

TARIFAS OPTIMAS DE METRO  
Y  
SENSIBILIDAD DE LOS USUARIOS AL TIEMPO

Alejandro M. Tudela R.

Departamento de Planificación  
Metro S.A.  
Alameda 1414, Santiago

RESUMEN

La diferencia observada en la premura de las personas por llegar a su destino en diferentes horas y diferentes días permite suponer una valoración horaria variable en el tiempo.

En este trabajo se analiza el efecto que tendría en las tarifas óptimas del Metro de Santiago el supuesto de una menor sensibilidad de los usuarios al tiempo en periodos fuera de punta respecto a periodos punta. Los experimentos se realizaron utilizando el software TOM (Tarificación Óptima de Metro), con información de entrada actualizada a Diciembre de 1990, sensibilizando los coeficientes de tiempo en los modelos de demanda para periodos fuera de punta. Los criterios de tarificación analizados son el de Máximo Bienestar Social y el de Máximo Beneficio Privado, para los cuales se incluyen desarrollos analíticos para explicar el comportamiento de las tarifas ante cambios en la sensibilidad al tiempo. Los resultados permiten ilustrar las ventajas y limitaciones de una eventual diferenciación tarifaria temporal.

## 1. INTRODUCCION

La práctica muestra que las percepciones que tienen las personas respecto de diferentes atributos cuando realizan un proceso de elección, presentan variaciones temporales y espaciales. Si pensamos en el tiempo total de viaje por llegar a un destino, y en particular en su valor, la percepción de éste varía con el tipo de usuario, con el propósito y el momento en que se realiza el viaje, con el medio donde éste se desarrolla, tanto a nivel de origen, destino o trayectoria. Contar con los modelos de demanda adecuados para cada categoría de usuario, con diferentes propósitos, y con variación temporal, resulta básico para determinar apropiadamente los niveles de demanda en las diferentes alternativas a analizar.

En este trabajo se estudia el efecto que tendría sobre las tarifas óptimas de metro, determinadas a partir de la metodología desarrollada por Jara-Díaz, el supuesto de una menor sensibilidad de los usuarios al tiempo en periodos fuera de punta respecto a periodos punta. Para esto se diseña un experimento que consiste en modificar los coeficientes asociados a tiempos en los modelos de demanda, los que han sido calibrados originalmente para el periodo punta de la mañana, calculando con los modelos así definidos las tarifas óptimas para ciertos criterios. En el siguiente capítulo se reportan las expresiones para determinar las tarifas óptimas asociadas a los objetivos de máximo bienestar social y máximo beneficio privado, para los cuales se construyeron e hicieron los experimentos y análisis reportados en este artículo. En el capítulo 3 se explica analíticamente el tratamiento que se dió a los modelos de demanda para simular el menor valor del tiempo en periodos fuera de punta. Un análisis teórico acerca de los resultados que tendrá el supuesto de cambios en el valor del tiempo sobre las tarifas óptimas, se entrega en el capítulo 4. En el capítulo 5 se reportan los experimentos y sus resultados, entregando además un análisis de éstos. En el último capítulo se sintetizan las principales conclusiones.

## 2. TARIFAS OPTIMAS

Una metodología para determinar tarifas óptimas de metro, además de los algoritmos para su implementación computacional, fue desarrollada por Jara-Díaz (1985,1986). En ésta la red de metro se modela como un conjunto de pares Origen-Destino de viajes, tanto espaciales como temporales, encontrando para cada uno de ellos la tarifa que satisface cierto objetivo, además de alguna restricción. Los criterios estudiados son

Máximo Beneficio Privado,  
Máximo Bienestar Social (Regla del Inverso de la Elasticidad) y  
Máximización de la Afluencia.

donde para el segundo y tercer objetivo los desarrollos consideran un problema de optimización con una restricción de cobertura de costos.

Para efecto de este trabajo los análisis y resultados se referirán sólo a los criterios de máximo Beneficio Privado y máximo Bienestar Social, ya que los experimentos de prueba realizados para el objetivo de máxima Afluencia mostraron la imposibilidad de obtener resultados satisfactorios, situación que está siendo analizada y estudiada en la actualidad para su presentación en futuros trabajos.

Se definen las siguientes variables y parámetros a utilizar en los desarrollos posteriores

$P_j^m$  como la tarifa del metro en el par  $j$ ,  
 $S_j$  como la proporción de usuarios en el par  $j$  que elige al metro como alternativa para realizar su viaje. Esta proporción es función de la tarifa  $P_j^m$  y se determina utilizando un modelo de elección discreta tipo Logit con especificación lineal de la función de utilidad,  
 $|\beta_1|$  es la utilidad marginal del ingreso en la zona de origen del par  $j$ ,  
 $N_j$  es el número total de viajes que realizan en el par  $j$ ,  
 $m_j^m$  es el costo marginal por pasajero del metro en el par  $j$  y  
 $F$  es el costo fijo del metro.

Si el objetivo de la empresa es maximizar el beneficio privado entonces la tarifa que permite cumplir con este objetivo en el par  $i$ -ésimo es

$$P_i^m = m_i^m + \frac{1}{|\beta_1| \cdot (1-S_i^m)} \quad i = 1 \dots n \quad (1)$$

Esta tarifa óptima resulta totalmente independiente de las tarifas en el resto de los otros pares, determinándose de la ecuación 1 a través de algún método numérico.

Por otra parte, si el objetivo de la empresa es maximizar el bienestar social entonces la tarifa en el par  $i$ -ésimo que permite satisfacer este objetivo es

$$P_i^m = m_i^m + \frac{\lambda}{(1+\lambda)} \cdot \frac{1}{|\beta_1| \cdot (1-S_i^m)} \quad i = 1 \dots n \quad (2)$$

donde  $\lambda$  es el multiplicador de Lagrange asociado a la restricción de cobertura de costos, que en conjunto con las  $n$  ecuaciones de tarifas asociadas a  $n$  pares conforman un sistema de  $(n+1)$  ecuaciones con igual número de incógnitas. La restricción de cobertura de costos del problema de optimización es

$$\sum_{h=1}^n P_h^m \cdot N_h \cdot S_h^m = F + \sum_{h=1}^n m_h^m \cdot N_h \cdot S_h^m \quad (3)$$

La existencia de esta restricción transforma en dependientes las tarifas de los  $n$  pares.

En la ecuación 2 subyace el supuesto que el resto de los modos alternativos al metro tarifican a costo marginal (Jara Díaz, 1985), existiendo antecedentes que muestran que para el caso particular del automóvil el costo marginal es mayor que el costo medio, esto por efecto de la congestión (Martínez, 1984). Cabe hacer notar que en los desarrollos anteriores no se ha incorporado una restricción de capacidad de transporte del sistema. La inclusión de esta restricción tendría la particularidad de ligar algunas de las tarifas espacio temporales, dependiendo del sector y de la longitud del periodo de tiempo de

referencia que se utilice para medir la capacidad. Su consideración podría generar diferentes impactos dependiendo del tipo de objetivo que se está analizando. Para el máximo beneficio privado, dado los niveles de demanda que se alcanzan debido a las tarifas asociadas a este objetivo, resulta bastante probable que esta restricción no constituya una limitante al problema, y por tanto las tarifas de los diferentes pares sean efectivamente independientes entre sí. Distinto es el caso del máximo bienestar social, donde los niveles de afluencia asociados a las tarifas que maximizan este objetivo podrían provocar que la restricción de capacidad sea activa. En este caso los niveles tarifarios de todos los pares podrían resultar afectados dada la ligazón entre ellos producto de esta restricción, situación que es dependiente además del nivel de costos a cubrir.

### 3. SENSIBILIDAD DE LOS USUARIOS AL TIEMPO

Se ha mencionado que en los algoritmos de optimización desarrollados por Jara-Díaz la modelación de la demanda se realiza a través de modelos de elección discreta tipo Logit con especificación lineal de la función de utilidad. Esto permite enfrentar con relativa facilidad el estudio de cambios temporales en la sensibilidad de los usuarios al tiempo.

Si para el par  $i$  la utilidad asociada al modo  $k$  es

$$U_i^k = \delta_i^k + \beta_1 \cdot P_i^k + \sum_l \alpha_l^1 \cdot t_l^k \quad (4)$$

donde

$\delta_i^k$  es la constante modal del modo  $k$ ,

$\beta_1$  es la utilidad marginal del ingreso (UMI) con signo negativo,

$\alpha_l^1$  es utilidad marginal del tiempo  $l$ , que junto con los dos parámetros anteriores se asocia al modelo de elección discreta usado para modelar la demanda en el par  $i$

$P_i^k$  es la tarifa (costo) del modo  $k$  en el par  $i$  y

$t_l^k$  es el tiempo  $l$  asociado al modo  $k$  en el par  $i$ ,

entonces el valor subjetivo del tiempo (VST) para el tiempo  $l$  está dado por la expresión

$$VST_l = \frac{\alpha_l^1}{\beta_1} \quad (5)$$

Los cambios en el valor del tiempo a lo largo del día se deberán a variaciones en las percepciones de los usuarios respecto a estos tiempos, es decir al nivel de los coeficientes  $\alpha_l^1$  de la función de utilidad, bajo el supuesto que la UMI es constante en los diferentes periodos, lo que resulta razonable al interpretar el módulo del coeficiente  $\beta_1$  como la utilidad que reporta la disponibilidad de un peso más. Esta estabilidad temporal de la UMI radica en considerar que las asignaciones presupuestarias de las personas son independientes del periodo del día. Si esto ocurriera los montos tarifarios y el análisis respecto al valor del tiempo tendrían cambios.



Para captar estas diferencias temporales del VST<sub>i</sub> se propone incorporar en la ecuación 4 un parámetro  $\theta_i$  que multiplique la componente temporal de la utilidad, de forma que para aquellos periodos en que se estime que la valoración del tiempo es mayor que el valor de éste para un periodo referencial el parámetro en cuestión tendrá un valor mayor que 1; si la sensibilidad es menor entonces  $\theta_i$  será menor que la unidad. En rigor el parámetro debería ser distinto para cada tiempo  $t$ , es decir un parámetro  $\theta_{it}$ , pero en ningún caso esta aproximación resta validez al análisis posterior.

La nueva expresión para la utilidad así tratada será

$$U_i^k = \delta_i^k + \beta_1 \cdot P_i^k + \theta_i \cdot \sum_t \alpha_i^t \cdot t_i^k \quad (6)$$

Esta formulación permite estudiar analíticamente las variaciones que experimentarán las tarifas óptimas de metro para diferentes objetivos (ecuaciones 1 y 2) ante cambios en la percepción del tiempo de los usuarios.

#### 4. TARIFAS OPTIMAS Y SENSIBILIDAD AL TIEMPO

##### 4.1 Maximización del Beneficio Privado

Utilizando derivación implícita en la ecuación 1 para conocer la variación de la tarifa óptima del par  $i$  respecto al parámetro  $\theta_i$  se obtiene

$$\frac{dP_i^*}{d\theta_i} = \frac{\Omega_i \cdot S_i^*}{|\beta_1| \cdot (1 - S_i^*)} \quad (7)$$

con

$$\Omega_i = \sum_t \alpha_i^t \cdot t_i^{1*} - \sum_k S_i^k \sum_t \alpha_i^t \cdot t_i^k \quad (8)$$

Claramente el signo de la derivada depende exclusivamente del término  $\Omega_i$ , el que corresponde a la diferencia entre la utilidad temporal del metro en el par  $i$  y la utilidad media, ponderada por la proporción de viajes en las diferentes alternativas modales en el par, de las utilidades temporales de los modos disponibles en el par en cuestión. El que sea mayor o menor que cero es función de los pesos que asignan las personas a los diferentes tiempos y del monto que estos tengan en los diferentes modos.

Respecto del monto de la variación se observa que éste será mayor en pares con menor UMI (altos ingresos relativos), o en donde la proporción de usuarios que elegirá el metro es relativamente más alta, o en pares donde el metro ofrezca un nivel de servicio mejor que el resto de los modos ( $\Omega_i > 0$ ). Es interesante notar que si el nivel de servicio fuera manifiestamente inferior al de modos alternativos,  $\Omega_i$  resulta ser relativamente más grande, pero negativo, con una suerte de compensación al interior de la expresión de la derivada puesto que el término asociado a la proporción modal del metro será relativamente más pequeño.

El impacto de cambios en  $\theta_i$  sobre el nivel de afluencia  $S_i^m$  se puede obtener a partir de la ecuación 1

$$\frac{dS_i^m}{d\theta_i} = (1-S_i^m) \cdot S_i^m \cdot \Omega_i \quad (9)$$

La dirección del movimiento de la afluencia resulta igual al de la tarifa en el par: si las tarifas óptimas bajan ante un cambio en el valor del tiempo, entonces a la afluencia le sucederá lo mismo.

#### 4.2 Maximización del Bienestar Social

Si se multiplica la ecuación 2 por  $N_i \cdot S_i^m$ , se suman término a término las  $n$  ecuaciones 2 asociadas a los  $n$  pares Origen Destino, se ordena la suma y se combina con la ecuación 3 es posible independizarse del término asociado al multiplicador de Lagrange, obteniendo una expresión (ecuación 10) a la cual es posible aplicar derivación implícita para conocer las variaciones en las tarifas óptimas ante cambios en  $\theta_j$

$$P_i^m = m_i^m + \frac{F}{\epsilon} \quad i = 1 \dots n \quad (10)$$

con

$$\epsilon = N_i \cdot S_i^m + |\beta_i| \cdot (1-S_i^m) \cdot \sum_{\substack{h \\ h \neq i}} \frac{N_h \cdot S_h^m}{|\beta_h| \cdot (1-S_h^m)} \quad (11)$$

Puesto que en este caso existe un vínculo entre las tarifas de los  $n$  pares, es de interés analizar las variaciones que sufrirá la tarifa del par  $i$  ante cambios en la percepción del tiempo que tienen los usuarios del par  $j$ .

Por derivación implícita se llega a que

$$\frac{dP_i^m}{d\theta_j} = \frac{\beta_i \cdot (1-S_i^m) \cdot S_j^m}{|\beta_j| \cdot (1-S_j^m)^2} \cdot \frac{N_j \cdot F}{(\epsilon^2 + F \cdot \beta_i \cdot (N_i - |\beta_i| \cdot \eta) \cdot S_i^m \cdot (1-S_i^m))} \cdot \Omega_j \quad (12)$$

donde  $\Omega_j$  y  $\eta$  corresponden respectivamente a

$$\Omega_j = \sum_i \alpha_i^j \cdot t_j^{\alpha_i} - \sum_k S_j^k \sum_i \alpha_i^k \cdot t_j^{\alpha_i} \quad (13)$$

y

$$\eta = \sum_{h \neq i} \frac{N_h \cdot S_h^R}{|\beta_h| \cdot (1 - S_h^R)} \quad (14)$$

A través de las expresiones 10 y 11 queda manifiesta la dependencia que existe entre la tarifa óptima del par  $i$  y el resto de los pares. El signo de las variaciones es función del término  $\Omega_j$ , mientras que el monto es función además de características tales como utilidad marginal del ingreso, proporción modal, total de usuarios en el par, etc; se debe notar que las ecuaciones 7 y 12 son de distinto signo.

Para este objetivo el estudio teórico de las variaciones de la demanda ante cambios en el valor del tiempo resulta más complejo que para el caso de máximo beneficio privado debido a que existe dependencia directa entre las  $n$  tarifas de los  $n$  pares.

## 5. APLICACIONES

### 5.1 Experimentación y Resultados

En el capítulo 3 se ha propuesto un método para estudiar el impacto que tendría una sensibilidad temporal diferente de los usuarios al tiempo sobre las tarifas óptimas de metro. Los desarrollos analíticos del capítulo 4 muestran que el comportamiento de las tarifas óptimas ante cambios en el parámetro  $\theta$ , que es el que capta las diferentes valoraciones del tiempo por parte de los usuarios, depende fuertemente en su signo del término  $\Omega_i$  o  $\Omega_j$ , mientras que su magnitud es función además de otros elementos.

Los experimentos se realizaron utilizando el software de tarificación TOM (Tarificación Óptima de Metro), en el que se encuentran implementadas las rutinas de cálculo de tarifas óptimas reportadas en el capítulo 2. La modelación de la red está hecha en base a 36 pares origen destino, de los cuales 20 corresponden al periodo punta de la mañana, mientras que los restantes se asocian al periodo fuera de punta; para más detalles ver Dirección General de Metro (1989). Para la modelación de la demanda se utilizaron los modelos de elección discreta denominados Las Condes-Centro y San Miguel-Centro con especificación del ingreso como tasa de gasto y calibrados para viajes con propósito trabajo en el periodo punta de la mañana (Jara-Díaz y Ortúzar, 1989; Parra, 1988). La información de variables de servicio, tarifas, ingreso y costos (marginales y fijo) se encuentra actualizada a Diciembre de 1990. De los 36 pares, 26 tienen asignado el modelo San Miguel-Centro y el resto utiliza el otro modelo.

Puesto que en la modelación de la red existen pares para periodos punta y fuera de punta, los que originalmente utilizan las mismas funciones de demanda, el tratamiento experimental consistió en modificar los coeficientes de los tiempos de viaje, caminata y espera de la expresión de la utilidad para los modelos que se utilizan en los pares correspondientes a periodos fuera de punta, tal como se indicó en el capítulo 3. El parámetro  $\theta$  se hizo variar entre 0.1 y 1, determinando en cada caso las tarifas óptimas por par para los dos objetivos en estudio, calculando luego valores medios, ponderados por afluencia, para la red y por línea, a nivel diario y por periodo. Para efecto

práctico se aplicaron las mismas variaciones en la percepción del tiempo, en términos relativos, en todos los pares fuera de punta y para los 3 tiempos.

Con un fin ilustrativo de la diversidad tarifaria resultante, en las tablas 1 y 2 se muestran las tarifas óptimas asociadas a algunos pares O/D, para los dos periodos y ambos objetivos, para tres valores del coeficiente  $\theta$ .

Tabla 1

Tarifas Óptimas en algunos pares O/D,  
ambos periodos, maximización del Bienestar Social

$\theta$	Par O/D	Tarifa (\$/pas)	
		Punta	F. Punta
0.1	Tobalaba - E.Central	75.6	72.7
	E.Militar - U.Chile	61.1	53.2
	San Pablo - E.Central	38.1	47.4
	Lo Ovalle - Los Héroes	80.1	79.1
0.5	Tobalaba - E.Central	84.0	83.3
	E.Militar - U.Chile	67.2	66.3
	San Pablo - E.Central	39.6	48.2
	Lo Ovalle - Los Héroes	86.4	83.3
1.0	Tobalaba - E.Central	118.8	84.1
	E.Militar - U.Chile	92.2	69.0
	San Pablo - E.Central	45.7	47.4
	Lo Ovalle - Los Héroes	109.2	81.4

Moneda en pesos de Diciembre 1990



Tabla 2

Tarifas Optimas en algunos pares O/D  
ambos periodos, maximización del Beneficio Privado

$\theta$	Par O/D	Tarifa (\$/pas)	
		Punta	F. Punta
0.1	Tobalaba - E. Central	403.7	344.1
	E. Militar - U. Chile	369.3	332.0
	San Pablo - E. Central	118.6	206.7
	Lo Ovalle - Los Héroes	223.1	262.1
0.5	Tobalaba - E. Central	403.7	303.5
	E. Militar - U. Chile	369.3	288.4
	San Pablo - E. Central	118.6	177.3
	Lo Ovalle - Los Héroes	223.1	236.9
1.0	Tobalaba - E. Central	403.7	250.3
	E. Militar - U. Chile	369.3	232.5
	San Pablo - E. Central	118.6	151.2
	Lo Ovalle - Los Héroes	223.1	202.8

Moneda en pesos de Diciembre 1990

En las tablas 3 y 4 se reportan las tarifas medias, por línea y por periodo, para los 2 objetivos; los valores medios de estas tarifas a nivel de red se han graficado en las figuras 1 y 2. Para cada objetivo en la tabla 5 se entregan valores mensuales agregados a nivel de red de la demanda, para diferentes valores del parámetro  $\theta$ .

Tabla 3

Tarifas Optimas Promedio (\$/pas)  
Máximo Bienestar Social

θ x 10 <sup>-1</sup>	Línea 1			Línea 2			Red		
	PM	FP	DIA	PM	FP	DIA	PM	FP	DIA
1	53.1	47.2	48.3	54.1	62.5	60.5	53.3	49.8	50.4
2	54.0	49.4	50.2	54.9	64.0	61.7	54.2	51.9	52.4
3	55.0	51.7	52.4	55.6	64.8	62.4	55.1	54.0	54.3
4	56.1	54.1	54.6	56.5	65.2	62.8	56.2	56.2	56.2
5	57.6	56.6	56.8	57.6	65.3	63.1	57.6	58.3	58.1
6	59.6	59.0	59.2	59.2	65.4	63.5	59.5	60.3	60.1
7	62.2	61.4	61.6	61.2	65.4	64.1	61.9	62.2	62.1
8	65.6	63.6	64.2	63.8	65.7	65.1	65.2	64.0	64.4
9	70.2	65.6	67.0	67.2	66.2	66.5	69.5	65.8	66.9
10	75.8	67.5	70.1	71.3	66.9	68.5	74.7	67.4	69.7

Moneda en pesos de Diciembre 1990

Tabla 4

Tarifas Optimas Promedio (\$/pas)  
Máximo Beneficio Privado

$\theta$ $\times$ $10^{-1}$	Línea 1			Línea 2			Red		
	PM	FP	DIA	PM	FP	DIA	PM	FP	DIA
1	245.9	284.4	277.3	184.5	268.4	248.2	231.2	281.5	271.6
2	245.9	279.1	272.5	184.5	260.5	241.5	231.2	275.6	266.4
4	245.9	264.7	260.6	184.5	244.9	228.5	231.2	260.9	254.0
6	245.9	248.0	247.5	184.5	229.6	216.1	231.2	244.4	241.0
8	245.9	231.2	235.3	184.5	215.2	205.0	231.2	228.1	229.0
10	245.9	215.9	225.5	184.5	202.3	195.5	231.2	213.3	219.2

Moneda en pesos de Diciembre 1990

Tabla 5

Demanda Diaria en la Red (miles pas/mes)  
Para Ambos Objetivos

$\theta$	Máximo Bienestar Social	Máximo Beneficio Privado
0.2	22.613	11.260
0.4	19.652	10.116
0.6	17.329	9.071
0.8	15.302	8.065
1.0	13.353	7.093

## 5.2 Análisis de Resultados

Un primer análisis tiene relación con el comportamiento de las tarifas óptimas ante diferentes sensibilidades al tiempo. Los resultados muestran que para el criterio de máximo Beneficio Privado en aquellos pares que resultan más sensibles al tiempo las tarifas óptimas deberían disminuir. Respecto al objetivo de máximo Bienestar Social los resultados indican que en aquellos pares que resulten más sensibles al tiempo los niveles tarifarios óptimos tendrían que subir.

El comportamiento antes descrito tiene estrecha relación con el valor que adopta el término  $\Omega_i$  o  $\Omega_j$  en las ecuaciones 7, 9 y 12. Los resultados señalan que estos términos son negativos, lo que significa que la utilidad temporal que reporta el metro a sus usuarios no es mejor que la utilidad temporal media del conjunto de alternativas, incluido el metro. Si se analizan los cocientes de los coeficientes de los tiempos de la función de utilidad respecto al coeficiente del tiempo de viaje, para los dos modelos de demanda utilizados, se observa lo siguiente

Tabla 6  
Cociente entre Coeficientes de  
Diferentes Tiempos y el de Tiempo de Viaje

Modelo	T. Viaje	T. Caminata	T. Espera
San Miguel-Centro	1.0	1.4	5.5
Las Condes-Centro	1.0	1.9	2.9

La importancia que los usuarios asignan al tiempo de viaje resulta ser la menor de todas, mientras que es claramente superior para el tiempo de espera. La información de los diferentes tiempos para los distintos pares origen destino muestra que si bien los tiempos de viaje en metro resultan ser menores o competitivos respecto a los de modos alternativos, no es tal en el caso de los tiempos de espera y caminata. Conocido es el nivel de servicio del sistema de locomoción colectiva de superficie, en lo que se refiere a tiempos de acceso y espera que son los que más interesan a los usuarios. La superposición de ambos elementos: tiempos y coeficientes de tiempo en los modelos de demanda, generan los resultados tarifarios descritos.

Un segundo punto de interés es saber si las tarifas en periodo fuera punta deben ser mayores o menores que las equivalentes de periodos punta. Los resultados experimentales señalan que esto depende del objetivo que se este considerando y del par origen destino a tarifificar. Para el objetivo de máximo beneficio privado, en general, las tarifas en periodos fuera de punta (FP) resultan mayores que en periodos punta (PP). Si el valor del tiempo en FP es



más bajo que en PP, entonces la cantidad de usuarios por hora será menor y por tanto el operador tendrá que cobrar más con tal de maximizar sus utilidades. Esto implica que el operador estará tarifando en la zona en que aún es posible alzar las tarifas y por tanto aumentar los ingresos. Se observa que en la línea 1, para valores de  $\theta$  por sobre el 60%, la situación se revierte. El metro debería disminuir sus tarifas si desea maximizar su beneficio, lo que implica que para ese segmento de usuarios estamos en la zona en que alzas tarifarias no se traducen necesariamente en aumentos de beneficio. En términos absolutos las tarifas de línea 2 se mantienen siempre por debajo de las de línea 1, independiente del periodo. Es necesario recordar que para este objetivo las tarifas óptimas por pares (espaciales o temporales) resultan independientes entre sí. Para el criterio de máximo Bienestar Social, para el cual todas las tarifas óptimas están relacionadas entre sí, en general las tarifas de FP resultan menores que en PP, excepto para la línea 2. Para esta línea, para valores del tiempo en FP bajo un 80% del correspondiente en PP, las tarifas resultan mayores. Entre tarifas por línea no aparece una diferenciación tarifaria muy fuerte, resultando para el PP las tarifas de línea 1 un poco más bajas que para línea 2, situación que se invierte en el otro periodo.

## 6. CONCLUSIONES

Los desarrollos analíticos y los resultados experimentales permiten advertir que no resulta sencillo intuir hacia dónde se moverían las tarifas óptimas del metro si se desea tarifificar temporalmente. Elementos socioeconómicos se entrelazan en el proceso de búsqueda de las tarifas que permiten satisfacer un determinado criterio.

Particular interés adquiere la expresión relacionada con la percepción que tiene los usuarios respecto a los diferentes tiempos involucrados en el proceso de elección. Esto dice de la necesidad de contar con modelos de demanda que permitan captar adecuadamente, tanto cualitativa como cuantitativamente, el comportamiento de las personas respecto de los diferentes aspectos y variables involucradas en la elección modal, enfocando estos modelos en particular hacia los usuarios del metro.

La existencia de subsidios cruzados se reconoce a nivel espacial para el objetivo de maximización del bienestar social. A nivel temporal se observa que si bien los usuarios de periodos fuera de punta en número son más que los de periodos punta, las tarifas óptimas no resultan significativamente diferentes entre periodos, lo que lleva a concluir que habría un subsidio de carácter temporal.

Un aspecto que no ha sido mencionado hasta ahora es el que tiene que ver con la transferencia de usuarios entre periodos al tarifificar temporalmente. La encuesta a usuarios de metro de 1990 (Empresa de Transporte de Pasajeros, 1990) permite observar que en el periodo de la mañana el 95% de los usuarios que acceden a la red tienen como propósito el ir al trabajo, estar trabajando o ir a estudiar, actividades que no pueden ser desplazadas en el tiempo puesto que el usuario no tiene control sobre la ubicación temporal de éstas, al menos en el corto plazo. La única posibilidad de desplazamiento temporal de los pasajeros, con la estructura actual de propósitos, se da al interior de periodos no punta, cuando los propósitos principales del viaje son trámite o ir de compras. Por tanto, una tarifificación temporal que diferencie sólo entre

periodos punta y fuera de punta no generaría una transferencia importante de usuarios entre periodos, sino que los cambios serían a nivel de partición modal dentro de cada unidad temporal. En todo caso, aparece como atractivo incorporar analíticamente al interior de los modelos de tarificación un método que permita la transferencia de usuarios entre periodos, es decir una decisión que no es sólo elegir en que viajar sino también el momento para hacerlo.

En la perspectiva de abrir una nueva línea de trabajo parece interesante explorar la flexibilización del supuesto respecto a que el valor relativo de los diferentes tiempos entre diferentes periodos es constante e igual para todos ellos, introduciendo variabilidad en el parametro  $\theta_1$  y hablando de un parametro  $\theta_1$  asociado a un tiempo  $t$ . Esto permitiría captar adecuadamente la diferencia en la percepción del tiempo por parte de los usuarios para los tiempos incorporados en la función de utilidad.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por METRO S.A. y por FONDECYT (Proyecto 1217-91). Agradezco al Profesor Sergio Jara D. de la Universidad de Chile sus comentarios y sugerencias.

#### REFERENCIAS

Dirección General de Metro (1989) Estudio Actualización Análisis del Sistema Tarifario del Metro de Santiago. Informe Final.

Empresa de Transporte de Pasajeros METRO S.A. (1990) Memoria Descriptiva de la Séptima Encuesta Origen-Destino de Viajes en Metro. Volumen 2.

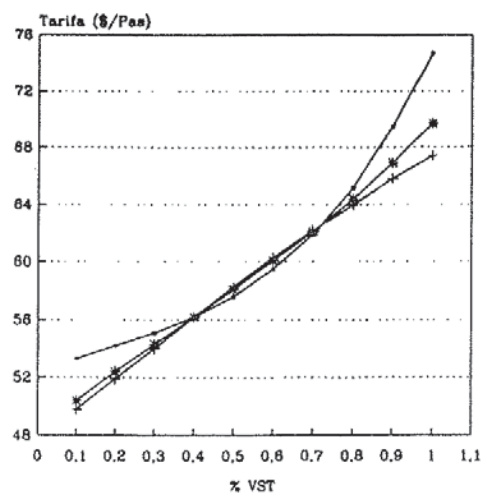
Jara-Díaz, S. (1985) Modelos de Tarificación en Sistemas de Transporte. Actas del Segundo Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Santiago. pp. 45-64.

Jara-Díaz, S. (1986) Alternative Pricing Schemes for the Santiago Underground System. Proceedings of Seminar L 14th PTRC Meeting. University of Sussex. pp. 15-25.

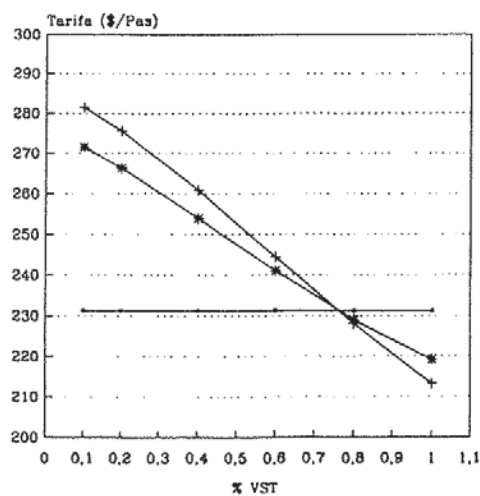
Jara-Díaz, S. y Ortúzar, J. (1989) Introducing the Expenditure Rate in the Estimation of Mode Choice Models. Journal of Transport Economics and Policy 23, pp.293-308.

Martínez, F. (1984) Influencia de la Congestión en la Tarificación del Transporte Público. Actas del Primer Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Santiago. pp. 44-58.

Parra, R. (1988) Valor Subjetivo del Tiempo en modelos de Partición Modal con efecto Ingreso. Memoria de Título, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.



Periodo  
 — PM —+— FP —\*— Diario  
 TARIFAS MAXIMO BIENESTAR SOCIAL (RED)  
 FIGURA 1



Periodo  
 — PM —+— FP —\*— Diario  
 TARIFAS MAXIMO BENEFICIO PRIVADO (RED)  
 FIGURA 2

