo ejemplo está tomado de Jara Díaz y Martínez (1985) y s refiere al cálculo de tarifas óptimas para la locomoción colectiva de superficie (LCS) en el corredor Las Condes-Centro en hora punta de la mañana. El problema es analizado en la perspectiva de maximizar el bie nestar social, en presencia de discrepancias entre precios y costos ma ginales en los modos alternativos, incluyendo congestión. Aunque la ecuación básica usada tiene la forma de la expresión 8, la incorporación del modo combinado. bus-metro como posibilidad obliga a iterar pa ra encontrar la tarifa óptima. Este procedimiento fue usado para cada una de 8 zonas en ese corredor. La demanda por viajes al centro fue mo delada usando los datos de Ortúzar et.al.(1983); en este caso la varia ble precio fue dividida por el salario. El modelo de demanda se resume en la Tabla 3 (donde es evidente el atractivo del modo Metro en ese corredor). Tanto el costo marginal de la LCS como la diferencia entre precio y costo marginal de los modos alternativos, varía según la zona considerada. Valores medios para los modos puros se incluyen en la Tabla 4, La tarifa de la LCS a Diciembre de 1983 era de \$ 20 por pasajero.

Como ya se vio, la tarifa óptima en este caso tiene contribucion de los modos restantes que resultan ser proporcionales a su demanda relativa y a la diferencia $p_j - m_j$. En este sentido, sólo el automóvil contribuye a hacer la tarifa del bus menor que su costo marginal, debido a la congestión. De los restantes modos, el metro y sus combinaciones pesan lo suficiente como para llevar todas las tarifas sobre el costo marginal de los viajes desde cada zona al centro. Los resultados por zona se muestran en la figura 2, en tanto que las diferentes componentes del costo marginal de la LCS se incluyen en la Tabla 5. Los valores de este cuadro sirven para mostrar que la tarifa única cobrada a esa fecha estaba muy por encima tanto del costo marginal social como del privado, del cual el costo social de operación es un buen índice. Se notará que éste varía entre \$ 5 y \$ 10, en tanto que las tarifas óptimas resultan en un rango intermedio entre los costos marginales y la tarifa de \$ 20. Esta comparación mostraría que, al menos en ese corredor, la LCS aprovecha cierta inelasticidad de la demanda intentando alcanzar niveles tarifarios dados por la ecuación 7.

Variable	Modo	Coeficiente
Locomoc. colectiva de superficie	LCS	0,351
Automóvil	A	0,130
Taxi colectivo	TC	-0,794
Metro	M	2,092
Auto-Metro	AM	-0,270
Taxi colectivo-Metro	TCM	-0,498
LCS-Metro	LCSM	0,000
Tiempo de viaje	todos	-0,063
precio/salario	todos	-0,025
N° autos	A-AM	0,271
Ingreso 1	LCS-LCSM	0,519
Ingreso 2	A-AM	0,105

TABLA 3: Modelo de demanda para la tarificación de la LCS

Modo	Componentes Precio	Componentes Costo Marg.[1]	$P_i - m_i$ (\$/pax.Dic. 83)
Auto	$TM_e + CO$	$TM_a + CO + CI$	-5,87
Taxi Colec.	$P + TM_e$	$TM_a + CO + CI$	3,23
Metro	$P + TM_e$	$TM_e + CO + CI$	3,59
LCS	$P + TM_e$	$TM_a + CO + CI$	11,37

1 TM_e : tiempo medio, TM_a : tiempo marginal, CO : costo operación, CI : costo infraestructura.

TABLA 4: Diferencias promedio entre precios y costos marginales para modos puros

Zona	Costo marginal ($/pax, Dic. 83) Operación	Vías	Congestión	Distancia media al centro (km.)
1	4,70	0,31	0,49	3,1
2	6,61	0,30	0,55	3,0
3	7,63	0,66	0,65	6,6
4	6,71	0,55	0,58	5,5
5	6,79	0,56	0,66	5,6
6	9,64	0.90	0,78	9,0
7	9,64	0,90	0,68	9,0
8	9,73	0,91	0,88	9,1

TABLA 5: Componentes del costo marginal de la LCS por zona

4. Comentarios y Extensiones

4.1. Requerimientos de información

Se ha visto que la tarificación óptima de servicios de transporte urbano de pasajeros requiere de diversos niveles de información, dependiendo del objetivo perseguido y las restricciones consideradas. Así, las tarifas de primer óptimo requieren sólo de buenas estimaciones de los costos marginales asociados a los distintos servicios generados. En cualquier caso normal una empresa de transporte urbano genera gran cantidad de viajes diferenciados tanto espacial (distintos orígenes y/o destinos) como temporalmente (distintos períodos del día o de la semana). El cálculo o la estimación de una función de costos que considere tal cantidad de productos distintos es un problema de frontera en economía de transporte; en otras palabras, la búsqueda de la información mínima necesaria para el cálculo de tarifas (primer óptimo) en forma estricta, ya constituye un problema en sí mismo. Vale la pena mencionar que el problema central radica en la interdependencia de costos marginales y en la dificultad de asignar costos comunes.

El caso más simple que incorpora información sobre demanda, además de costos, es el de maximizar beneficios privados. Se demostró aquí que la tarifa asociada a cada tipo de servicio de transporte es calculable en forma independiente, siempre que las demandas por distintos servicios no estén interrelacionadas y que los costos marginales asociados a un flujo y_i no dependan del nivel del resto de los flujos; esto es frecuente en muchos tipos de viajes urbanos diferenciados espacialmente. Conociendo la función de demanda en cada mercado, el operador puede controlar el uso del modo a través de la sensibilidad al precio. En términos de la información requerida, el caso de maximización del servicio es semejante al anterior, pero no su resolución. En efecto, la restricción de cubrir costos destruye la aparente independencia con que puede encontrarse la tarifa en cada mercado.

No cabe duda de que la maximización del beneficio social es el objetivo que demanda más información, pues el cálculo de tarifas requiere, potencialmente, conocer precios, costos marginales y funciones de demanda para <u>todos</u> los modos en cada uno de los mercados considerados. Si estos mercados son separados, podría pensarse en problemas independientes. Lamentablemente, la interdependencia de costos marginales entre distintos pares origen-destino para diversos modos, constituye un problema serio; piénsese, por ejemplo, en congestión o en la variación de frecuencia de un recorrido de buses debido a cambios en el flujo en parte de su recorrido. El caso se complica aún más al imponer restricción de costos.

4.2. Algunas aproximaciones posibles

Siempre será factible hacer estudios tradicionales de costo, donde usualmente se estima un único costo marginal por pasajero-kilómetro. Como la ambigüedad de tal procedimiento ha sido mostrada (Jara Díaz, 1982; Jara Díaz y Winston, 1981), la única alternativa a la estimación de funciones de costo multiproducto parece ser el cálculo directo del costo marginal suponiendo no dependencia de otros flujos; esto equivale a aproximarlo al costo medio incremental, dado por

$$CM_eI_i = \frac{1}{y_i}\left[C(y_1,y_2\ldots y_n) - C(y_1,\ldots,y_{i-1},0,\ldots y_n)\right] \qquad (21)$$

donde C(y) es la función de costos. En el caso lineal,

$$C(y) = A + \sum_{j=1}^{n} m_j y_j \qquad (22)$$

en que m_j es obviamente el costo marginal j. Entonces CM_eI_i es exactamente igual a m_i , i.e.

$$CM_eI_i = \frac{1}{y_i}\left[A + \sum_{j=1}^{n} m_j y_j - A - \sum_{j\neq i} m_j y_j\right] = \frac{1}{y_i} m_i\, y_i = m_i \qquad (23)$$

La aproximación . CM_eI_i tiene problemas de consistencia que no serán aquí discutidos.

Se han desarrollado muchas técnicas para estimar una función de demanda. La más popular es la de modelos desagregados de demanda, que requiere efectuar encuestas a individuos. Sin pronunciarse acerca de las bondades y limitaciones de estos modelos , usados en los desarrollos teóricos de la sección 2, la alternativa es usar modelos agregados basados en información gruesa normalmente disponible.

4.3. Nivel tarifario

De los ejemplos expuestos y de la metodología de cálculo deducida para determinar las distintas tarifas, se puede observar que

i) las tarifas que maximizan el ingreso neto privado son, naturalmente, las más altas, pudiendo alcanzar niveles muy superiores al costo marginal;

ii) las tarifas asociadas a la cobertura de costos con máximo servicio tienden a beneficiar a los sectores que generan menos viajes y a aquellos más sensibles al precio; si ambas condiciones se dan simultáneamente, el beneficio a cada individuo es substancial en ese sector, y el perjuicio individual en el resto es menor;

iii) el nivel de las tarifas de un modo bajo la óptica de máximo beneficio social depende de muchas variables, lo que hace difícil generalizar una regla; la mayor influencia es recibida desde aquellos modos más usados y cuyas tarifas difieren en mayor valor absoluto de sus costos marginales.

El rol de la sensibilidad al precio ya ha sido mencionado y es evidente que un mayor valor de $|\beta|$ provoca tarifas menores en los mercados correspondientes. ¿Cuál es el rol de la sensibilidad al nivel de servicio? Para responder este relevante pregunta, se usará la ecuación 7 para evaluar el efecto del tiempo de viaje sobre la tarifa pseudo-monopólica. Obviando el subíndice de mercado, se define

$$g(p_k,\, t_k) = p_k - m_k - \frac{1}{|\beta|\,|1-S(p_k,\, t_k)|} \qquad (24)$$

donde t_k es el tiempo de viaje, cuya influencia sobre p_k puede evaluarse a partir de la función implícita $g(p_k, t_k)$. Se demuestra sin mayor dificultad que

$$\frac{d\, p_k}{d\, t_k} = - \frac{\frac{\partial g}{\partial t_k}}{\frac{\partial g}{\partial p_k}} = - \frac{\sigma}{\beta}\, s_k < 0 \tag{25}$$

en que $\sigma < 0$ es la sensibilidad al tiempo de viaje en el modelo de demanda. Luego, a menor tiempo de viaje (mejor nivel de servicio), mayor es la tarifa pseudo-monopólica como era de esperar. Más aún, este efecto crece con el valor subjetivo del tiempo, σ/β. Una conclusión semejante se alcanza en el caso de máximo servicio (ecuación 17) en tanto que la tarifa óptima social del modo k no depende de su propio nivel de servicio sólo si la restricción de costos es activa (ecuación 12). En otras palabras, aquellos mercados en que los individuos perciben su tiempo como más valioso, permiten tarifas mayores en todos aquellos casos en que la discriminación es posible.

4.4. Validez del análisis ceteris paribus

El enfoque aquí presentado formaliza una cierta racionalidad en las decisiones modales acerca de las tarifas a cobrar por los servicios prestados. Sin embargo, no se ha incorporado un aspecto que es importante, cual es de las eventuales reacciones del resto de los operadores. Esto está implícito en el tratamiento teórico, al suponer que las tarifas y el nivel de servicio de otros modos permanecen constantes como reacción a las nuevas tarifas del modo estudiado. Es relevante analizar qué factores contribuyen a que tal supuesto sea efectivamente razonable. Se distinguen al menos 3 casos.

i) Imposibilidad de reacción del resto de los operadores. Tal caso podría darse por existir tarifas fijas exógenamente o por la atomización a nivel operativo al interior de modos alternativos.

ii) Infactibilidad de la eventual reacción. Esto sucede en casos en que la única posible modificación de tarifas lleve al resto de los operadores a puntos financieramente negativos; o que estos hayan estado operando al mejor nivel de servicio posible.

iii) Inefectividad de una posible reacción. Es posible imaginar tal caso si la modificación tarifaria produjere cambios irreversibles en la partición modal, de tal forma que cualquier reacción factible del resto, cambiando precios o nivel de servicio, no pueda alterarla nuevamente.

5. Criterios para la Elección de un Modelo

No cabe duda que la discusión acerca de objetivos posibles, tal como aquí se han presentado, está bastante restringida a la toma de decisiones en la perspectiva de servicios públicos, ya sea una empresa pública de transporte o una entidad planificadora de servicios de transporte. La razón radica en asumir que los operadores privados intentarán sólo el objetivo de maximizar beneficios. Desde este punto de vista, la discusión en los puntos anteriores sugiere que modos con bajos costos marginales y/o alto nivel de servicio pueden usar la tarificación como una efectiva herramienta de política en el área. Debe recordarse que la forma de operación (que afecta el nivel de servicio) no ha sido incluída como variable en este análisis*.

Siempre se ha considerado que una empresa pública debe maximizar el beneficio social (Turvey, 1971). En esta perspectiva la opción no es única, pues existen al menos cuatro variantes:

i) Tarificación a costo marginal (primer óptimo) en el supuesto que todos los demás modos están tarificados de igual manera. Contra este procedimiento conspiran la existencia de congestión en los modos de superficie, y el eventual manejo sobre la demanda de operadores privados asociados entre sí. No asegura cobertura de costo.

ii) Tarificación según la regla del inverso de la elasticidad, RIE, en que también se supone tarificación a costo marginal en los restantes modos, pero asegura la cobertura de costos. Tiene los mismos inconvenientes del caso i.

iii) Tarificación de segundo óptimo que, como se ha visto, requiere de un cúmulo de información magnífico , que va desde los costos y tarifas de todos los modos hasta las demandas por todos ellos en todos los mercados. No asegura cobertura de costos, que puede eventualmente imponerse.

iv) Tarificación que maximiza el servicio. Esta alternativa puede ser muy relevante en ciertos casos. La solución es trivial ($p_i = 0$) si no se imponen restricciones. Si se cubre costos, requiere información sobre ellos y demanda en todos los mercados.

Si la búsqueda irrestricta de un cierto objetivo conduce a una estructura tarifaria que no cubre costos, existen dos alternativas para permitir la operación de la empresa o modo: modificar esa estructura o subsidiar. Se ha mostrado aquí que la tarificación óptima desde un punto de vista global (social), que asigna eficientemente los recursos, es perfectamente compatible con un resultado financiero adverso. Conocido es el caso de retornos crecientes a escala. Sin embargo, el equilibrio financiero podría ser considerado un fin en sí mismo por razones operativos o de imagen. Cómo es muy probable que cualquier tipo de tarificación óptima social lleve a operar a pérdida, se debe optar por alguna estructura que incorpore esa restricción. De éstas, hay dos que parecen particularmente atractivas y operativas a la vez, pero su elección depende de algunos aspectos particulares: la RIE y la maximización del servicio.

---

* Esto significa que los recursos aportados por los viajeros (tiempo) son constantes.

La RIE es razonable en aquellos casos en que los modos alternativos presentan tarifas(en un sentido generalizado) muy cercanas al costo marginal respectivo. Este no es el caso en corredores muy congestionados ya que, por definición, los costos marginales sociales del automóvil son mayores que la "tarifa" (tiempo medio de viaje); si el modo a tarificar es el Metro, la congestión provocada por los buses también conspira contra la RIE. El que las tarifas resultantes sean mayores que el costo marginal asociado a cada mercado, hace intuitivamente "más justo" este criterio que el de máxima cobertura.

El criterio de máxima cobertura parecería apropiado sólo en casos de gran capacidad existente, en modos que no provocan congestión, e.g. el Metro. De seguirse este criterio, las nuevas tarifas deberían en realidad <u>disminuir</u> la congestión contribuyendo a acercar los costos marginales a las tarifas percibidas en los modos de superficie. Este criterio admite casos fuertes de subsidio cruzado, i.e. el que algunos usuarios "paguen por otros" ; tal efecto podría disminuirse imponiendo no sólo precios no-negativos, sino mayores que los correspondientes costos marginales.

Referencias

BAUMOL, W.J. y BRADFORD, D. (1970) Optimal departures from marginal cost pricing. <u>American Economic Review, Vol. 60</u>, 265-283.

ALDEA, A. (1982) <u>Estudio Sobre el Efecto del Tiempo de Viaje en el Transporte de Pasajeros y Carga</u>. Memoria de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago.

JARA DIAZ, S.R. (1982) Transportation product, transportation function and cost functions. <u>Transportation Science, Vol. 16</u>, N° 4, 522-539.

JARA DIAZ, S.R. y MARTINEZ, F. (1984) Una metodología para la tarificación óptima de la locomoción colectiva de superficie: el caso de Santiago. <u>Ingeniería de Sistemas, Vol. 4</u>, N° 1, 34-44.

JARA DIAZ, S.R. y MARTINEZ, F. (1985) Congestión pricing of public transport. <u>Proceedings Transport Policy Seminar, 13th. PTRC Summer Annual Meeting</u>, 137-148.

JARA DIAZ, S.R. y WINSTON, C. (1981) Multiproduct transportation cost functions: scale and scope in railroad operations. <u>Proceedings 8th. EARIE Conference</u>, U. of Basle, 437-469.

ORTUZAR, J. DE D., DONOSO, P. y HUTT, G. (1983) Codificación, validación y evaluación de información para estimación de modelos desagregados de elección discreta. <u>Colloquia 83</u>, Universidad de Chile, 7-11 de Noviembre de 1983, Santiago.

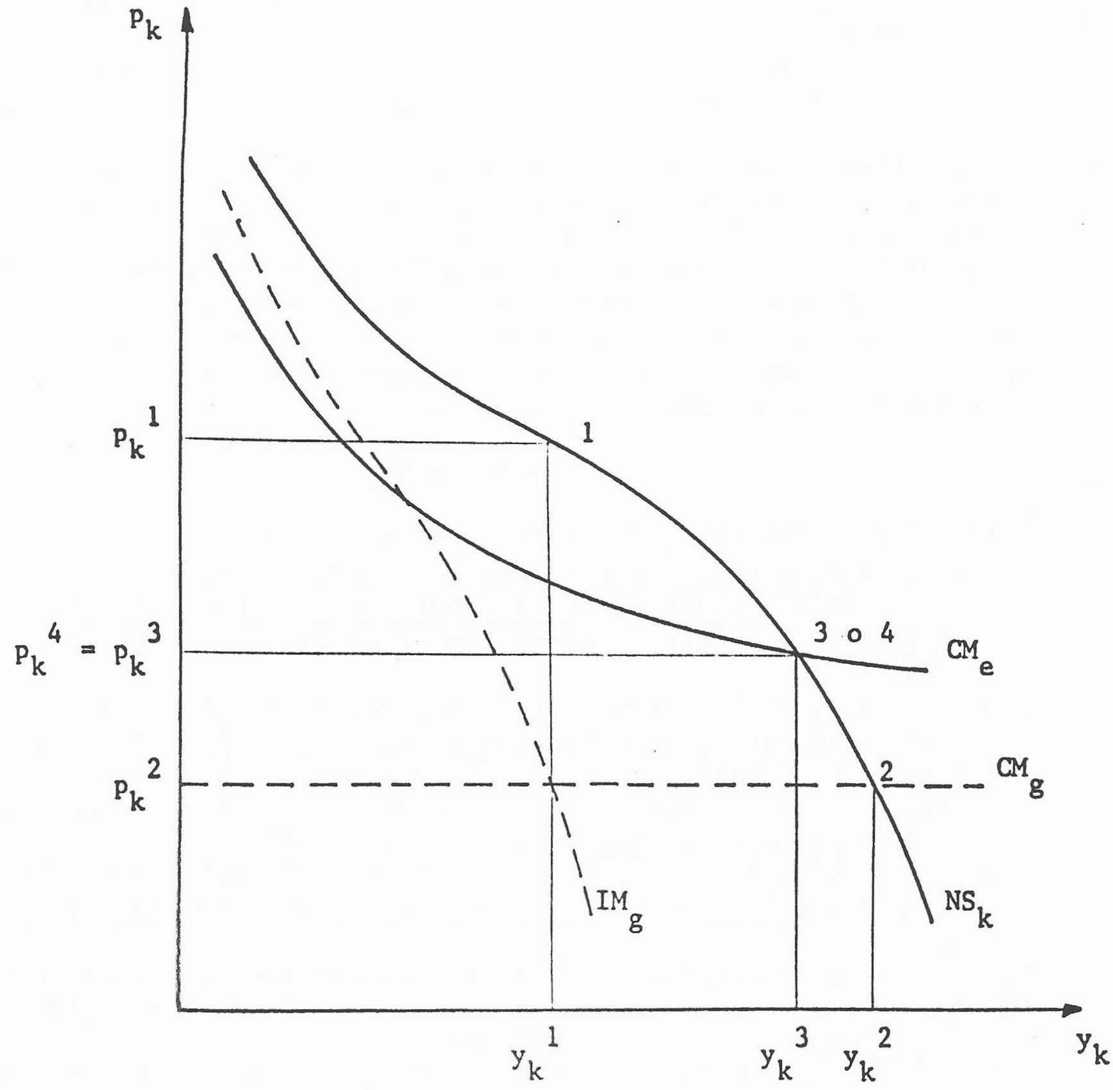

FIGURA 1: Alternativas de tarificación en el caso escalar.

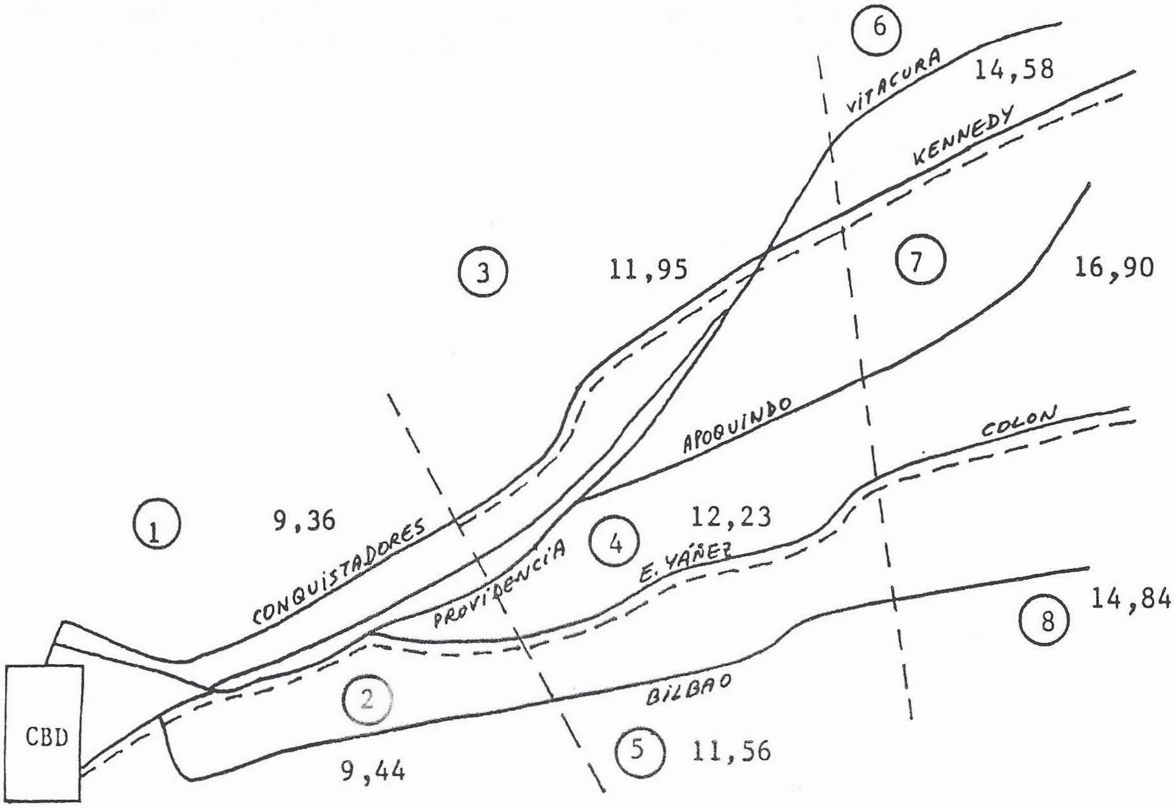

FIGURA 2: Tarifas ōptimas para LCS

Apéndice

Es sabido que la existencia de economías de escala está asociada a pérdidas financieras bajo la tarificación a costo marginal. Frente a esta posibilidad se desarrolló la hoy conocida regla del inverso de la elasticidad (Baumol y Bradford, 1971), según la cual las tarifas óptimas deben desviarse de sus correspondientes costos marginales en relación inversa a la elasticidad de la demanda. Esta regla no es sino un caso particular de la obtenida en la ecuación 12, como allí se señalara. En efecto, suponiendo que el resto de los modos están tarificados a costo marginal y usando la ecuación 3, se demuestra fácilmente que la ecuación 8 puede escribirse como

$$\frac{p_{ki} - m_{ki}}{p_{ki}} = \frac{\lambda/(1+\lambda)}{E_{ki}}$$

en que E_{ki} es el valor absoluto de la elasticidad precio de la demanda por el modo k en el par origen-destino i. El multiplicador λ está relacionado con la restricción de cubrir costos. Se notará que el precio según esta regla resulta siempre entre el costo marginal (λ=0) y el precio pseudo-monopólico ($\lambda \to \infty$).