

## TARIFAS OPTIMAS CONSIDERANDO VALORES DEL TIEMPO VARIABLES ENTRE PERIODOS: UNA APLICACION AL METRO DE SANTIAGO

Alejandro M. Tudela  
Departamento de Ingeniería Civil  
Universidad de Concepción  
Casilla 53-C, Concepción

### RESUMEN

En un trabajo anterior (Tudela, 1991) se analizó el efecto sobre las tarifas óptimas de metro de un mayor valor del tiempo en el periodo punta mañana (PM) respecto al periodo fuera de punta (FP); los objetivos estudiados correspondieron a los de máximo beneficio del operador y máximo bienestar social, entendido este último como la agregación del beneficio del operador y el beneficio de los usuarios del sistema. Los resultados mostraron que las tarifas dependen fuertemente de la percepción que tengan los usuarios del tiempo (en sus diferentes componentes), de los otros elementos que inciden en la elección modal y del objetivo bajo consideración.

El objetivo de este trabajo es estudiar la tendencia de las tarifas óptimas ante valores del tiempo variables a lo largo del dia, para el objetivo del operador de maximización de la cantidad de pasajeros movilizados, con una metodología experimental similar a la utilizada en el trabajo antes citado: sensibilizar los coeficientes asociados a las variables temporales, para los pares origen destino correspondientes al periodo fuera de punta.

Se examina el impacto de cambios en el valor del tiempo para las diferentes componentes del tiempo total de viaje, lo que se hace a través de la introducción de desiguales coeficientes de sensibilización para los distintos tiempos en los pares origen destino asociados al periodo fuera de punta. Los resultados experimentales se refuerzan y complementan con desarrollos teóricos, los que permiten alcanzar una mayor comprensión del problema en estudio.

## 1. INTRODUCCION

Considerando que la percepción del tiempo varía durante el día, Tudela (1991) analizó el efecto de un mayor valor subjetivo del tiempo (VST), en el período punta mañana (PM) respecto al período fuera de punta (FP), sobre las tarifas óptimas de metro, para los objetivos de máximo beneficio del operador y máximo bienestar social, donde este último corresponde a la suma simple del beneficio del operador y el beneficio de los usuarios (Turvey, 1971). Puesto que no se dispone de modelos de partición modal para períodos fuera de punta, se recurrió a un enfoque paramétrico para desarrollar dicho análisis. Los resultados mostraron que las tarifas óptimas dependen fuertemente de la percepción que tengan los usuarios del tiempo (en sus diferentes componentes), de los otros elementos que inciden en la elección modal y del objetivo bajo estudio.

El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento de las tarifas óptimas considerando valores del tiempo variables a lo largo del día, para el criterio de maximización de la cantidad de pasajeros movilizados, además de realizar precisiones a los desarrollos hasta ahora disponibles. En el capítulo 2 se reportan las expresiones básicas de la tarificación óptima, la metodología para introducir un VST variable temporalmente en términos paramétricos, y se realiza un estudio a nivel teórico de las posibles implicancias de variaciones en el VST sobre las tarifas óptimas; esto se hace para los objetivos de maximización del beneficio del operador, el bienestar social y el flujo transportado. En el capítulo 3 se describe la base de datos utilizada, los experimentos desarrollados y se entregan los resultados, junto con un análisis de éstos. En el último capítulo se proporcionan las conclusiones que se desprenden de este estudio.

## 2. FORMULACION Y ANALISIS TEORICO

### 2.1. Tarificación Optima

Los modelos de tarificación de los sistemas de transporte (Jara Díaz, 1985) constituyen la base del análisis que se realiza en este artículo respecto a las tarifas óptimas y el valor del tiempo. El planteamiento de diferentes problemas de optimización, concordantes con distintos objetivos, se encuentra con mayor detalle en la referencia anterior; una revisión de los resultados prácticos asociados a la tarificación óptima en el Metro de Santiago puede hallarse en Jara Díaz y Tudela (1992). Es necesario notar que las formulaciones originales no consideran la capacidad de los vehículos como una restricción física del sistema, lo cual ha sido abordado en términos aproximados por Cáceres (1993). Estos modelos de tarificación sólo consideran cambios a nivel de partición modal, permaneciendo invariantes la generación y distribución de viajes.

La formulación del problema de optimización, del cual se derivan las expresiones que permiten determinar las tarifas óptimas, requiere la modelación física del sistema y definir el tratamiento que se dará a la demanda y los costos. La modelación física consiste en especificar pares origen-destino de viajes a lo largo de la trayectoria física del metro, utilizando este mismo enfoque para realizar, además, una modelación del sistema por períodos (temporal). La demanda es modelada a través de un modelo de elección discreta LOGIT, con función de utilidad lineal. La función de costos está compuesta por una parte fija, que resulta ser totalmente discrecional para el

operador y una parte variable dependiente del flujo movilizado. Dado que los costos se modelaron como una función lineal en el flujo, el coeficiente de éste en la función, en su parte variable, corresponderá al costo marginal, el que a su vez puede ser aproximado como un costo medio variable; más detalles respecto a la metodología de estimación de la función de costos puede encontrarse en Dirección General de Metro, 1986 y 1989. Como solución del problema de optimización se obtendrá la tarifa óptima de metro en cada par, bajo el supuesto que la operación es constante y conocida en cada período.

Las expresiones de las tarifas óptimas que permiten satisfacer los diferentes objetivos son

#### Máximo Beneficio del Operador

$$P_i^m = m_i^m + \frac{1}{|\beta_i| \cdot (1 - S_i^m)} \quad . \quad (1)$$

#### Máximo Bienestar Social

$$P_i^m = m_i^m + \frac{\lambda}{(\lambda + 1)} \cdot \frac{1}{|\beta_i| \cdot (1 - S_i^m)} \quad y \quad (2)$$

#### Máximo Flujo de Pasajeros Transportados

$$P_i^m = m_i^m + \frac{1}{|\beta_i| \cdot (1 - S_i^m)} - \frac{1}{\mu} \quad . \quad (3)$$

A las ecuaciones 2 y 3 es necesario incorporar la siguiente restricción financiera

$$\sum_{h=1}^n P_h^m \cdot N_h \cdot S_h^m = F + \sum_{h=1}^n m_h^m \cdot N_h \cdot S_h^m \quad . \quad (4)$$

donde

$P^m$ ,  $m^m$ , y  $S^m$ , son, respectivamente, la tarifa óptima, el costo marginal por pasajero transportado y la proporción de usuarios que elige al metro en el par  $i$ ,  
 $\beta$ , es la utilidad marginal del ingreso (UMI) de los usuarios del par  $i$ , con signo negativo,  
 $N$ , es el número total de viajes a realizar en cualquier modo en el par  $h$ ,  
 $\lambda$  y  $\mu$  son los multiplicadores asociados a la restricción financiera, para el problema de maximización de bienestar social y maximización del flujo transportado respectivamente,

F es el costo fijo y  
n es el total de pares origen-destino considerados en la modelación física, tanto espaciales como temporales.

Respecto al objetivo de maximización del bienestar social es prudente señalar lo siguiente:

- En la expresión 2 subyace el supuesto que los modos alternativos al metro tarifican a costo marginal.
- El bienestar social corresponde a la suma simple del beneficio del operador y el beneficio de los usuarios del modo. Por tanto, en la medida del bienestar social no se está considerando a la totalidad del sistema de transporte, sino sólo a aquellos involucrados directamente con el metro: operador y usuarios. Para efecto de este artículo, esta medida sesgada de beneficio se continuará llamando Bienestar Social.
- La medida de beneficio a usuarios es el excedente del consumidor Marshalliano que, dado como se modeló la demanda, tendrá un valor único.

Se aprecia que las tarifas de máximo beneficio del operador en los diferentes pares resultan independientes entre sí, lo cual para efecto del análisis se traduce en una ventaja. Algo totalmente distinto sucede con las tarifas óptimas asociadas a los otros dos objetivos, debido a la existencia de una restricción que involucra a la totalidad de los pares; como la restricción sólo busca el balance financiero global de la empresa, es factible que exista una "transferencia de montos tarifarios" entre pares, de manera de satisfacer el objetivo sin violar esta condición. La tarifa mínima posible de obtener con el criterio de máximo bienestar social es el costo marginal, mientras que el criterio de máximo flujo transportado puede admitir tarifas menores que dicho costo, e incluso nulas, salvo que se adicionen restricciones para evitar esto.

## 2.2. Formulación de un Valor del Tiempo Variable

A partir del modelo de partición modal utilizado para modelar la demanda es posible determinar para los usuarios del par  $i$  el valor subjetivo del tiempo  $l$  como (Jara Diaz y Ortúzar, 1986)

$$VST_i^l = \frac{\alpha_i^l}{\beta_i} \quad , \quad (5)$$

donde  $\alpha^l$  es la utilidad marginal del tiempo  $l$  de los usuarios del par  $i$ .

Si suponemos que el valor del tiempo no es constante durante el día, esta variabilidad se puede deber a cambios en la utilidad marginal del tiempo (UMT) y/o la UMI. Se postula que la variación es producto de alteraciones en la UMT. La UMI entre períodos se considera fija por dos razones:

- La asignación presupuestaria de un usuario se asocia a un lapso de tiempo cuya duración es de al menos un día y
- Quienes viajan en los diferentes períodos pertenecen a un grupo familiar representativo del par bajo análisis, con el cual comparte el ingreso familiar disponible.

Ahora bien, si queremos relajar el supuesto de UMI constante durante el día, tendremos que entrar a desagregar la población en grupos familiares específicos.

Como no se dispone de modelos de partición para los diferentes períodos, los coeficientes asociados a los atributos temporales serán sensibilizados a través de un parámetro  $\theta$ , el que reflejará la variación temporal del VST. Así, la nueva función de utilidad del modo  $k$  en el par  $i$  será, para aquellos pares que podrían presentar un VST diferente en un período respecto a otro,

$$U_i^k = \delta_i^k + \beta_i \cdot P_i^k + \theta \cdot \sum_{l=1}^r \alpha_i^l \cdot t_i^{lk} \quad . \quad (6)$$

donde  $\delta^k$  es la constante modal del modo  $k$  en el par  $i$ ,  $t^k$  es el tiempo tipo  $l$  del modo  $k$  en el par  $i$ , y  $r$  es el total de tiempos posibles de considerar en el momento de modelar un viaje.

Por ejemplo, si el período de referencia es la punta mañana, entonces es razonable asignar al parámetro  $\theta$ , para el período fuera de punta, valores en el intervalo abierto  $(0,1)$ ; esto indicaría que el VST es mayor en el primer período respecto al segundo.

### 2.3. Valor del Tiempo y Tarifas Óptimas

En la sección anterior ha sido mostrada una metodología para tratar empíricamente el supuesto de VST variables en el tiempo, ante la ausencia de modelos de partición modal para diferentes períodos, y así estudiar el impacto de este supuesto sobre las tarifas óptimas de metro.

La consecuencia que tendría un VST variable sobre las tarifas óptimas de metro puede tratarse a través del examen de las variaciones de estas tarifas ante cambios en el parámetro  $\theta$ . El análisis de las tarifas óptimas por par origen destino permite incorporar la caracterización socioeconómica de los usuarios del par y el vector de atributos de los modos al cual se ve sometido ese grupo de usuarios, vector que es variable en cada par, aunque los usuarios pertenezcan al mismo nivel socioeconómico.

#### Máximo Beneficio del Operador

La variación de la tarifa óptima respecto a  $\theta$  está dada por

$$\frac{dP_i^m}{d\theta} = \frac{\Omega_i \cdot S_i^m}{|\beta_i| \cdot (1 - S_i^m)} \quad . \quad (7)$$

donde

$$\Omega_i = \sum_{j=1}^r \alpha_i^j \cdot t_i^{jm} - \sum_{k=1}^p S_i^k \cdot \sum_{j=1}^r \alpha_i^j \cdot t_i^{jk} ; \quad (8)$$

p es el total de modos disponibles en el par i. La ecuación 8 puede interpretarse como la diferencia entre la utilidad temporal del metro en el par i y la utilidad temporal promedio de todos los modos disponibles en dicho par. Por ejemplo, si esta expresión es negativa entonces, a nivel de todos los tiempos, el metro aparecería en términos medios peor posicionado que el resto de los modos. Claramente la tendencia que las tarifas tendrán ante un menor (o mayor) VST dependerá del signo de  $\Omega_i$ .

Como las tarifas asociadas a este objetivo resultan independientes entre sí, los cambios en  $\theta$  sólo afectarán a la tarifa y usuarios del par en cuestión. Al respecto, debemos recordar que las formulaciones sobre las cuales se basa este análisis suponen que no hay cambios en la distribución de viajes, tanto a nivel espacial y temporal.

#### Máximo Bienestar Social

En este caso el análisis derivativo se complica puesto que, por una parte, en la expresión 2 aparece el multiplicador de la restricción financiera, y por otra, que las tarifas en los n pares son dependientes entre sí, por la existencia de una restricción común a todos ellos.

Mediante un manejo algebraico de las n ecuaciones 2 y la ecuación 4 es factible eliminar el multiplicador  $\lambda$ , obteniendo una expresión para la tarifa en cada par que es sólo función de las tarifas en los n pares, los costos marginales y el costo fijo.

Hecho lo anterior es posible analizar las variaciones en las tarifas óptimas ante cambios en  $\theta$  (o el VST). Es necesario distinguir el caso en que los usuarios del par i presentan un cambio en su VST (por ejemplo, si el par ha sido definido para el período FP) respecto de aquel otro en que los usuarios no modifican su VST en relación al período de referencia (los pares asociados al período PM, por ejemplo). Por lo tanto, las expresiones que se generan son

$$\frac{dP_i^m}{d\theta} = -\frac{F \cdot a}{c} \cdot \sum_{j=1}^u b_j \cdot \Omega_j \quad . \quad (9)$$

si los usuarios del par i no ven modificado su VST, y

$$\frac{dP_i^m}{d\theta} = -\frac{F}{c} \cdot (N_i \cdot S_i^m \cdot \Omega_i \cdot (1 - d) + a \cdot \sum_{j=1}^u b_j \cdot \Omega_j) \quad . \quad (10)$$

en caso contrario. La ecuación 9 se asocia a usuarios de la PM, mientras que la 10 corresponde a usuarios de FP. Los términos a, b, c y d han sido introducidos para simplificar la notación (todos ellos son mayores que cero). u corresponde al total de pares origen destino con un VST distinto al del período de referencia.

El signo de las expresiones 9 y 10 no es fácil de determinar por simple inspección. Resulta interesante la presencia del término  $\Omega_i$ , definido por la ecuación 8, el que adquiere importancia en el análisis tendencial de las tarifas. Para poder identificar el signo de las expresiones anteriores se deben realizar algunos supuestos respecto al orden de magnitud de los diferentes elementos que las componen, lo cual depende obviamente de la base de datos que se esté manejando.

#### Máximo Flujo de Pasajeros Transportados

Previo al análisis derivativo de las tarifas es necesario eliminar de la ecuación 3 el multiplicador  $\mu$ , de la misma forma como se hizo con la maximización del bienestar social. Una vez hecho esto, distinguiendo los dos casos descritos en la sección anterior, se llega a

$$\frac{dP_i^m}{d\theta} = -\frac{1}{e \cdot f^2} \cdot (f \cdot \sum_{j=1}^u g_j \cdot \Omega_j + (F-h) \cdot \sum_{j=1}^u N_j \cdot S_j^m \cdot \Omega_j) \quad y \quad (11)$$

$$\frac{dP_i^m}{d\theta} = -\frac{1}{e} \cdot \left( \frac{1}{f^2} \cdot (f \cdot \sum_{j=1}^u g_j \cdot \Omega_j + (F-h) \cdot \sum_{j=1}^u N_j \cdot S_j^m \cdot \Omega_j) - w_i \cdot \Omega_i \right) \quad (12)$$

En la expresión 11 se ha supuesto que el VST de los usuarios del par  $i$  no presenta variación respecto al período de referencia; la expresión 12 corresponde al caso contrario. Los términos  $e$ ,  $f$ ,  $g$ ,  $h$  y  $w$ , se han introducido con fines simplificatorios; todos ellos son positivos.

Al igual que para los dos objetivos antes analizados, la tendencia de las tarifas ante cambios en el VST está sujeta a las características de la base de datos que se está usando, y en particular, al signo del término  $\Omega_i$ .

Es interesante destacar dos situaciones particulares:

- si el VST sólo cambia en un par origen destino y
- si sólo cambia el VST de uno de los tiempos incorporados en la función de utilidad.

Respecto a la primera situación, las expresiones 9 a 12 se ven modificadas de forma tal que las sumatorias sobre  $j$  corresponden a un término único, recuperando las expresiones reportadas por Tudela (1991).

Para el segundo caso lo que se modifica es la expresión de  $\Omega_i$ . En las sumatorias sólo aparecerán los términos asociados al tiempo (o tiempos) cuyo VST ha sido modificado.

Al realizar el ejercicio de asignar valores a los diferentes elementos componentes de las ecuaciones 7 a 12 se obtiene que el signo de las ecuaciones 9 a 12 es el mismo, y opuesto al de la ecuación 7.

### 3. APLICACION

#### 3.1. Descripción de la Información

En la experimentación se usó el software TOM, versión 3.0 (Cáceres, 1993), con información de entrada actualizada a Diciembre de 1990. La modelación física de la red considera un total de 36 pares origen-destino, 20 de los cuales corresponden al período punta de la mañana, mientras que 16 se asocian al período fuera de punta. Los modelos de demanda incorporados a la base de datos corresponden a modelos calibrados para viajes con propósito trabajo, en el período punta de la mañana, en los corredores Las Condes Centro y San Miguel Centro; para más detalles ver Jara Díaz y Ortúzar (1989). El costo marginal por pasajero transportado era de \$ 30 aproximadamente, mientras que las tarifas del metro en la linea 1 y 2 eran respectivamente \$ 70 y \$ 60. La locomoción colectiva tenía una tarifa de \$ 100.

#### 3.2. Experimentación

Los experimentos se realizaron de acuerdo a la metodología descrita en el capítulo anterior. Puesto que los modelos de demanda han sido estimados para el período punta de la mañana, el parámetro  $\theta$  fue variado entre 0 y 1, de forma tal de reflejar el supuesto de un menor VST en FP respecto a PM.

La experimentación se llevó a cabo para los tres objetivos estudiados, considerando un parámetro  $\theta$  igual para todos los pares de FP, modificando los coeficientes asociados a los tiempos de viaje, espera y caminata. En una etapa posterior se modificaron aisladamente los coeficientes de los tiempos de viaje y espera, con el fin de conocer el impacto de cambios en cada uno de éstos sobre las tarifas óptimas.

#### 3.3. Resultados

Antes de mostrar los resultados es conveniente recordar que la red de metro ha sido modelada considerando un total de 36 pares, lo que implica que en cada optimización se obtiene un volumen importante de información. En este trabajo sólo se reportan las tarifas promedio, desagregadas por período y por línea, para cada uno de los objetivos; ver tablas y figuras 1, 2 y 3. Además, si bien analíticamente es posible que las tarifas de máximo flujo resulten nulas, la rutina de cálculo dentro del software impone que la tarifa mínima a cobrar a los usuarios es el costo marginal del par respectivo.

**Tabla 1**  
**Tarifa Promedio (\$/pas)**  
**Máximo Beneficio del Operador**

$\theta$	Línea 1			Línea 2			Red		
	PM	FP	Día	PM	FP	Día	PM	FP	Día
0.2	249	278	273	186	261	242	234	275	267
0.4	249	264	261	186	245	229	234	260	254
0.6	249	248	248	186	230	217	234	244	242
0.8	249	231	236	186	215	205	234	228	230
1.0	249	216	227	186	202	196	234	213	220

**Tabla 2**  
**Tarifa Promedio (\$/pas)**  
**Máximo Bienestar Social**

$\theta$	Línea 1			Línea 2			Red		
	PM	FP	Día	PM	FP	Día	PM	FP	Día
0.2	54	50	51	52	61	58	54	52	52
0.4	57	55	56	53	62	60	56	56	56
0.6	62	59	60	57	63	61	61	60	60
0.8	69	63	65	62	65	64	67	64	65
1.0	79	67	70	69	67	68	77	67	70

**Tabla 3**  
**Tarifa Promedio (\$/pas)**  
**Máximo F. Pasajeros Transportados**

$\theta$	Línea 1			Línea 2			Red		
	PM	FP	Día	PM	FP	Día	PM	FP	Día
0.1	59	48	50	40	53	50	55	49	50
0.3	61	55	56	40	46	44	56	54	54
0.5	71	58	61	44	44	44	64	56	58
0.7	79	62	66	46	44	45	71	58	62
1.0	105	63	75	54	45	48	92	59	69

Para tener una mejor idea respecto a los ordenes de magnitud de las tarifas, en la tabla 4 se entregan los valores tarifarios mínimos y máximos alcanzados en cada período para cada objetivo, para algunos valores del parámetro  $\theta$ .

Tabla 4  
Tarifas Mínimas y Máximas (\$/pas)  
Todos los objetivos, ambos períodos

$\theta$	Est	Max BP		Max BS		Max FT	
		PM	FP	PM	FP	PM	FP
0.1	Mín	120	204	38	37	24	24
	Máx	408	401	75	71	188	160
0.5	Min	120	177	40	43	26	24
	Máx	408	341	87	77	213	139
1.0	Min	120	151	47	48	26	26
	Máx	408	265	123	80	264	103

Respecto a la sensibilización separada de sólo los coeficientes asociados al tiempo de viaje y espera, los resultados a nivel de red y para ambos períodos son los siguientes

Tabla 5  
Tarifa Promedio (\$/pas)  
Máximo Beneficio del Operador

$\theta$	Tiempo de Viaje			Tiempo de Espera		
	PM	FP	Dia	PM	FP	Dia
0.1	234	210	218	234	231	232
0.5	234	212	219	234	223	226
1.0	234	213	220	234	215	221

Tabla 6  
Tarifa Promedio (\$/pas)  
Máximo Bienestar Social

$\theta$	Tiempo de Viaje			Tiempo de Espera		
	PM	FP	Dia	PM	FP	Día
0.1	79	67	71	65	63	64
0.5	78	67	70	70	65	66
1.0	77	67	70	77	67	70

**Tabla 7**  
**Tarifa Promedio (\$/pas)**  
**Máximo F. Pasajeros Transportados**

$\theta$	Tiempo de Viaje			Tiempo de Espera		
	PM	FP	Día	PM	FP	Día
0.1	95	59	70	74	59	63
0.5	93	59	70	82	59	66
1.0	92	59	69	92	59	69

### 3.4. Análisis de Resultados

Respecto a los montos tarifarios, a nivel diario y de red, se ve que si el VST en FP es menor que en PM, entonces las tarifas óptimas de máximo bienestar social y máximo flujo transportado deberían ser más bajas respecto a la situación en que el VST es el mismo en ambos períodos (tablas 2 y 3); para el objetivo de máximo beneficio del operador la situación es inversa: tarifas más altas si el VST es menor (tabla 1). A un nivel más desagregado, por línea y por periodo, los resultados muestran que la tendencia observada en la situación agregada se mantiene. La única excepción es la línea 2, para el periodo FP y el objetivo de maximización del flujo transportado, caso en el cual se tiene que la relación entre tarifas y el parámetro  $\theta$  es el tipo convexa. Un examen de los resultados a nivel de par origen destino indica que la macro tendencia antes signada se replica, para los tres objetivos.

La tendencia en la diferencia porcentual de las tarifas, para diferentes valores de  $\theta$ , muestra que no es posible establecer una regla general, que a la vez explique intuitivamente el proceso. En algunos casos, a menores valores del parámetro la diferencia decrece, mientras que en otros ocurre lo contrario. En esto incidirán el criterio tarifario que se adopte, la sensibilidad de los usuarios a los tiempos, los costos a cubrir, el número potencial de usuarios, etc.

De la tabla 4 se desprende que a nivel global la mayor dispersión tarifaria ocurrirá para la maximización del beneficio del operador, mientras que la menor se asocia a la maximización del bienestar social. La relación tendencial entre la dispersión y el parámetro  $\theta$  depende básicamente del periodo. Si el VST en FP disminuye, entonces en aquellos pares asociados a FP la dispersión aumenta, resultando este incremento mínimo para la maximización del bienestar social; en los pares correspondientes a la PM la dispersión decrece.

En aquellos casos en que sólo se modificó uno de los coeficientes temporales de la función de utilidad (tablas 5, 6 y 7), se observa que la variación en las tarifas para diferentes valores del tiempo de viaje resulta mínima, no ocurriendo igual cosa al introducir cambios en el valor del tiempo de espera; esto se asocia a la importancia relativa que asignan los usuarios a ambos tiempos.

Aunque en el análisis teórico se señaló que no resulta sencillo encontrar una explicación intuitiva a la posible tendencia de las tarifas ante cambios en el VST, es posible establecer ciertas

proposiciones a la luz de los resultados experimentales alcanzados, más otros antecedentes. Previo es necesario recalcar dos puntos:

Si el VST disminuye, implica que los usuarios comenzarán a dar mayor prioridad a la tarifa (y a todos aquellos atributos que no tienen un carácter temporal) en el momento de elegir el modo en que realizarán su viaje y

La elasticidad de la demanda de metro respecto a la tarifa es bastante baja, del orden de -0.2, lo que se traduce en un amplio margen para efecto de aumentos tarifarios.

Si pensamos en el objetivo de máximo beneficio del operador, por la naturaleza misma de éste, las tarifas resultarán altas. Si el VST en FP disminuye, entonces la demanda en dicho período tendrá que bajar ya que los usuarios buscarán modos alternativos más baratos. Ante ésto, y dada la independencia entre períodos, el operador podrá alzar sus tarifas con tal de satisfacer su objetivo tarifario.

La proposición para los otros dos objetivos es la siguiente: en ambos casos (máximo Bienestar y Flujo) las tarifas serán las más bajas posibles, acordes con el objetivo que se defina el operador. Si el VST decrece implica que los usuarios realizarán su elección basándose principalmente en la tarifa. Puesto que los modos alternativos tienen una tarifa sustancialmente mayor, para satisfacer el objetivo del operador será necesario que las tarifas óptimas de metro disminuyan.

Obviamente la certeza de estas proposiciones está sujeta al valor del parámetro  $\theta$ , al monto de la utilidad marginal del ingreso, y las tarifas y variables del nivel de servicio de los modos alternativos.

En el capítulo 2 se señaló que la tendencia de las tarifas óptimas para los objetivos de máximo Bienestar y Flujo era opuesta a la esperada para el objetivo de máximo Beneficio del Operador, indicando que el signo de la tendencia dependía fuertemente del término  $\Omega$ . Los resultados experimentales muestran que este término es menor que cero, lo que implica que a nivel de utilidades temporales, para la información contenida en la base de datos con la cual se trabajó, el metro está en promedio peor posicionado que los modos alternativos (auto chofer, auto acompañante, bus), considerando los tiempos de caminata, espera y de viaje.

Si analizamos las tablas 5, 6 y 7 vemos que la tendencia negativa de  $\Omega$ , se repite para el tiempo de espera, no así para el tiempo de viaje. Esto nos indicaría que la utilidad temporal asociada al tiempo de espera del metro es peor percibida que la media de la totalidad de los modos, ocurriendo lo opuesto para el tiempo de viaje. La inspección de los datos permite apuntar a dos aspectos:

Las características del modelo de demanda que se está utilizando, en cuanto a la sensibilidad de los usuarios a las diferentes componentes temporales del viaje y

La ubicación del metro dentro del mercado de transporte, particularmente en lo que respecta a su nivel de servicio.

Los modelos de demanda utilizados asignan al tiempo de espera una importancia relativa de 5 veces la asignada al tiempo de viaje, por lo que la utilidad final estará claramente condicionada por el monto del tiempo de espera, además ciertamente de la magnitud de los otros tiempos (viaje y caminata).

La magnitud de los diferentes tiempos muestra que el metro resulta altamente competitivo en lo que dice relación a tiempos de viaje, pero no así en lo que respecta a tiempos de caminata y espera, situación común a todos los sistemas de transporte masivo.

La conjugación de ambos aspectos genera los resultados experimentales: utilidades temporales del metro bajas, si consideramos la totalidad de los tiempos o sólo el tiempo de espera, y utilidades mayores que la media para la situación en que sólo el tiempo de viaje es tomado en cuenta.

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis teórico ha demostrado que el estudio de la tendencia que tendrían las tarifas óptimas de metro, ante la posibilidad de un menor valor del tiempo en el período fuera de punta respecto al período punta mañana, no es evidente. Las formulaciones obtenidas resultan complejas, dependientes de distintos términos; sólo a través de aproximaciones es posible obtener un indicio del comportamiento en cuestión. Resulta obvio que los resultados dependerán de la base de datos que se esté manejando como información de entrada, en cuanto a modelos de demanda, tarifas y variables del nivel de servicio, y del objetivo del operador.

Si bien es posible establecer proposiciones intuitivas en cuanto a la posible tendencia de las tarifas para los tres objetivos, en términos comparativos, ésto es sólo una aproximación que no recoge en su totalidad la complejidad del problema, particularmente para los objetivos de máximo bienestar y flujo transportado.

Si nos situamos en el escenario de una tarificación diferenciada por período del día, es claro que se requieren modelos de demanda específicos para esos períodos. En este trabajo se ha recurrido a una aproximación para conocer tendencias, no valores a cobrar a nivel operativo.

La posibilidad de transferencia de usuarios entre períodos, que la formulación teórica utilizada en este trabajo no considera, no se ve relevante para los viajes realizados en la punta mañana, puesto que el mayor porcentaje de éstos tiene el carácter de obligatorio (trabajo y estudio); de hecho, la información para el mes de Marzo de 1994, respecto al mismo mes del año 93, muestra que en los períodos de punta la afluencia horaria ha disminuido en promedio un 1.2%, mientras que en los períodos de media-baja ha experimentado un alza que fluctúa entre un 2.4 y un 20.2% (METRO S.A., 1994). La posibilidad de introducir esta transferencia dentro del análisis pasa por discriminar a los usuarios que tienen movilidad entre períodos, y de un modelo que permita caracterizar adecuadamente este proceso: ya no se trata sólo de elegir en qué viajar, sino también a qué hora; esto es aplicable a cualquier período.

Respecto a los modelos de demanda es conveniente destacar dos aspectos:

- Si interpretamos las constantes modales como aquellos elementos que explican lo no explicado por el resto de los atributos, entonces es de esperar que su monto varíe en los diferentes períodos, ya que aspectos como comodidad y seguridad serán percibidos de distinta forma por los usuarios. Sería interesante estudiar la sensibilidad de las tarifas óptimas ante modificaciones en estos coeficientes.
- Los modelos utilizados suponen que la percepción que tienen los usuarios de una variable específica no depende del modo, resultando el coeficiente de ésta igual para todos los modos o alternativas. Este trabajo ha mostrado la importancia de medir adecuadamente la percepción que tienen los usuarios de los distintos atributos, pareciendo razonable definir coeficientes específicos por modo para las variables temporales. También es deseable la introducción de una utilidad marginal del ingreso de carácter discreto por montos tarifarios, puesto que la disponibilidad a gastar una unidad monetaria más dependerá del monto de la tarifa. Este hecho nos indica que la certeza de los resultados asociados a la maximización del beneficio del Operador, en cuanto a cifras, es más baja respecto a los otros valores ya que los montos escapan de los rangos monetarios para los cuales los modelos fueron estimados.

Es necesario señalar que el efecto de la licitación de vías sobre el sistema de transporte no ha sido considerado, dada la falta de la información base. Los cambios en las tarifas y el nivel de servicio de la locomoción colectiva de superficie tendrán su impacto en las tarifas óptimas de metro.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por FONDECYT, proyecto 1930890, y por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Concepción.

#### REFERENCIAS

Cáceres G. (1993) Implementación de un sistema interactivo para la tarificación óptima de Metro considerando capacidad. Memoria Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U. de Chile.

Dirección General de Metro (1986) Estudio sistema tarifario del Metro de Santiago. Informe Final. Realizado por Citra Ltda.

Dirección General de Metro (1989) Estudio actualización análisis del sistema tarifario del Metro de Santiago. Informe Final. Realizado por Citra Ltda.

Jara Díaz S. (1985) Modelos de tarificación en sistemas de transporte. Actas del Segundo Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Santiago. 45-64.

Jara Díaz S. y J. Ortúzar (1986) Valor subjetivo del tiempo y rol del ingreso en la especificación de la demanda por transporte. Apuntes de Ingeniería 24. 5-36.

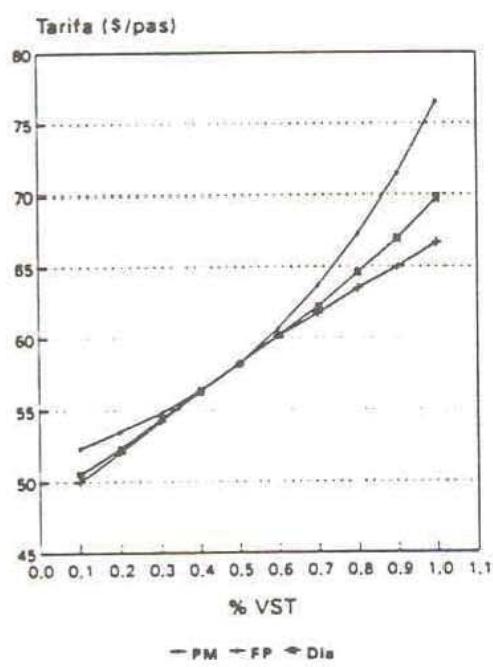
Jara Díaz S. y J. Ortúzar (1989) Introducing the expenditure rate in the estimation of mode choice models. *Journal of Transport Economics and Policy* 23. 293-308

Jara Díaz S. y A. Tudela (1992) Metodologías de tarificación para el Metro de Santiago: síntesis y conclusiones empíricas. *Actas del VII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte*, Caracas.

METRO S.A. (1994) *Análisis de Resultados Reforma Tarifaria Metro 1994*. Documento del Departamento de Planificación.

Tudela A. (1991) Tarifas óptimas de Metro y sensibilidad de los usuarios al tiempo. *Actas del Quinto Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Santiago. 187-201.

Turvey R. (1971) *Economic Analysis of Public Enterprises*. Allen and Unwin, Londres



Máximo Beneficio Social  
Figura 2

