

**DERIVACION DE PESOS DE VARIABLES SUBJETIVAS Y OBSERVABLES
DE NIVEL DE SERVICIO DE TRANSPORTE PUBLICO
A TRAVES DE COMPARACIONES MULTIPLES**

Rodrigo A. Garrido y Juan de Dios Ortúzar
Departamento de Ingeniería de Transporte
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306 Código 105 Santiago 22, Chile
Fono: (56-2) 552 2375 Anexos 4270, 4822
Fax: (56-2) 552 4054

RESUMEN

A partir de información sobre la jerarquización de un conjunto de atributos de locomoción colectiva, por parte de varios tipos de usuarios del sistema, se determinan los pesos de la función nivel de servicio mediante una generalización de una metodología recientemente propuesta en la literatura.

Los pesos relativos se comparan con los estimados mediante modelos de elección discreta basados en preferencias declaradas, concluyéndose que aún cuando existen grandes diferencias entre ambos métodos, los resultados coinciden en cuanto a la importancia de los atributos más relevantes para cada categoría de usuario.

1. INTRODUCCION

Actualmente, Santiago de Chile es una de las capitales latinoamericanas con mayor contaminación atmosférica, y en gran parte ésta se debe a emisiones provenientes del sistema de transporte público de la ciudad. Además, la tasa de motorización ha aumentado notoriamente en la última década generando enormes problemas de congestión vehicular. Adicionalmente, las emisiones de los vehículos particulares, aunque menos visibles, constituyen a uno de los componentes más dañinos del smog de Santiago. El Estado ha intervenido racionalizando la caótica situación de la oferta de transporte público y desea introducir ciertos desincentivos al uso indiscriminado del automóvil particular. Sin embargo, las autoridades están convencidas de que una política de esta naturaleza requiere, para su éxito, la provisión de un buen nivel de servicio en el transporte público a fin de que éste constituya una opción razonable para quienes deban traspasarse al sistema. Esto requiere comprender la percepción e importancia atribuida por los usuarios y potenciales usuarios del sistema a los distintos atributos de nivel de servicio (NS), con el objeto de diseñar un servicio "a la medida" para distintos segmentos de mercado.

En un estudio previo (Ortúzar et al, 1994) se llevó a cabo una serie de encuestas para identificar, jerarquizar (en orden de importancia) y calificar (de acuerdo a la percepción real de los usuarios), las variables más relevantes de NS, por parte de usuarios y potenciales usuarios del sistema de transporte público de Santiago. Primero, se desarrolló una encuesta tipo Delphi, de dos etapas, a varios expertos nacionales con el objeto de obtener una primera aproximación al tema de identificar el problema. Segundo, se llevó a cabo una serie de entrevistas semi-estructuradas a grupos focales, en las cuales se entrevistó en profundidad a un grupo de 65 individuos (organizados en 13 grupos de a cinco). La información acerca de las variables relevantes fue obtenida a base de opiniones espontáneas o inducidas, su grado de aceptación (unanimidad, mayoría, minoría) y el número de veces que cada atributo era mencionado durante la sesión. Tercero, se tomó una encuesta estructurada a una gran muestra de usuarios de todos los modos de transporte público disponibles en la ciudad (buses, taxi colectivos y Metro), con el objeto de jerarquizar y calificar las variables más relevantes identificadas previamente. La encuesta final consideró otra gran muestra a usuarios de transporte público que fueron sometidos a dos juegos de preferencias declaradas con el fin de determinar la importancia otorgada por los usuarios a los atributos más relevante del NS. Para esto, se estimó modelos logit multinomial con esta información, empleando como función de utilidad una combinación lineal de siete atributos seleccionados.

El objetivo de este trabajo es determinar los "pesos" relativos, dentro del vector de NS, de cada uno de los atributos (subjetivos y observables) identificados como relevantes en las primeras tres encuestas mencionadas en el párrafo anterior. Estas fueron las siguientes:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| - Costo del viaje | - Tiempo de viaje en vehículo |
| - Tiempo de espera | - Tiempo de caminata |
| - Riesgo de accidentes | - Variabilidad del tiempo de viaje |
| - Variabilidad del tiempo de espera | - Ocupación del bus |
| - Comodidad del vehículo | - Comportamiento y apariencia del chofer |
| - Posibilidad de viajar sentado | - Uso alternativo del tiempo durante el viaje |

Para alcanzar este objetivo se dispone de jerarquizaciones (*rankings*) acerca de la importancia percibida de estos atributos para una muestra de 690 usuarios de transporte público. Estas jerarquizaciones son analizadas utilizando una generalización de la metodología de determinación de pesos relativos propuesta por Cook y Kress (1988); su enfoque resuelve el problema de determinar pesos relativos a partir de comparaciones pareadas sobre la base de una apropiada medida de distancia en un espacio matricial de comparación.

2. METODOLOGIA

2.1 El enfoque de la mínima distancia

El problema de derivar la importancia relativa que otorgan los individuos a un conjunto de alternativas (objetos, proyectos, productos, atributos, etc.) ha sido ampliamente estudiado en la literatura (Barzilai et al, 1987; Cook y Kress, 1988; Ali et al, 1986) desde diversos puntos de vista. En este trabajo hemos desarrollado una modificación al enfoque propuesto por Cook y Kress (1988), que se basa en una medida de "distancia" entre matrices de comparaciones de pares de alternativas. Nuestra modificación corresponde a una generalización para el caso de comparaciones múltiples, esto es, comparaciones simultáneas entre varias alternativas estableciendo un ranking de preferencias entre ellas. En primer lugar, a continuación se presenta en forma resumida la metodología de Cook y Kress (1988).

La representación estándar de la respuesta a una comparación pareada se establece a través de la siguiente matriz:

$$P = \{p_{ij}\}, \text{ con } p_{ij} > 0, \quad p_{ij} + p_{ji} = 1 \quad (1)$$

donde p_{ij} representa la probabilidad de que la alternativa i sea preferida sobre la alternativa j . Esta probabilidad normalmente se deriva de las respuestas de los individuos (consumidores) a los cuales se hizo escoger entre ambas alternativas. Así por ejemplo, si N individuos fueran consultados acerca de su preferencia entre las alternativas i y j , se tendría:

$$p_{ij} = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

en que n_i es el número de individuos que prefirieron i en vez de j . A su vez, p_{ji} es la proporción que escogió en forma contraria; claramente se cumple que $p_{ji} = 1 - p_{ij}$. Esta proporción puede ser utilizada para determinar la probabilidad de que un individuo cualquiera prefiera la alternativa i sobre la j . Así, si definimos la siguiente variable aleatoria:

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i \text{ es escogido} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (3)$$

la probabilidad de que un individuo escoja la alternativa i será: $P(Z_{ij} = 1) = p_{ij}$.

Sea $A = \{a_{ij}\}$ una matriz cuadrada definida de la siguiente manera:

$$a_{ij} = \frac{E(Z_{ij})}{E(Z_{ji})} = \frac{p_{ij}}{(1 - p_{ij})} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

en que $E(\cdot)$ representa al operador valor esperado, y n es el número de alternativas a comparar en forma pareada. Claramente $a_{ij} > 0$ y $a_{ji} = 1/a_{ij}$. A recibe el nombre de *matriz de razón de intensidad*; sus elementos a_{ij} expresan cuán preferible es i sobre j , o equivalentemente, cuál es la razón entre los "pesos" de ambas alternativas como veremos a continuación.

Se dice que una matriz A es *totalmente transitiva* si y sólo si $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$ para cualquier i, j, k . En base a esta definición, Cook y Kress (1988) demuestran que una matriz A es totalmente transitiva si y sólo si existe un conjunto $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ con w_i no nulos y todos del mismo signo, tal que:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (5)$$

Mediante la propiedad anterior es posible ligar el problema de determinar pesos relativos, a un problema de búsqueda de una matriz totalmente transitiva A^* que sea *lo más cercana posible* a la matriz de razón de intensidad asociada a una determinada muestra de individuos; es decir, el conjunto óptimo de pesos de las alternativas A^* (equivalente a una matriz $W = \{w_i/w_j\}$) debe estar a una *distancia mínima* de la matriz $A = \{a_{ij}\}$, lo que formalmente corresponde a:

$$\begin{aligned} \text{Min } d(A, A^*) \\ \text{s.a.} \\ A^* \in S_A^* \subset S_A \end{aligned} \quad (6)$$

donde S_A^* es algún conjunto de matrices de razón de intensidad, cada una de las cuales cumple con la propiedad de transitividad descrita anteriormente; $d(\cdot)$ representa una medida de distancia en el espacio $S_A = \{A; A = \{a_{ij}\}, a_{ij} > 0, a_{ij} = 1/a_{ji}\}$. Cook y Kress (1988) proponen los siguientes axiomas que deben cumplirse para una medida de distancia d en el espacio S_A .

Axioma 1 (Propiedades métricas)

$$1) \quad \forall X, Y \in S_A, \quad d(X, Y) \geq 0$$

$$d(X, Y) = 0 \iff X = Y$$

$$2) \quad d(X, Y) = d(Y, X)$$

$$3) \quad d(X, Y) + d(Y, Z) \geq d(X, Z)$$

Axioma 2

Si X e $Y \in S_n$ y $X = Y$ excepto por un par (i,j) para el cual $x_{ij} \neq y_{ij}$, entonces:

$$d(X,Y) = d\left[\begin{pmatrix} 0 & x_{ij} \\ x_{ji} & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & y_{ij} \\ y_{ji} & 0 \end{pmatrix}\right] = H\left(\frac{x_{ij}}{y_{ij}}\right)$$

en que H es una función continua.

Axioma 3 (Axioma de escala)

$$H(C_0) = 1$$

para algún valor de C_0 . Este valor puede ser escogido arbitrariamente y se denomina *base* de la distancia.

Se puede demostrar (Cook y Kress, 1988) que la única distancia entre dos matrices de razón de intensidad X e Y que cumple con estos axiomas es:

$$d(X,Y) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left| \ln \left(\frac{x_{ij}}{y_{ij}} \right) \right| \quad (7)$$

A partir de esta medida de distancia es posible plantear directamente el problema de optimización de la expresión (6), el cual requiere de una apropiada normalización para los pesos w_i ; esta puede ser convenientemente definida en términos multiplicativos (por simplicidad) como:

$$\prod_{i=1}^n w_i = 1 \quad (8)$$

con lo cual el problema de optimización equivalente resulta ser:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |\ln a_{ij} - \ln w_i + \ln w_j| \quad (9)$$

s. a.

$$\prod_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0$$

que a su vez puede ser convenientemente expresado como el siguiente problema lineal de optimización por metas (aunque demostrarlo no es trivial):

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} + N_{ij} \\
 & \text{s.a.} \\
 & x_i^+ - x_i^- - x_j^+ + x_j^- - N_{ij} + P_{ij} = \ln a_{ij} \\
 & i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 & \sum_{i=1}^n (x_i^+ - x_i^-) = 0 \\
 & x_i^+, x_i^-, P_{ij}, N_{ij} \geq 0
 \end{aligned} \tag{10}$$

en que P_{ij} es el máximo entre $A = (\ln a_{ij} - \ln w_i + \ln w_j)$ y cero; N_{ij} el máximo entre $-A$ y cero; x_i^+ el máximo entre $\ln w_i$ y cero; x_i^- el máximo entre $-\ln w_i$ y cero, y lo mismo para los x_j ; se debe notar que en Cook y Kress (1988) hay un error de signos en esta expresión.

Así, de la solución de este problema equivalente se obtienen los pesos mediante la expresión:

$$w_i = e^{x_i^+ - x_i^-} \tag{11}$$

2.2 El caso de las comparaciones múltiples

Para determinar la percepción de los usuarios acerca de las características de un sistema, una forma muy utilizada en investigación de transporte (y en otras áreas de las ciencias sociales) es a través de encuestas en las cuales se pide al entrevistado que ordene un conjunto de tarjetas, que contienen descripciones de atributos, viajes, modos de transporte, etc., estableciendo así un ranking de preferencias entre las distintas alternativas que le fueron presentadas. Sin embargo, una vez que se conoce el ranking de las alternativas, resulta conveniente conocer la valoración relativa de cada una de ellas; para esto se han desarrollado diversas técnicas de análisis (Kruskal, 1965; Chapman y Staelin, 1982). Nuestro enfoque está basado en la estructura de programación matemática presentada anteriormente y se aplica principalmente a rankings entre alternativas *no-compuestas* (en oposición a *alternativas compuestas*, que serían aquellas que se forman por la combinación entre dos o más atributos posibles de combinar en una función de utilidad asociada a la alternativa), que no pueden abordarse por los métodos tradicionales basados en la teoría de utilidad aleatoria (Domencich y McFadden, 1975).

Para poder aplicar la metodología antes descrita, es necesario construir una matriz de razón de intensidad a partir del ranking realizado por los entrevistados. Si definimos la *profundidad de la alternativa i* como r_i : posición en que fue ubicada la alternativa i dentro del ranking (por ejemplo $r_i=1$ significaría que la alternativa i es preferida a todas las demás, y $r_i=N$ significaría

que la alternativa i ha sido nominada como la peor dentro de un conjunto de N alternativas), una forma posible de construir la matriz deseada sería transformando el ranking en una matriz de comparaciones pareadas en base a la profundidad de cada alternativa; de esta forma, si r_i fuera menor que r_j entonces se asumiría que i fue preferida a j y así sucesivamente para cada par de alternativas. Luego de construir la matriz de comparaciones pareadas se podría calcular la probabilidad asociada a esta matriz de la forma descrita en la sección 2.1. Sin embargo, resulta evidente que si dos alternativas i y j fueron ranqueadas una inmediatamente sobre la otra (es decir $r_j - r_i = 1$) esta situación es distinta, en términos de probabilidad de preferencia, de una en que ambas fueran ubicadas con una mayor diferencia de profundidad (por ejemplo, $r_j - r_i = 1$ indica que i es preferible a j , pero $r_j - r_i = 4$ indicaría que i es mucho más preferible que j). Así, resulta conveniente introducir la siguiente modificación al cálculo de las probabilidades que se utilizarán para obtener las razones de intensidad a partir de una muestra de Q individuos:

$$P_{ij} = \frac{\sum_{q=1}^Q |r_i^q - r_j^q| g_{ij}^q}{\sum_{q=1}^Q |r_i^q - r_j^q|} \quad (12)$$

$$g_{ij}^q = \begin{cases} 1 & \text{si } r_i^q < r_j^q \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

en que el superíndice q indica el individuo. Esta expresión entrega la probabilidad agregada de que la alternativa i sea preferida a la alternativa j ponderando la respuesta de cada individuo q por la diferencia entre las profundidades respectivas, lo cual permite incorporar el efecto mencionado en el párrafo anterior.

3. DATOS DISPONIBLES

Después de realizar la encuesta Delphi y las encuestas de grupo focal descritas anteriormente, Ortúzar et al (1994) utilizaron las doce variables seleccionadas para diseñar una encuesta estructurada con dos propósitos: primeramente, jerarquizar los atributos de acuerdo al orden de importancia percibida por los individuos entrevistados (para escoger los siete atributos a utilizar en el experimento de preferencias declaradas) y luego evaluarlos de 1 a 7 (el sistema de calificaciones escolares en Chile utiliza esta escala en que 1 indica el más deficiente y 7 es excelente), basado en la percepción relativa de su calidad actual por los individuos.

Se tomó una muestra estratificada de 690 usuarios de buses y minibuses. Los 18 estratos fueron definidos sobre la base de localización residencial (Norte, Sur, Este y Oeste de Santiago), nivel de ingreso (bajo, medio y alto, este último sólo en la parte este de la ciudad) y período del día en que el viaje era realizado (punta y fuera de punta); se muestreó un mínimo de 30 observaciones por estrato. Las entrevistas de hora punta fueron tomadas en los lugares de trabajo y las fuera de punta en los hogares. Se tomó una muestra adicional de 70 obreros y 60 estudiantes para verificar la existencia de sesgos en la percepción de esos dos grupos.

La información fue examinada por nivel de ingreso y período solamente, debido a que el análisis estadístico de los datos mostró que la diferencia de percepción no era afectada por la localización espacial de los entrevistados. Por ejemplo, la Tabla 1 presenta los resultados de la jerarquización para los viajeros de hora punta; los valores de la tabla representan la ubicación promedio de cada variable en el ranking.

Tabla N°1: Ranking promedio para cada variable en el período punta

Variable	Muestra Total	Nivel de Ingreso			Muestras Adicionales	
		Bajo	Medio	Alto	Trabajadores	Estudiantes
Riesgo de accidentes	4,9	5,1	4,6	4,7	5,6	6,8
Comodidad del vehículo	5,4	5,9	5,1	4,7	5,7	7,1
Comportamiento y apariencia del chofer	5,5	5,5	5,3	6,3	6,4	6,8
Costo de viaje	5,8	5,1	6,3	7,7	3,2	4,3
Tiempo de espera	6,1	6,5	5,9	4,9	7,5	5,4
Tiempo de viaje en vehículo	6,6	6,5	6,6	6,7	6,1	5,1
Ocupación del bus	6,7	7,1	6,4	5,8	7,4	6,6
Variabilidad del tiempo de espera	7,3	7,5	7,2	5,9	8,3	6,5
Posibilidad de viajar sentado	7,4	7,4	7,4	7,8	7,4	7,2
Variabilidad del tiempo de viaje	8,4	8,6	8,2	7,9	9,2	7,1
Tiempo de caminata	9,3	8,9	9,7	9,4	8,2	8,6
Uso alternativo del tiempo	9,9	9,8	9,8	11,9	8,8	9,5

Como se puede ver en la Tabla 1, no hay demasiada dispersión entre las valoraciones; esto significa que existe cierto consenso de opinión acerca de la importancia de cada variable para estos viajeros. Sobre la base de estos y otros resultados equivalentes para el período fuera de punta, se escogieron las siguientes siete variables para la última etapa del estudio:

- Costo de viaje
- Variabilidad del tiempo de espera

- Tiempo de espera
- Posibilidad de viajar sentado
- Tiempo de viaje en vehículo
- Riesgo de accidentes
- Comodidad del vehículo

Resulta interesante acotar que el Comportamiento y apariencia del chofer, como su nombre lo indica, apunta a dos aspectos: apariencia (generalmente descuidada) y comportamiento particularmente en dos aspectos: tratamiento de los pasajeros que suben o bajan del vehículo (suele haber ciertos problemas con los jubilados o personas de edad avanzada y con los estudiantes) y la forma de conducir que es normalmente pésima en comparación a los estándares de países industrializados. El Riesgo de accidentes tiene relación con dos aspectos: la calidad mecánica del vehículo y si se viaja dentro del éste o "colgando" fuera de este (lo cual es común en horas punta). Finalmente, la Comodidad del vehículo guarda relación con el estándar de calidad del vehículo incluyendo limpieza, edad y ruido.

4. PRINCIPALES RESULTADOS

4.1 Análisis de los pesos relativos de los atributos

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos para cuatro segmentos de usuarios: alumnos universitarios y de enseñanza media, obreros, viajeros de hora punta y viajeros de fuera de punta. En ella se ha asignado el valor de 100 al atributo Costo de viaje.

Se observa que tanto alumnos como obreros valoran el Costo de viaje muy por sobre el resto de los atributos, lo cual se explica por el escaso poder adquisitivo de ambos grupos. Los obreros otorgan la menor valoración a la Variabilidad del tiempo de viaje, Uso alternativo del tiempo y Variabilidad del tiempo de espera. Los alumnos por su parte, también otorgan baja valoración al Uso alternativo del tiempo pero no a las variabilidades de tiempo, debido principalmente a que presentan un mayor valor subjetivo del tiempo (VST, ver Gaudry et al, 1989) que los obreros; esto se refleja en el peso de los atributos de tiempo: bajo para los obreros y alto para los alumnos. La Comodidad en el vehículo y el Riesgo de accidentes juegan un rol importante en la decisión de los obreros. Los alumnos también atribuyen gran peso a esta última variable, aunque la valoran menos que el Tiempo de viaje y de espera.

Los viajeros de hora punta y de fuera de punta no valoran mayormente el Costo de viaje como en los grupos recién analizados, sino que presentan la Comodidad del vehículo y al Riesgo de accidentes como los atributos de mayor peso. El hecho que se valore tanto la Comodidad del vehículo puede deberse a que estos grupos son más heterogéneos que los anteriores, lo que hace más general su resultado. En efecto, los obreros y los alumnos son, en general, de escaso poder adquisitivo, por lo tanto probablemente no estarían dispuestos a pagar más por viajar en un vehículo más cómodo. Además, si bien es cierto que el poder adquisitivo de los alumnos puede ser mayor que el de los obreros (ya que en gran medida depende del ingreso familiar que puede no ser bajo), a su vez son más jóvenes y por ende no otorgan mayor importancia a viajar cómodos.

Tabla N°2: Pesos relativos de los atributos de nivel de servicio

Variable	Alumnos	Obreros	Hora punta	Fuera de punta
Uso alternativo del tiempo	8,2	5,2	15,2	26,4
Aspecto y actitud del chofer	33,0	15,6	115,7	130,4
Número de pasajeros de pie	35,0	9,5	68,4	101,4
Comodidad del vehículo	28,7	21,1	118,9	153,9
Costo de viaje	100,0	100,0	100,0	100,0
Tiempo de viaje	70,6	17,5	73,4	86,4
Tiempo de espera	58,7	9,2	91,4	85,2
Posibilidad de viajar sentado	27,7	9,4	49,0	64,3
Presencia de cobrador	6,1	9,1	44,2	42,4
Riesgo de accidentes	32,2	19,5	150,5	138,8
Tiempo de caminata	13,1	6,7	21,6	22,7
Variabilidad del tiempo de viaje	27,7	4,2	30,2	51,9
Variabilidad del tiempo de espera	36,7	6,2	53,0	61,7

El hecho de que tanto los usuarios de hora punta como los de fuera de punta otorguen tanto valor al Riesgo de accidentes y la Comodidad del vehículo, es una señal de que el transporte público de Santiago presenta un mal nivel en este sentido. Algo similar ocurre con el Aspecto y actitud del chofer, ya que en muchas ocasiones han ocurrido accidentes fatales que son totalmente imputables al manejo de los conductores. Por otra parte, los dos grupos otorgan poca valoración al Uso alternativo del tiempo, al igual que los obreros y los alumnos, lo cual indica que este es un atributo que parece ser poco relevante para todos los usuarios; esto puede deberse a que los individuos deciden a priori invertir una determinada cantidad de tiempo en trasladarse y organizar sus actividades, de forma tal que no requieran utilizar ese tiempo.

Con respecto al Tiempo de caminata, se observa que es poco relevante en los cuatro grupos, lo cual puede explicarse gracias a que las distancias de caminata para acceder al transporte público en Santiago son más bien bajas y en consecuencia los usuarios no estarían dispuestos a pagar un costo adicional por reducir este tiempo.

4.2 Comparación con los resultados de preferencias declaradas

Ortúzar et al (1994) obtuvieron valoraciones relativas para algunos de estos atributos mediante las elasticidades de demanda respecto a cada atributo. Uno de los grupos analizados en ese trabajo, con los cuales compararemos nuestros resultados, eran los viajeros de fuera de punta y el grupo de alumnos.

La Tabla 3 muestra los valores de cuatro de los atributos más relevantes para los usuarios, expresados como proporción del Costo de viaje. En ella se puede observar que en el grupo que viaja en hora fuera de punta, se observan grandes diferencias no sólo en el valor de los pesos asignados sino que también en el orden de importancia de los atributos.

Tabla N°3: Comparación de pesos relativos

Atributo	Fuera de punta PD*	Fuera de punta
Costo de viaje	100,0	100,0
Tiempo de viaje	156,2	86,4
Riesgo de accidentes	77,9	138,8
Comodidad	62,0	153,9

(*) Ponderaciones obtenidas de modelos de preferencias declaradas en Ortúzar et al (1994).

En efecto, mientras el método de las elasticidades entrega la más alta valoración al Tiempo de viaje, nuestro método indica que la Comodidad es el atributo de mayor peso. De hecho, ambos enfoques entregan un orden inverso de importancia; mientras para el primero el atributo más importante es el Tiempo de viaje y el menos importante la Comodidad, en nuestro caso esto resulta justamente al revés.

Ahora bien, el hecho que la Comodidad y Seguridad presenten los pesos más altos (según nuestro método), es totalmente compatible con el hecho que los viajes en hora fuera de punta tienen menos rigidez con respecto al Tiempo de viaje puesto que son más sustituibles y acomodables a las condiciones deseadas por los usuarios. Sin embargo, aún cuando los pesos de ambos métodos son distintos, es importante destacar que son los de mayor importancia en ambos casos.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado una metodología práctica y directa para determinar la importancia relativa de un conjunto de alternativas ranqueadas por un grupo de individuos, en base a un problema de programación lineal. Mediante este método se analizó un conjunto de atributos de nivel de servicio de transporte público en base a una encuesta aplicada a diversos grupos de usuarios del sistema de transporte colectivo de la ciudad de Santiago. Las ponderaciones obtenidas a través de esta metodología fueron comparadas con las ponderaciones obtenidas por Ortúzar et al (1994) mediante elasticidades de demanda. De esta comparación se puede concluir lo siguiente:

- Los pesos derivados a partir de ambos métodos no son iguales. De hecho, hay grandes diferencias entre ellos. Además, la forma de derivación a través de las elasticidades de demanda no es necesariamente la más conveniente, puesto que sus valores (obtenidos indirectamente) dependen de la especificación de una función de utilidad que tiene como componentes a cada atributo de interés; en contraste, el método basado en la mínima distancia es directo y menos dependiente del criterio y "know how" del modelador.
- Aún cuando los pesos de cada atributo presenten valores distintos, los atributos más relevantes (los cuatro presentados en la Tabla 3) son los mismos según ambos métodos.
- Dado que la elasticidad de demanda es función del valor del atributo respectivo, para calcular los pesos relativos es necesario tomar elasticidades promedio, lo cual tiene incorporado un cierto error de agregación que se traduce en ruido.
- Dado lo anterior, considerando que el primer método requiere de software especializado para su estimación y teniendo en cuenta que el método de mínima distancia sólo requiere resolver un problema de programación lineal, se concluye que puede ser técnica y económicamente más conveniente utilizar este último para determinar pesos relativos.

Finalmente, se debe tener presente que al estar todos los pesos de las Tablas 1 y 2 divididos por el del Costo de viaje, el coeficiente que se presenta es un indicador de la disposición a pagar por un aumento en el nivel del atributo. Por lo tanto, los valores presentados pueden servir de ayuda tanto a la autoridad reguladora del transporte como a los operadores del sistema; estos últimos pueden lograr un diagnóstico claro y fundamentado de las actuales condiciones del sistema y cuáles serían las disposiciones a pagar (en términos relativos) por cada uno de los componentes del servicio. Así por ejemplo, si la Seguridad y la Comodidad fueran los atributos más importantes para los usuarios tanto de hora punta como de fuera de punta, es fácil ver que cada unidad monetaria invertida en estos ítemes tendrá un retorno creciente para el operador dada la alta disponibilidad a pagar por parte de los usuarios. Similar situación ocurre con el Aspecto y actitud del chofer, que aparentemente es interpretada por los usuarios no como el aspecto físico de éste, sino que por su conducta vial, que está altamente correlacionada con la seguridad (de ahí que presente un peso tan alto tanto para usuarios de punta como fuera de punta). Esto debiera alertar a los operadores a fin de que decidan invertir en conductores con una mayor instrucción y capacitación laboral, lo que podría traer enormes ventajas para todo el sistema (en términos sociales y privados).

AGRADECIMIENTOS

La investigación en que se enmarca este trabajo contó con financiamiento del Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) y de la Dirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DIUC). Se desea agradecer la desinteresada e importante colaboración del Dr. Luis Contesse, del Departamento de Ingeniería de Sistemas, en la interpretación del método original de Cook y Kress (1988).

REFERENCIAS

Ali, I., Cook, W.D. y Kress, M., (1986) On the minimum violations ranking of tournament. *Management Sciences* 32, 660-672.

Barzilai, J., Cook, W.D. y Golany, B., (1987) Consistent weights for judgement matrices of the relative importance of alternatives. *Operations Research Letters* 6, 131-134.

Chapman, R. G. y Staelin R. (1982) Exploiting rank ordered choice set data within the stochastic utility model. *Journal of Marketing Research* 19, 288-301.

Cook, W.D. y Kress, M. (1988) Deriving weights from pairwise comparison ratio matrices: An axiomatic approach. *European Journal of Operational Research* 37, 355-362.

Domencich, T.A. y McFadden, D. (1975) *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*. North Holland, Amsterdam.

Gaudry, M.J.I., Jara Díaz, S.R. y Ortúzar, J. de D. (1989) Value of time sensitivity to model specification. *Transportation Research* 23B, 151-158.

Kruskal, J.B. (1965) Analysis of factorial experiments by estimating monotone transformations of the data. *Journal of Royal Statistical Society* 27B(3), 251-263.

Ortúzar, J. de D., Ivelic, A.M., y Candia, A. (1994) User perception of public transport level of service. En P.R. Stopher y M. Lee-Gosselin (eds.), *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*. Pergamon Press, Nueva York.