

## INFLUENCIA DE LA PERCEPCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN LA ELECCIÓN MODAL PARA VIAJES INTERURBANOS DE TRANSPORTE PÚBLICO HACIA EL SUR DE CHILE

Luis Ignacio Rizzi

Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile  
Casilla 306, Código 105, Santiago 22, Chile.  
Fax: (562) 5530281; E-mail: lrizzi@ing.puc.cl

Víctor Cantillo

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Norte  
Km 5 Antigua Vía a Puerto Colombia. Barranquilla-Colombia  
Fax : (575) 3509530; E-mail: vcantill@uninorte.edu.co

Nicolás Bronfman

Departamento de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Andrés Bello  
Echáurren 237, Santiago, Chile. Código Postal 837-0133  
Fax: (562) 695 8266; E-mail: nbronfman@unab.cl

### RESUMEN

El proceso de elección modal suele estar influenciado por la percepción subjetiva de ciertos atributos de índole cualitativos. La dificultad en cuantificar estos atributos hace que, la mayor parte de las veces, sean ignorados o modelados de manera simple y poco realista. En este artículo, investigamos la influencia que ciertas variables cualitativas ejercen en la elección de modo de transporte público – bus o tren – para viajes interurbanos de Santiago hacia el sur de Chile. Para ello, un grupo de individuos encuestados colocó una nota a diez atributos de servicio tanto de tren interurbano como bus interurbano. Con estos datos, se realizó un análisis factorial exploratorio que permitió determinar la existencia de tres factores o variables latentes – seguridad, comodidad y conveniencia de los horarios de viaje – que sintetizan la información contenida en aquellos diez atributos. En relación a los dos primeros factores, el tren resultó ser mejor percibido; mientras que para el tercer factor, lo fue el bus. De los tres factores considerados, sólo la seguridad y la comodidad afectan la elección de modo de viaje. La consideración explícita de variables cualitativas mediante un análisis de factores promete una vía de exploración interesante para mejorar el poder explicativo y predictivo de los modelos de elección discreta.

## 1. INTRODUCCION

Tradicionalmente, los modelos de elección de modo de viaje suelen considerar atributos fácilmente medibles, como tiempo de viaje, tiempo de espera, costo y, eventualmente, variables binarias relativas a ciertos atributos cualitativos (por ejemplo, viaje de pie / viaje sentado). Un sinnúmero de variables de aparente difícil medición son finalmente ignoradas y su efecto medio es estimado a través de la especificación de una constante modal. Este enfoque tradicional en ingeniería de transporte ha comenzado a ser desafiado en los últimos años mediante la inclusión del concepto de variables latentes (McFadden, 1986; Walker 2001; Ashok *et al*, 2002), ampliamente utilizado en disciplinas como sociología y psicología (Bollen, 1989).

Una variable latente representa un concepto abstracto que no puede ser medido de manera directa, pero si indirectamente a través del uso de variables indicadoras que representan distintas dimensiones de la variable latente. Por ejemplo, la variable latente seguridad puede caracterizarse según el nivel de ansiedad y/o tensión que provoca el viaje, la sensación de seguridad al interior del vehículo, etc. En este artículo, reportamos los resultados de un modelo de elección de modo de superficie (tren versus bus) para viajes interurbanos al sur del país en el que se modela de manera explícita el rol de la comodidad y la seguridad.

El resto de este artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2, explicamos el enfoque utilizado en el presente estudio. En la sección 3, se describe la encuesta que provee los datos para el análisis. Las secciones 4 y 5 contienen el análisis factorial exploratorio y el modelo de elección discreta. En la sección 6, se cierra el artículo con las conclusiones.

## 2. ENRIQUECIMIENTO DE LOS MODELOS DE ELECCION DISCRETA MEDIANTE LA INCLUSION DE VARIABLES LATENTES

El *análisis factorial exploratorio* es una técnica matemática de investigación experimental utilizada en diversos ámbitos: psicología, pedagogía, sociología, genética, economía, etc. En su sentido más amplio, el *análisis factorial exploratorio* tiene por objeto descubrir las variables latentes comunes en un cierto campo de fenómenos. A cada dimensión de variabilidad común (variables latentes) se le da el nombre de *factor*. Si cada fenómeno varía independientemente de los demás, habrá tantas dimensiones de variación como fenómenos. Si los fenómenos no varían independientemente, sino que revelan diversas dependencias mutuas, cabe suponer que existe un número menor de dimensiones de variabilidad que de fenómenos. Averiguar cuántas y cuáles son estas dimensiones o factores es el objetivo del *análisis factorial exploratorio*<sup>1</sup>.

Por ejemplo, sea un conjunto de cuerpos. Si tomamos la medida de un elevado número de aspectos métricos como longitud, áreas, volumen, altura, profundidad, etc., hallaremos que estas medidas no varían independientemente, sino que manifiestan diversas dependencias mutuas. Así, a mayor altura corresponderá, en general, mayor volumen; a mayor longitud y anchura, mayor área, etc. El análisis factorial entre todas estas variables permitirá descubrir que el conjunto de ellas varía tan solo en tres dimensiones distintas, revelando que todos los fenómenos estudiados pueden expresarse en función de tres factores: la longitud, la profundidad, y la altura.

<sup>1</sup> Los términos factores, variables latentes o dimensiones de variabilidad designan el mismo concepto.

Claramente, en el ejemplo anterior no hace falta recurrir al análisis factorial, puesto que otros métodos más directos y breves permitirían llegar al mismo resultado. Pero no siempre acontece así (Yela, 1997).

En nuestro caso de estudio, el problema es el siguiente. A partir de la realización de dos grupos focales, determinamos diez atributos del servicio (fenómenos) que debían ser evaluados con una nota por los individuos encuestados. Estos diez atributos son los siguientes:

- La *conveniencia* de los horarios de viaje (mayor disponibilidad de viajes diarios)
- La *facilidad* para viajar con niños o bultos pesados
- El *aprovechamiento del tiempo* en el viaje para leer, escribir, trabajar o realizar otras actividades
- La *comodidad* durante el viaje (calidad de los asientos, espacios disponible, entre otras)
- La *puntualidad* en el cumplimiento del horario del viaje
- La *relajación* durante el viaje (capacidad para disfrutar el viaje)
- La *seguridad* al viajar (sensación de que no ocurrirá un accidente en el transcurso del viaje)
- La *seguridad* en el vehículo/coche tren (nivel de protección brindado por el vehículo en caso de accidente)
- La *seguridad* en cuanto a robo/hurto al interior del vehículo/coche tren
- La *seguridad* en cuanto a robo/hurto en Terminales

Estos atributos son valorados en la escala del uno (1) al siete (7), donde uno representa la peor nota y siete la mejor nota. A partir de la puntuación que cada individuo coloca a cada uno de estos atributos, tanto para el tren como para el bus, se determinarán los factores o variables latentes que los generan. La idea es obtener un número reducido de factores, que tendrán que ser adecuadamente interpretados. Una vez determinados los factores, se calcula el valor de cada uno de estos para cada combinación individuo – modo. Estas variables latentes, que influyen en la elección modal, son incorporadas en la función de utilidad indirecta modal. Es de esperar que modelos así estimados presenten un mejor ajuste que aquellos que dejan de lado todo posible indicador sobre calidad del servicio y simplemente estimen una constante modal que refleja todo el diferencial de calidad entre modos que no puede ser captado a través de los parámetros costo y tiempo de viaje. Al incluir las variables latentes o factores y bajo el supuesto de aditividad lineal en las variables explicativas, la función de utilidad indirecta condicionada en el modo  $i$  ( $i = \text{tren, bus}$ ) asume la siguiente forma:

$$V_i = \alpha_{\text{tiempo de viaje}} \text{tiempo de viaje}_i + \alpha_{\text{costo de viaje}} \text{costo de viaje}_i + \sum_j \alpha_{\text{factor}_j} \text{factor}_j \quad (1)$$

A partir de la ecuación anterior, se puede estimar un modelo de elección modal utilizando algún supuesto sobre la distribución de errores. El caso más sencillo consiste en suponer un error aditivo que distribuye independiente e idénticamente Gumbel por individuo – modo, arrojando el popular modelo logit (Ortúzar y Willumsen, 2001) que entrega las siguientes probabilidades de elección para las alternativas bus y tren:

$$P(\text{bus}) = \frac{e^{V_{bus}}}{e^{V_{bus}} + e^{V_{tren}}}, \quad P(\text{tren}) = 1 - P(\text{bus}). \quad (2)$$

En rigor, existe una versión más sofisticada del modelo que consiste en estimar de manera simultánea el modelo de variables latentes y el modelo de elección discreta mediante el planteamiento de una función de verosimilitud conjunta (McFadden, 1986; Walker, 2001<sup>2</sup>; Ashok *et al*, 2002). El modelo de variables latentes, en este caso, se basa en la técnica del *análisis factorial confirmatorio*. Dado el enfoque exploratorio de nuestro estudio, preferimos utilizar la técnica de *análisis factorial exploratorio*. En esta perspectiva, el presente estudio ha de ser considerado sólo un primer paso, previo a la utilización del modelo más riguroso desde el punto de vista econométrico.

### 3. DESCRIPCION DE LA MUESTRA

Se decidió estudiar el efecto de la calidad de servicio en un modelo de elección discreta en un contexto de elección restringido a una elección modal entre bus y tren interurbanos. Para ello, se consideraron viajes hacia el sur del país, a las ciudades de Concepción/Talcahuano, Talca, Linares, Chillán, Temuco y Curicó, todas ellas servidas por tren y bus.

A fin de facilitar la recolección de datos, se tomó una muestra basada en la elección; es decir, se determinó una idéntica cantidad de individuos a encuestar por cada modo de interés. Se realizó un total de 602 encuestas, 301 viajeros de tren y otros 301 viajeros de bus, desde Santiago a las ciudades del sur del país recién mencionadas. La elección de los destinos para cada modo se hizo de manera aleatoria; los encuestados fueron seleccionados al azar de entre aquellos que estaban esperando abordar su unidad de viaje con una antelación de al menos quince minutos. La encuesta fue realizada durante los días 23 a 28 de septiembre de 2004.

Las secciones 1 y 2 de la encuesta contienen sobre el viaje que la persona encuestada está por realizar; de aquí en más le diremos el *viaje actual*. En la sección 3 de la encuesta, los individuos debían colocar una nota a los diez atributos descritos en la sección anterior. La sección 4 de la encuesta contiene un ejercicio de preferencias declaradas. En éste, sólo se consideran variaciones en los tiempos de viaje y en los costos de los pasajes a fin de determinar la sensibilidad de los pasajeros a ambas variables. La sección 5 de la encuesta pregunta el ingreso personal de las personas<sup>3</sup>.

#### 3.1 Análisis Descriptivo de la Muestra

La Tabla 1 entrega información sobre varias características de la muestra seleccionada: destinos de viaje, motivos de viaje, genero, ingreso y edad. Respecto de la relación existente entre las variables socioeconómicas de los participantes y el medio de transporte seleccionado, se encontró que mientras menor es la edad de los participantes mayor es la probabilidad de que escojan al bus como medio de transporte. Del mismo modo, mientras mayor es el ingreso personal de los participantes mayor es la probabilidad de que escojan el tren como medio de transporte. No se

---

<sup>2</sup> Walker (2001) contiene dos ejemplos de este tipo de modelos aplicados al sector transporte; hace referencia también a las otras (pocas) aplicaciones en el área.

<sup>3</sup> Mayores detalles sobre la encuesta se pueden conseguir contactando a los autores del trabajo.

encontró una diferencia estadísticamente significativa en la selección del medio de transporte cuando se consideró la variable género.

**Tabla 1: Estadísticas varias sobre la muestra recolectada**

| Destino de Viaje      | Tren | Bus | Motivo del Viaje       | Tren | Bus |  |
|-----------------------|------|-----|------------------------|------|-----|--|
| Chillán               | 54   | 48  | Estudio                | 24   | 9   |  |
| Concepción/Talcahuano | 48   | 55  | Trabajo                | 111  | 55  |  |
| Curicó                | 37   | 54  | Turismo/recreación     | 30   | 21  |  |
| Linares               | 50   | 41  | Visitar familiar       | 61   | 74  |  |
| Talca                 | 61   | 54  | Salud                  | 8    | 6   |  |
| Temuco                | 51   | 49  | Diligencias personales | 31   | 55  |  |
|                       |      |     | Otros                  | 36   | 81  |  |
| Edad                  | Tren | Bus | Ingreso personal \$    | Tren | Bus |  |
| Menor de 20 años      | 4    | 9   | 0                      | 54   | 35  |  |
| 20 – 29 años          | 51   | 85  | < 150.000              | 12   | 101 |  |
| 30 – 39 años          | 92   | 99  | 150.001 – 280.000      | 39   | 116 |  |
| 40 – 49 años          | 71   | 70  | 280.001 – 450.000      | 46   | 38  |  |
| 50 – 59 años          | 42   | 25  | 450.001 – 900.000      | 74   | 6   |  |
| 60 – 69 años          | 32   | 8   | 900.001 – 1.600.000    | 39   | 1   |  |
| Mayor de 70 años      | 9    | 5   | >1.600.001             | 18   | 0   |  |
|                       |      |     | No contesta            | 19   | 4   |  |
| Sexo                  | Tren | Bus |                        |      |     |  |
| Hombre                | 185  | 197 |                        |      |     |  |
| Mujer                 | 116  | 104 |                        |      |     |  |

La Tabla 2 muestra el resumen estadístico de las puntuaciones colocadas por los usuarios de cada modo a cada uno de los modos en cada uno de los 10 atributos descritos en la sección anterior. En relación al primer atributo, la conveniencia de los horarios de viaje, el bus fue mejor evaluado por los usuarios de ambos modos. En relación a todos los demás atributos, el tren resultó ser mejor evaluado tanto por los usuarios de tren como por los usuarios de bus. Sin embargo, los usuarios de tren perciben relativamente una mejor calidad de servicio del tren comparados con los usuarios de bus. De manera similar, los usuarios de bus perciben la calidad del servicio del bus relativamente mejor que los usuarios de tren.

#### 4. ANALISIS EXPLORATORIO

En primer lugar, se verificó si los datos observados justifican el empleo de técnicas de análisis factorial, utilizando el estadístico de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y el test de esfericidad de Bartlett. El estadístico KMO tuvo un valor de 0,897, muy cercano a la unidad, indicando una adecuación excelente de los datos a un modelo factorial (Kaiser, 1974). Por su parte, al aplicar la prueba de esfericidad de Bartlett ( $\chi^2$ -cuadrado = 4.697,  $p < 0,00001$ ) se deduce que no es significativa la hipótesis nula de variables no correlacionadas. Estos indicadores sugieren la factibilidad de aplicar la técnica de análisis factorial.

En segundo lugar, es necesario determinar el criterio de retención de factores a utilizar. Para ello deben considerarse dos aspectos fundamentales: por un lado, extraer muchos factores aumenta el ajuste entre los datos observados y el modelo construido, pero disminuye la parsimonia del

modelo y complica la interpretación de los ejes; por otro lado, un modelo más parsimonioso facilita la interpretación de los resultados aunque puede llevar a explicar una pequeña parte de los datos observados (Díaz de Rada V., 2002). En definitiva, debe buscarse una solución intermedia entre explicar el máximo porcentaje de varianza y la obtención de un modelo lo más parsimonioso posible. El criterio de retención de factores clásicamente utilizado consiste en incluir sólo aquellos factores cuyos valores propios sean superiores a la unidad. Sin embargo, este criterio tiende a incluir muy pocos factores cuando el número de atributos es inferior a 20 (Pla L., 1986), lo que puede resultar en un modelo que explica muy poca variabilidad. Cuando se posee un número reducido de atributos, puede utilizarse el siguiente criterio (Gorsuch, 1983): seleccionar un número de factores que formen un modelo lo más parsimonioso posible cuyo porcentaje de varianza explicada sea satisfactorio (Pla L., 1986).

Si el criterio de retención de factores utilizado se basa en que los valores propios sean superiores a la unidad, el análisis factorial arroja dos factores que explican sólo el 57% de la varianza de los atributos. Si bien esto representa un modelo bastante parsimonioso, consideramos que el porcentaje de varianza explicada no es satisfactorio. Cuando son considerados tres factores (con valores propios superiores a 0,9), el porcentaje de varianza explicada de los atributos asciende a 67%, obteniéndose así un modelo parsimonioso, que explica un nivel satisfactorio de la variabilidad observada. La última columna de la Tabla 3 muestra el porcentaje de varianza explicada para cada atributo (comunalidad del atributo), que se mantiene en un rango de 51% y 95%, valores límites correspondientes a los atributos “facilidad para viajar con niños o bultos pesados” y “conveniencia en los horarios de viaje”, respectivamente.

**Tabla 3: Análisis Factorial Exploratorio**

| Atributo  | Dimensiones (Factores) |                     |                        | Comunalidad del atributo |
|---|------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
|   | Factor 1: Comodidad    | Factor 2: Seguridad | Factor 3: Conveniencia |                          |
| Aprovechamiento del tiempo para desarrollar actividades | 0,809                  |                     |                        | 0,693                    |
| Comodidad durante el viaje                              | 0,718                  |                     |                        | 0,560                    |
| Relajación durante el viaje                             | 0,713                  |                     |                        | 0,598                    |
| Facilidad para viajar con niños o bultos pesados        | 0,698                  |                     |                        | 0,541                    |
| Puntualidad en el cumplimiento de los horarios          | 0,692                  |                     |                        | 0,512                    |
| Seguridad al viajar                                     | 0,611                  | 0,489               |                        | 0,638                    |
| Seguridad en cuanto a robo en el vehículo               |                        | 0,885               |                        | 0,809                    |
| Seguridad en cuanto a robo en terminales                | 0,357                  | 0,775               |                        | 0,734                    |
| Seguridad en el vehículo                                | 0,519                  | 0,588               |                        | 0,650                    |
| Conveniencia en los horarios de viajes                  |                        |                     | 0,972                  | 0,947                    |
| <b>Varianza explicada de los ítems</b>                  | <b>0,467</b>           | <b>0,110</b>        | <b>0,091</b>           | <b>0,668</b>             |

Método de extracción de factores: se realizó un *análisis de componentes principales* y sobre estos resultados se aplicó el método *ortogonal varimax* para la rotación. No se muestran los coeficientes con valores < 0,30.

Mediante un *análisis factorial exploratorio*, se determinó la existencia de tres factores o variables latentes que explicaron hasta un 67% de la varianza de los diez atributos. La Tabla 3 muestra el porcentaje de varianza explicada por atributo (comunalidad del atributo, última columna), que se mantiene en un rango de 51% y 95%, valores límites correspondientes a los atributos “facilidad

para viajar con niños o bultos pesados" y "conveniencia en los horarios de viaje", respectivamente.

En siete de los 10 atributos los resultados fueron los esperados. El factor 1 representa la dimensión comodidad y explicó el 47% de la varianza de los atributos. El atributo "seguridad al viajar" presentó una carga en este factor muy superior a la teóricamente esperada ( $> 0,30$ ). El factor 2 tuvo un porcentaje de varianza explicada del 11% y representa la dimensión seguridad. Dos de los atributos que conforman este factor – "seguridad en cuanto a robo en terminales" y "seguridad en el vehículo" – presentaron una carga factorial superior a la teóricamente esperada, distribuyendo su varianza entre los factores comodidad y seguridad. El factor 3 fue etiquetado conveniencia horaria y explicó el 9% de la varianza de los atributos.

La variable latente seguridad abarca tanto la seguridad operacional como la seguridad ciudadana. En otras palabras, desde el punto de vista de la percepción, las personas no están haciendo una distinción entre accidentes de transporte y acciones que atenten contra la seguridad ciudadana como dos variables latentes diferentes. La variable latente comodidad también está relacionada con los atributos seguridad: probablemente la capacidad de relajarse y disfrutar un viaje esté íntimamente vinculada a la sensación de seguridad.

La Figura 1 muestra la posición de los participantes en el espacio de factores diferenciando respuestas según tipo de cuestionario completado y medio de transporte seleccionado. Estos valores son los que alimentarán el modelo de elección discreta a estimar en la sección siguiente. Independientemente del medio de transporte seleccionado, los participantes asignaron al tren valoraciones más altas en las dimensiones seguridad y comodidad que aquellas otorgadas al bus (diagrama izquierdo de la Figura 1.a y b). Al contrario, los participantes valoraron más altamente la dimensión conveniencia horaria para el bus que lo hecho para el tren (diagrama derecho de la Figura 1.a y b). Estas tendencias son especialmente marcadas para aquellos participantes que seleccionaron el tren como medio de transporte – resultados resumidos en la Figura 1.b.

Por medio de análisis de comparación de medias se investigó la influencia de las características socioeconómicas de los participantes sobre la posición que éstos ocupan en los espacios factoriales ilustrados en la Figura 1. Se encontró que aquellos participantes con mayor ingreso personal (ingreso mayor a \$450.000) obtuvieron puntuaciones mayores en los factores *comodidad* y *seguridad* que las obtenidas por participantes con menores ingresos (ingreso menor o igual a \$450.000). Al contrario, participantes con menores ingresos tuvieron mayores puntuaciones sobre el factor *conveniencia horaria*. Luego, participantes con mayores ingresos se localizarían preferentemente en el cuadrante superior derecho del espacio formado por los factores *comodidad* y *seguridad* (esquema izquierdo de las Figuras 1.a y 1.b), y en el cuadrante inferior derecho del espacio formado por los factores *conveniencia* y *seguridad* (esquema derecho de las Figuras 1.a y 1.b). Estas diferencias tuvieron significancia estadística ( $p < 0,000001$ ) sólo para el medio de transporte tren y fueron independientes del modo de transporte seleccionado. En general no se encontraron diferencias estadísticamente significativas cuando se siguió el mismo procedimiento para las variables género y edad.

## 5. ESTIMACIÓN DE MODELOS DE ELECCIÓN DE MODAL

La encuesta de preferencias declaradas consistió en administrar tres juegos hipotéticos de elección para un viaje similar al *viaje actual*, en donde el encuestado debía elegir entre tren o bus, variando sólo el costo de viaje y el tiempo de viaje y suponiendo que la calidad del servicio de cada modo era similar a la descrita en la sección 3 de la encuesta. De las 903 elecciones modales correspondientes a usuarios de bus, en 223 se eligió el modo tren. De las 903 elecciones modales correspondientes a usuarios de tren, en 230 casos se eligió el modo bus, observándose una muy exigua diferencia a favor del bus.

Los modelos estimados fueron del tipo Logit Binario y son reportados en la Tabla 4. Puesto que la selección de la muestra se basó en la elección de modo se debería haber ponderado cada observación por un factor inversamente relacionado a su probabilidad de elección a fin de obtener parámetros poblacionales insesgados. Esto no se hizo debido al carácter exploratorio de nuestro análisis. El Modelo 1 contiene dos variables explicativas (costo y tiempo de viaje) y una constante modal (Cte - bus). En este modelo, el parámetro del tiempo de viaje presenta un signo positivo, resultado inconsistente con la teoría. El Modelo 2 cambia la constante modal por dos variables que indican inercia (Usuabus y Usuatren); es decir, la tendencia de los usuarios de bus (tren) a elegir bus (tren) en la elección de preferencias declaradas. La inclusión de estas dos variables tiene un impacto mayor en el ajuste del modelo, produciendo un incremento en la función de verosimilitud de más de 200 puntos. El signo del parámetro del tiempo de viaje es el correcto aunque su nivel de significatividad estadística no es tan alto ( $p = 0,21$ ). El Modelo 3 adiciona los tres factores o variables latentes considerados en la sección anterior: conveniencia, seguridad y comodidad. Este último modelo presenta un leve mejoramiento en su ajuste comparado con el Modelo 2: las variables latentes seguridad y comodidad resultan ser significativas, no así la variable conveniencia. Mejora también la significatividad estadística del parámetro del tiempo de viaje ( $p = 0,14$ ), resultando un valor del tiempo de viaje igual a \$19 el minuto.

Los resultados de los modelos estimados sugieren la presencia de algún elemento que no ha podido ser caracterizado adecuadamente en la modelación. Llama mucho la atención la importancia que adquieren las variables de inercia en el incremento de la función de verosimilitud. La elección en el juego de preferencias declaradas está determinada, en gran parte, por el modo en que viaja la persona al momento de responder la encuesta. Esto podría ser indicio de un importante grado de cautividad por modo de viaje.

Desafortunadamente, no contamos con un modelo que ligue ciertos parámetros objetivos de seguridad y/o comodidad con las percepciones individuales; en otras palabras, no podríamos determinar qué impacto tendrá en la elección modal una mejora en ciertas variables objetivas relacionadas con la seguridad del modo bus (por ej. disminución en el número de accidentes de buses de larga distancia en carreteras)<sup>4</sup>. Sí podemos determinar que el modo bus resigne una cuota de potenciales usuarios por no poder ofrecer mayor seguridad y/o comodidad en sus servicios.

<sup>4</sup> Dada la poca variabilidad de los datos objetivos de seguridad (operacional y ciudadana) por individuo, no siempre es posible estimar un modelo que vincule datos objetivos con datos de percepción subjetiva.

Se estimó también un modelo logit binario en el que se incluyeron los diez atributos cualitativos como variables explicativas. Este modelo presentó un mejor ajuste en cuanto a log-verosimilitud (-978,6) y  $\text{Rho}^2$  (0,216), aunque una comparación directa no es posible hacer puesto que no son modelos anidados. En cuanto a las variables cualitativas, aquéllas cuyos estadísticos-t fueron superiores a 1,19 tuvieron los signos correctos (*aprovechamiento del tiempo, puntualidad, seguridad* en el vehículo/coche tren, *seguridad* en cuanto a robo/hurto al interior del vehículo/coche tren, *seguridad* en cuanto a robo/hurto en Terminales), excepto una (*seguridad al viajar*). Como precaución, recordemos que en regresión lineal, la multicolinealidad entre variables explicativas vuelve difícil la interpretación de los parámetros individuales estimados<sup>5</sup> (Maddala, 1992), problema que *a priori* esperaríamos que también se manifieste en modelos de elección discreta. Desde el punto de vista de la interpretación de resultados, creemos que el modelo propuesto de variables latentes es superior a un modelo en que cada atributo es tratado como una variable explicativa más.

**Tabla 4: Modelos logit-binario estimados**

| Título               | Modelo 1       | Modelo 2       | Modelo 3       |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Cte – bus            | -0,280 (-2,4)  |                |                |
| Conveniencia horaria |                |                | -0,0131 (-0,3) |
| Seguridad            |                |                | 0,195 (3,1)    |
| Comodidad            |                |                | 0,111 (1,8)    |
| Costo                | -7,0e-5 (-2,6) | -4,8e-5 (-1,5) | -5,2e-5 (-1,7) |
| Tiempo de Viaje      | 0,0019 (2,5)   | -7,3e-4 (-0,8) | -9,8e-4 (-1,1) |
| Usuabus              |                | 0,946 (6,5)    | 1,1 (6,7)      |
| Usuatren             |                | 1,25 (8,8)     | 0,879 (4,6)    |
| Observaciones        | 1.800          | 1.800          | 1.800          |
| Log-verosimilitud    | -1.240,8       | -1.012,8       | -1.007,2       |
| $\text{Rho}^2(c)$    | 0,005          | 0,188          | 0,193          |

En paréntesis figuran los estadísticos-t.

Por último, hicimos estimaciones utilizando el modelo logit-mixto que permite considerar correlación entre las elecciones correspondientes a un mismo individuo (Train, 2003). Si bien logramos un mejor ajuste, los resultados no son fáciles de interpretar, por lo que dichos modelos han sido descartados.

## 6. CONCLUSIONES

Mediante el uso de un modelo de *análisis factorial exploratorio* hemos podido determinar tres variables latentes que las personas asocian a cada modo de transporte: seguridad (tanto operacional como ciudadana), comodidad y conveniencia de los horarios de viaje. Estas variables

<sup>5</sup> Y justamente una de las soluciones posibles es recurrir al uso del análisis de componentes principales.

luego alimentaron un modelo de elección modal. De las tres variables latentes, la seguridad y la comodidad resultaron tener peso en la elección de modo de transporte para viajes en transporte público hacia el sur del país.

Hemos visto una manera de enriquecer los modelos de elección discreta a fin de considerar funciones de utilidad más complejas que permitan incorporar en el análisis variables cualitativas usualmente ignoradas. Como trabajo futuro, hemos de estimar de manera simultánea el modelo de variables latentes y el modelo de elección discreta mediante el planteamiento de una función de verosimilitud conjunta a fin de obtener estimadores máximo verosímiles eficientes.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero brindado por el Fondo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas a través del proyecto 1020981 y por la Empresa de los Ferrocarriles del Estado.

## REFERENCIAS

- Ashok, K., W. Dillon y S. Yuan (2002) Extending discrete choice models to incorporate attitudinal and other latent variables. *Journal of Marketing Research* 39, 31-46.
- Bollen, K. (1989) **Structural Equations with Latent Variables**. John Wiley & Sons, New York.
- Díaz de Rada, V. (2002) **Técnicas de Análisis Multivariante para Investigación Social y Comercial**. Universidad Pública de Navarra. Madrid.
- Gorsuch, R. (1983) **Factor Analysis**. Erlbaum. Hillsdale, N.J.
- Kaiser, H.F. (1974) An index of factorial simplicity. *Psychometrika* 39, 31-36.
- McFadden, D. (1986) The choice theory approach to market research. *Marketing Science* 5, 275-297.
- Ortúzar, J. de D., y L.G. Willumsen (2001) **Modelling Transport 3<sup>rd</sup> Edition**. John Wiley and Sons, Chichester.
- Maddala, G. (1992) **Introduction to Econometrics 2<sup>nd</sup> Edition**. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Pla, L. (1986). **Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales**. OEA, Washington, D.C.
- Walker, J. (2001) Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures and Latent Variables. PhD Thesis, MIT.

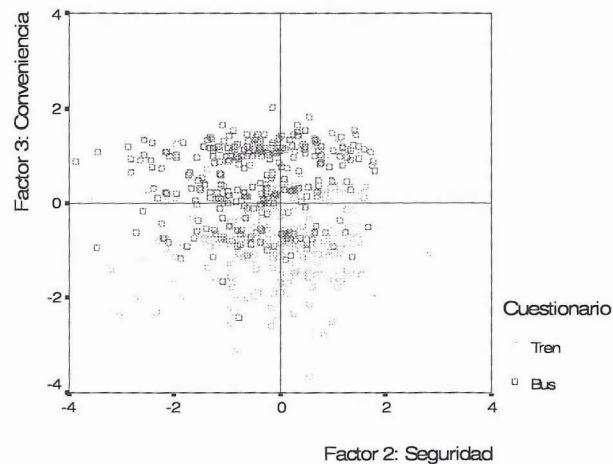
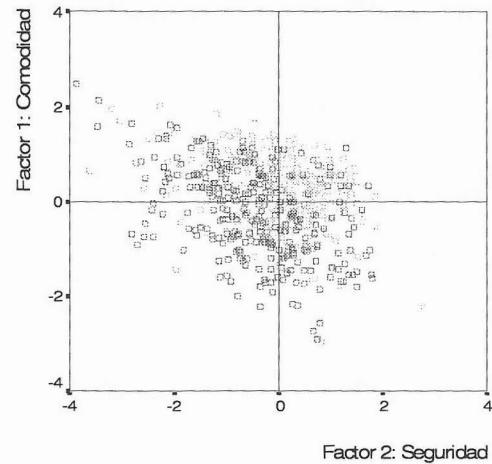
Train, K. (2003) **Discrete Choice Methods with Simulation**. Cambridge University Press, Cambridge.

Yela, M. (1997) **La Técnica del Análisis Factorial: Un Método de Investigación en Psicología y Pedagogía**. Editorial Biblioteca Nueva, Madrid.

Tabla 2: Resumen estadístico sobre la evaluación de los atributos de calidad de servicio de los pasajeros encuestados según modo

**Figura 1: Posición de cada encuestado en el espacio de factores según medio de transporte elegido**

a) Medio de transporte seleccionado: Bus



b) Medio de transporte seleccionado: Tren

