

# El Papel de los Factores Contextuales, Socioeconómicos y Sicológicos en la Elección de Modo. Un Estudio de Caso en Concepción

Alejandro Tudela

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción  
Casilla 160 C, Correo 3, Concepción, Chile. Tel.: (+5641) 2203601  
atudela@udec.cl

Ricardo A. Daziano

School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University  
305 Hollister, Ithaca, NY 14853, USA. Tel.: (+1607) 2552018  
daziano@cornell.edu

Juan Antonio Carrasco

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción  
Casilla 160 C, Correo 3, Concepción, Chile. Tel.: (+5641) 2203603  
j.carrasco@udec.cl

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar el rol de los aspectos subjetivos sobre el proceso de elección de modo de transporte, utilizando el enfoque de las variables latentes, en el marco de la Teoría del Comportamiento Interpersonal de Triandis. Esta teoría señala que la conducta observada es el resultado de la interacción entre una intención a desarrollar una conducta, las condiciones de contexto que rigen las decisiones y el hábito desarrollado por las personas. La intención es explicada por tres factores: de actitud, de afecto y sociales. La medición de los factores que generarían la intención, así como el hábito no razonado, requieren el uso de instrumentos desarrollados en la psicología social. Este tipo de variables y su medición justifican el uso del enfoque de variables latentes para efecto de modelación.

Datos del afecto y actitud, además del hábito y los aspectos de contexto, respecto a la partición modal, fueron recolectados los años 2007 y 2008, donde las encuestados correspondieron a personal de la Universidad de Concepción, Chile. Diferentes modelos de demanda fueron estimados, contrastando especificaciones simples con modelos más complejos y que incorporan las variables de personalidad a través del enfoque de variables latentes, con estimación simultánea de los coeficientes. Aunque el tamaño de la muestra utilizada es relativamente bajo (231 registros), los resultados permiten observar que las variables psicológicas, específicamente la actitud en este caso, ayudan a explicar la conducta, revelando de paso la importancia real de variables como el costo y los tiempos.

*Palabras claves:* Factores sicológicos, variables latentes, elección modal, Triandis, estimación simultánea.

## ABSTRACT

The goal of this work is to analyze the role of subjective factors on the mode choice process, using the latent variables approach, framed in the Theory of the Interpersonal Behaviour (TIB) proposed by Triandis. This theory states that the observed behaviour is the result of the interaction among the intention to develop a conduct, the context factors constraining the decision and the anchored habit of the person. Intention is explained through three factors: attitudinal, affective and social.

The measurement of these factors and non reasoned habit are carried out using tools and procedures from the social psychology. A latent variables approach must be used for modelling purposes due to the nature of these variables.

Data about attitude, affection, habit and context factors, regarding modal split, were collected among Universidad de Concepcion staff, Chile, in 2007 and 2008. Different models were estimated using this data, ranging from very simple to more complex model specifications, which incorporated the latent variables, using simultaneous estimation of coefficients. Although the sample size is relatively small (231 records), results show that psychological attributes help to explain behaviour, in particular the attitudinal one, revealing the true importance of the cost and time variables associated with the modes.

*Keywords:* Psychological factors, latent variables, mode choice, Triandis, simultaneous estimation

## 1. INTRODUCCIÓN

La elección de modo de transporte puede ser caracterizada como una conducta gatillada por varios aspectos: personales (actitud, por ejemplo), habituales, sociodemográficos (ingreso y otros), de contexto (propósito del viaje, realización de cadenas de viajes y otros) y de los modos (costos, tiempos y similares). Estos aspectos pueden ser incorporados dentro de un marco teórico general, basado en la maximización de la utilidad, para así modelar y entender la conducta observada. Mientras que algunos de estos aspectos pueden ser representados o medidos objetivamente, como son las variables del nivel de servicio, el propósito, etc., existen otras variables, conocidas como latentes, que sólo pueden ser capturadas indirectamente a través de instrumentos *ad hoc*. A este último grupo corresponden todas aquellas variables que permiten describir al individuo, en términos afectivos, de actitud y sociales.

El objetivo de este trabajo es analizar el rol de algunos aspectos subjetivos sobre el proceso de elección de modo de transporte, utilizando el enfoque de las variables latentes, las que están definidas en el marco teórico proporcionado por la Teoría del Comportamiento Interpersonal, desarrollada por Triandis. Esta teoría señala que la conducta observada es el resultado de la interacción entre una intención a desarrollar una conducta, las

condiciones de contexto que rigen las decisiones (aspectos socio-demográficos, atributos de los modos, restricciones de ingreso, tiempo y familiares, entre muchos otros) y el hábito desarrollado por las personas, entendido este último como una acción repetitiva no razonada. La intención es explicada por tres factores: de actitud, de afecto y sociales. Mientras los dos primeros factores tienen un fuerte componente personal, asociado a las creencias, valores y emociones, el tercero podría estar dominado por el vínculo con terceros.

Datos del afecto y actitud, además del hábito y los aspectos de contexto, respecto a la partición modal, fueron recolectados a través de encuestas los años 2007 y 2008. Los encuestados correspondieron a personal administrativo y académico de la Universidad de Concepción, Chile. Diferentes modelos de demanda fueron estimados, contrastando especificaciones simples con modelos más complejos y que incorporan las variables de personalidad a través del enfoque de variables latentes, con estimación simultánea de coeficientes. Los resultados permiten observar que las variables subjetivas efectivamente ayudan a explicar la conducta observada, cuando se compara con un enfoque de modelación más simple, revelando la importancia real de variables de contexto, como el costo y los tiempos.

El artículo está organizado como se indica. La siguiente sección contiene antecedentes previos relacionados con la teoría del comportamiento interpersonal de Triandis y una descripción acerca de los instrumentos psicométricos usados para medir los diferentes componentes que contiene esta teoría. Además, se explica la estimación simultánea de modelos de elección discreta con variables latentes. En la sección tres se describe la base de datos usada en este trabajo, mientras que en la cuarta sección se detallan y analizan los modelos estimados, para finalizar con las conclusiones y comentarios.

## 2. ANTECEDENTES PREVIOS

### 2.1 Caracterización de la Conducta. La Teoría del Comportamiento Interpersonal de Triandis

La modelación de la elección modal normalmente se ha centrado en estudiar el papel de los atributos que describen las opciones disponibles (ver Ortúzar y Willumsen, 2001; Hensher *et al.*, 2005), aunque se ha reconocido que al momento de elegir un modo existiría una compleja interacción entre creencias, valores, emociones, actitudes, los atributos modales y las restricciones de contexto (Ben Akiva *et al.*, 2002a; Johansson *et al.*, 2006).

Una corriente de investigación ha incluido las características de la personalidad a través del enfoque de variables latentes, permitiendo comprender la importancia de las variables psicológicas en el proceso de elección (Ben Akiva *et al.*, 2002a y 2002b; Bolduc *et al.*, 2008).

La interacción entre factores de actitud, sociales, afectivos, de hábito y contextuales, y el comportamiento observado, se puede estudiar a través de la Teoría del Comportamiento Interpersonal (TIB), postulada por Triandis (1977). Un diagrama que muestra las posibles relaciones entre los factores se muestra en la figura 1.

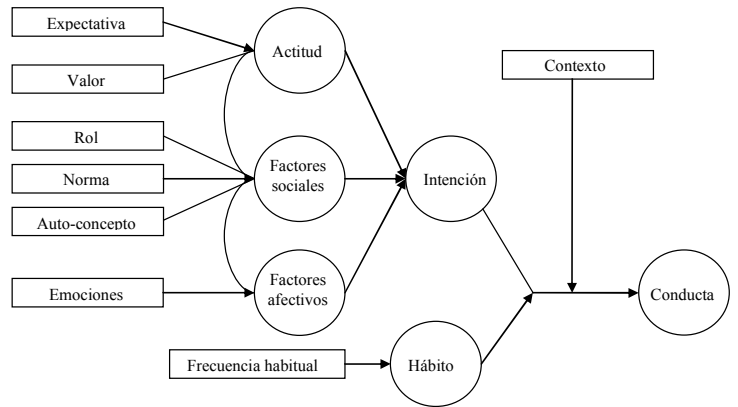


Figura 1: Teoría del Comportamiento Interpersonal de Triandis (TIB)

Fuente: Adaptado de Anable *et al.* (2006)

El diagrama muestra que la intención es la que antecede a la conducta, donde la intención se ve descrita por un conjunto de factores intrínsecos al individuo. A su vez, la intención se ve mediada por el hábito, siendo ambas moderadas por factores contextuales, denominados condiciones facilitadoras (Anable *et al.*, 2006). Los niveles de servicio, el costo del modo, la caracterización sociodemográfica del individuo, e l propósito del viaje, con quien viaja, las cadenas de viaje que realiza, etc., son parte del contexto del viaje.

Si bien existen otros marcos teóricos para estudiar la intención y la conducta (ver por ejemplo Ajzen, 1991), el modelo de Triandis resulta más completo, puesto que identifica un conjunto más amplio de factores que afectarían la intención y el comportamiento final.

Una descripción de los componentes personales presentes en el esquema de Triandis se proporciona a continuación, señalando la metodología utilizada para cuantificarlos.

#### 2.1.1 Actitud

La actitud se entiende como una evaluación personal y duradera de algún aspecto del mundo social (conocido como objeto actitudinal), poseyendo una dirección (positiva o negativa) y una intensidad, las que pueden ser medidas utilizando instrumentos psicométricos *ad hoc*. En específico, el principio expectativa-valor (Reeve, 2005) postula que la actitud hacia la realización de una determinada conducta es una función de las expectativas que tienen las personas sobre los resultados de dicha conducta, y la importancia (valor) que entregan a estos posibles resultados.

La actitud hacia el modo de transporte puede ser medida utilizando escalas Likert de 5 puntos. Para aplicar el principio expectativa-valor se utilizan dos escalas: una mide la expectativa del individuo, en términos del resultado de la conducta (por ejemplo, “para mí, utilizar el auto para llegar al trabajo es bueno”), mientras que la otra mide la importancia que el individuo le entrega a dichos resultados (por ejemplo, “para mí, tener un automóvil para llegar al trabajo es importante”). La actitud se calcula como el producto de estos dos puntajes, generando valores de actitud entre 1 y 25 puntos.

#### 2.1.2 Afecto

Los factores afectivos pueden ser estudiados tomando en cuenta las emociones que evoca en cada persona el viaje en un cierto modo. En específico, un lugar, objeto o evento puede hacer surgir un estado extremo de ánimo, llamado episodio emocional, que es capaz de generar una disposición emotiva a responder de manera

consistente a una situación emocionalmente estimulante. Una valoración afectiva atribuye una cualidad afectiva a una cosa, lugar o evento, llevando como resultado a la adquisición de una actitud hacia dicho objeto (Anable y Gatersleben, 2004).

Para medir la valoración afectiva se puede utilizar el diferencial semántico de Osgood (Osgood *et al.*, 1976), que corresponde a una escala de graduación que intenta capturar el significado connotativo de un concepto de interés. Para ello se establece un conjunto de escalas semánticas con dos extremos, donde cada una de ellas está construida con antónimos perfectos en cada uno de estos extremos. A los encuestados se les solicita indicar la posición relativa del concepto bajo estudio (el modo escogido en este caso) para cada una de las escalas, de acuerdo a una primera impresión. La calificación del concepto en cada una de estas escalas, que constan de siete puntos (por ejemplo, “conocido” = +3 y “desconocido” = -3), permite construir un “espacio semántico”, a partir del cual es posible determinar la valoración afectiva del concepto. La figura 2 muestra un ejemplo de los adjetivos antónimos al evaluar el objeto Bus.

		Modo evaluado = bus								
tranquilo	___	___	___	___	___	___	___	___	___	intranquilo
desconocido	___	___	___	___	___	___	___	___	___	conocido
limpio	___	___	___	___	___	___	___	___	___	sucio

Figura 2: Ejemplo de Diferencial Semántico

Fuente: Adaptado de Osgood *et al.* (1976)

### 2.1.3 Factores Sociales

La TIB postula que existen tres factores que afectan la componente social de la intención: el rol, la norma social y el autoconcepto. El primero alude a la expectativa que tiene un sujeto dado que ocupa una determinada posición social. El segundo factor corresponde a la norma social, ya sea implícita o explícita. Esta norma se basa en el principio de la conformidad, el cual se asocia con tener comportamientos que sean vistos como apropiados en un grupo o sociedad. Una de las normas sociales tácitas que influye en el comportamiento son las llamadas normas descriptivas, que indican al individuo su conducta en comparación a lo que hace la mayoría del grupo al que éste pertenece. El tercer factor es el autoconcepto, que se refiere a la percepción que el sujeto tiene de su desempeño en las relaciones sociales.

Escalas Likert pueden ser usadas para medir los factores de rol y norma, preguntando al encuestado su grado de acuerdo con afirmaciones que describen su rol y apego a la norma social, mientras que el diferencial semántico de Osgood (Osgood *et al.*, 1976), usando los adjetivos apropiados que permitan capturar la disposición del individuo en sus relaciones sociales, puede ser usado para medir el autoconcepto.

### 2.1.4 Hábito

El hábito juega un rol importante en la determinación del comportamiento, de acuerdo a la teoría de Triandis, y como ha sido verificado por Domarchi *et al.* (2008) y Gardner (2009). La conducta no siempre está precedida por una intención conductual, por lo que la frecuencia habitual podría predecir el comportamiento con mayor precisión que la intención. Además, el comportamiento habitual tiene características subóptimas, debido a la falta de búsqueda y procesamiento de información respecto de las alternativas disponibles, implicando que no necesariamente una conducta frecuente está asociada a una acción razonada (Bämborg *et al.*, 2003).

Un hábito emerge de un contexto situacional estable, pudiendo generalizarse a diversas situaciones donde la estabilidad

no es requisito para que persista el comportamiento. El cuestionario respuesta-frecuencia de Verplanken es el instrumento utilizado para medir frecuencia habitual (Verplanken *et al.*, 1994), el que consiste en una lista de actividades no relacionadas (por ejemplo, visitar un amigo o ir al cine), pidiendo al encuestado indicar el modo que utilizaría para desarrollar cada una de ellas. A partir de estos resultados es posible calcular un índice para el hábito por cada modo, a través de la frecuencia con que el entrevistado señaló utilizar cada modo de transporte para las distintas actividades.

Para efecto de este trabajo sólo se dispone de información acerca de los factores de actitud, afecto y hábito, además de los contextuales. Además, resulta claro que es necesario usar un enfoque de variables latentes para la incorporación de los factores personales en los modelos de elección discreta dado el mecanismo de medición utilizado.

## 2.2 Estimación Simultánea de Modelos de Elección Discreta con Atributos Latentes

La representación econométrica de factores psicológicos como atributos relevantes de un modelo de elección discreta consiste en un sistema de ecuaciones que considera de forma simultánea la ecuación estructural de la utilidad indirecta de las alternativas, es decir, un modelo de elección discreta convencional del tipo:

$$U_{in} = \theta_i + \theta_1 x_{1n} + \dots + \theta_K x_{Kn} + \theta_{K+1} z_{1n}^* + \dots + \theta_{K+L} z_{Ln}^* + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

con un modelo de variables latentes que reconoce que no se cuenta con observaciones para los  $L$  atributos latentes  $z^*$ . En efecto, el modelo de variables latentes considera que en vez de observar  $z^*$ , el investigador puede medir indirectamente su efecto a través de indicadores  $I$  que manifiestan el comportamiento de los atributos no observables a través de una ecuación del tipo:

$$I_{rn} = \lambda_{1r} z_{1n}^* + \dots + \lambda_{Lr} z_{Ln}^* + v_{rn} \quad (2)$$

donde los parámetros  $\lambda$  se denominan factores de carga; para más detalles del sistema de ecuaciones, ver Bolduc y Daziano (2010).

En la literatura de elecciones discretas hay ejemplos bastantes tempranos en los que se trata de incorporar atributos latentes en la función de utilidad (Koppelman y Hauser, 1978; Prashker, 1979). Sin embargo, en la mayor parte de los estudios previos –incluyendo algunos estudios recientes– se considera estimadores basados en un método secuencial, donde un modelo de variables latentes es estimado en primera instancia, y luego valores predichos para los atributos latentes son introducidos de forma exógena en el modelo de elección. Sin embargo, el método secuencial de estimación falla al no considerar que los atributos latentes son endógenos al modelo, y los estimadores resultantes pierden en eficiencia y convergencia estadística (McFadden, 1986).

La razón técnica para la pérdida de las propiedades de eficiencia y convergencia se encuentra en que el método secuencial es una solución que utiliza información limitada. Sólo utilizando un estimador que explote información completa se puede asegurar que el estimador mantenga buenas propiedades estadísticas. A pesar de que hay algunos ejemplos en los que el grado de inconsistencia del estimador secuencial es menor (Train *et al.*, 1986; Raveau *et al.*, 2010), otros resultados empíricos muestran que puede haber una brecha importante entre el parámetro verdadero de los modelos y el vector de parámetros estimados (Gibson and Burton, 2009).

Aún más, el método secuencial puede conducir a una estimación inconsistente de disposiciones a pagar y problemas en la recuperación de los errores estándar (Raveau *et al.*, 2010).

McFadden (1986) fue el primero en proponer la idea de estimar un modelo de elección discreta con atributos latentes de forma simultánea usando máxima logverosimilitud simulada. El trabajo de Ben-Akiva, Walker, y Bolduc revitalizó el interés en la estimación simultánea de los denominados modelos híbridos de elección (Ben-Akiva *et al.*, 2002b; Bolduc *et al.*, 2005). A pesar de las ventajas del estimador simultáneo en términos de buenas propiedades estadísticas, la solución del problema de máxima logverosimilitud simulada con información completa es compleja de implementar. En particular, este hecho explica el reducido número de aplicaciones empíricas que usan este estimador (Dannewald *et al.*, 2007; Bolduc y Daziano, 2010; Habib *et al.*, 2011).

A pesar de que, tal como se señala en el párrafo anterior, el estimador máximo verosímil es complejo en su implementación, en teoría es relativamente sencillo de describir. De hecho, explota los mismos conceptos de simulación de Monte Carlo que se utiliza para la estimación de un modelo logit mixto. En general para un modelo paramétrico es posible escribir la función de verosimilitud  $\ell(\theta; y|X) = f(\theta; y_1, \dots, y_N|X)$ , donde  $y_n$  representa el indicador de elección para todo individuo  $n$  en la muestra de tamaño  $N$ ,  $X$  es una matriz de atributos y  $\theta$  es el vector de parámetros del modelo de elección discreta. En el caso de un modelo de elección con atributos latentes, no sólo se observa los atributos y los indicadores de elección, pero también se observa los indicadores de efecto que manifiestan los atributos latentes. Es decir, la verosimilitud de interés es  $\ell(\delta; y, I|X, W)$ , donde  $\delta$  representa el vector completo de parámetros del modelo, incluyendo la utilidad marginal de los atributos latentes,  $I$  es el vector de indicadores de efecto de  $z^*$ , y  $W$  es una matriz de eventuales indicadores causales de los atributos latentes. Luego, para un modelo de elección con atributos latentes, la muestra contiene la información  $(y, I|X, W)$ , y el estimador máximo verosímil es aquél  $\hat{\delta}_{EMV}$  que maximiza  $\ell(\delta; y, I|X, W)$ .

Los detalles del estimador máximo verosímil se encuentran en Bolduc y Daziano (2010). Sin embargo, a continuación se exponen los principales lineamientos necesarios para su implementación. En particular, se debe notar que:

$$\ell(\delta; y, I|X, W) = \prod_{n=1}^N \prod_{i=1}^J P_n(i, I|X, W, \delta)^{y_{in}}, \quad (3)$$

donde  $P_n(i, I) \equiv P(y_{in} = 1, I_n)$  es la probabilidad conjunta de observar que el individuo escoja la alternativa  $i$  y que reporte  $I$  como indicadores de efecto observados. El problema con la probabilidad conjunta es que depende de valores no observados. Por ello, se deben considerar todos los valores posibles que pueden tomar los atributos latentes, dada la función de densidad  $g(z^*)$ , que a su vez dependen de la densidad probabilística de los indicadores  $f(I)$ , i.e.

$$P_n(i, I|X, W, \delta) = \int_{z^*} P_n(i|X, z^*, \theta) f(I) g(z^*) dz^*, \quad (4)$$

donde  $P_n(i|X, z^*, \theta)$  es la probabilidad de elección definida por el modelo de elección discreta convencional (nótese que esta probabilidad es condicional en los atributos latentes). Luego, si se asume que  $\varepsilon_{in}$  en la ecuación (1) es IID valor extremo de tipo I,  $P_n(i|X, z^*, \theta)$  adquiere la tradicional forma de la probabilidad de elección de un logit multinomial. Notar que, aunque  $P_n(i|X, z^*, \theta)$  tenga una expresión cerrada tipo MNL, la probabilidad conjunta

de interés  $P_n(i, I|X, W, \delta)$  es una integral con una expresión abierta. Por ello, para evaluar la integral se recurre a simulación de Monte Carlo (ver McFadden, 1986), donde la integral multidimensional es reemplazada por un estimador eficiente, convergente, y asintóticamente normal.

Si  $P_n(i|X, z^*, \theta)$  es la probabilidad de elección de un MNL, si se genera una muestra  $r$  de los atributos latentes (usando la distribución de probabilidad de  $z^*$ ), la probabilidad  $P_n(i|X, z^{(r)}, \theta)$  se calcula fácilmente. La media empírica resultante luego de  $R$  repeticiones de este proceso provee un estimador válido de la verdadera probabilidad. Finalmente, para estimar  $\hat{\delta}_{EMV}$  se maximiza la función de verosimilitud simulada

$$\ell(\delta; y, I|X, W) = \prod_{n=1}^N \prod_{i=1}^J \left[ \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R P_n(i|X, z^{(r)}, \theta) \right]^{y_{in}}. \quad (5)$$

Si bien la ecuación (5) utiliza el mismo principio que el estimador de máxima verosimilitud simulada que un logit mixto, su solución es más compleja. De hecho, la optimización numérica requiere de las expresiones analíticas del gradiente y de la matriz Hessiana de la función objetivo. Si se utiliza aproximaciones numéricas, el estimador generalmente presenta problemas de convergencia.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

La información usada en este trabajo proviene de una encuesta diseñada el año 2007 y aplicada en los meses de enero de los años 2007 y 2008. Los encuestados correspondieron a una muestra aleatoria de académicos, investigadores y administrativos de la Universidad de Concepción, campus Concepción, Chile, los que fueron contactados inicialmente vía correo electrónico, para ser entrevistados más tarde en sus puestos de trabajo. Las preguntas usaron como viaje de referencia el primero de la mañana al trabajo, el día de aplicación de la encuesta. La información recolectada fue acerca del modo usado, los modos disponibles, sociodemografía del entrevistado y preguntas para medir los aspectos personales de interés: actitud, afecto y hábito.

La muestra original contenía 409 registros, la que se redujo a 231 luego de un proceso de verificación de consistencia y usabilidad. Aquellos que caminaron para llegar a su trabajo o que usaron modos con partición modal muy baja fueron excluidos del análisis. De estos 231 registros finales, 190 corresponden a usuarios de automóvil y 41 a usuarios de transporte público. La muestra final contiene un 50.4% de hombres, con una edad promedio de 47.6 años y una desviación estándar de 11 años. Un 52% corresponde a académicos e investigadores, y un 48% a administrativos. Ciertamente, esta muestra no es representativa de la población de la ciudad de Concepción ni de Chile. Los resultados que se obtengan a partir de esta muestra caracterizan a personas que trabajan en un ambiente universitario en la ciudad de Concepción.

Respecto a las variables psicológicas, la actitud fue medida usando el principio de la expectativa-valor, usando escalas Likert de 5 puntos para medir cada componente. El afecto fue medido usando el diferencial semántico de Osgood, utilizando 16 pares de adjetivos antónimos, que caracterizan 4 dimensiones del afecto: potencia, control, activación y evaluación. El hábito fue determinado usando el cuestionario frecuencia respuesta de Verplanken, que contenía 10 situaciones hipotéticas. Información detallada acerca de las encuestas y los encuestados puede ser encontrada en Domarchi (2007) y Escobar (2008).

La actitud fue medida para el modo automóvil y el transporte público, siendo o no usuario de ellos el día de la aplicación de la encuesta. La dimensión afectiva fue registrada también para el modo alternativo que podría ser usado en caso que el modo utilizado el día de la encuesta no hubiese estado disponible.

La determinación de las variables del nivel de servicio y costos, para el modo usado y los alternativos, se determinaron apoyándose en un SIG y con datos provistos por las autoridades de transporte del Gran Concepción. La Tabla 1 contiene un resumen de esta información.

Tabla 1: Descripción del Nivel de Servicio y Costos

Variable	Promedio	Desviación Estándar	Mediana
Costo Auto Chofer (CL\$)	1.032	585	893
Costo Bus (CL\$)	399	36	410
Costo Taxi Colectivo (CL\$)	396	42	400
Tiempo Viaje Auto Chofer (min)	14	5	15
Tiempo Viaje Auto Pasajero (min)	14	5	15
Tiempo Viaje Bus (min)	21	9	20
Tiempo Viaje Taxi Colectivo (min)	17	7	15
Tiempo Espera Bus (min)	4	2	2
Tiempo Espera Taxi Colectivo (min)	5	2	5
Tiempo Caminata Bus (min)	7	3	7
Tiempo Caminata Taxi Colectivo (min)	7	2	7

1USD = 500 CL\$ (Enero 2008)

#### 4. ESPECIFICACIÓN, ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE MODELOS

Utilizando la expresión de la máxima verosimilitud simulada de la ecuación (5) se procedió a estimar distintas especificaciones para el sistema de ecuaciones del modelo de elección discreta y de los atributos latentes.

Tal como se discutió en la sección anterior, en la encuesta se recolectó información que permite medir tres factores psicológicos relevantes de acuerdo a la teoría de Triandis, a saber: afecto, actitud, y hábito. Es decir, en nuestro modelo se considera como variables latentes a estas tres dimensiones. Como son factores psicológicos que no es posible observar ni medir directamente, se utilizan distintos indicadores de efecto para su manifestación.

En particular, el afecto está representado por las cuatro dimensiones principales: evaluación, potencia, activación y control, variables construidas a partir de la agregación del diferencial semántico de Osgood de 16 pares de adjetivos antónimos; los indicadores de actitud son expectativa y valor; mientras que los indicadores de hábito fueron construidos a partir de la encuesta frecuencia respuesta de Verplanken.

Como las expectativas y valores fueron reportados para auto y bus, en nuestro modelo construimos actitudes separadas para estos dos modos. En el caso de hábito, la distinción se hace entre auto, bus, y otros.

Si bien se efectuaron estimaciones con distintas especificaciones, el modelo final resultante es aquel que considera la estimación simultánea de los factores de carga y los parámetros del modelo de elección discreta, incluyendo no sólo los atributos observables de costo, tiempo de viaje, y tiempo de espera, sino también los factores psicológicos. Aunque el modelo fue estimado de forma simultánea, presentamos primero el resultado del modelo de variables latentes y luego los parámetros del modelo de elección discreta.

La Tabla 2 contiene los factores de carga y la varianza del término de error para cada indicador de la ecuación estructural de los atributos latentes, es decir, los parámetros de las ecuaciones del tipo dado en la ecuación (2)

Tabla 2: Factores de Carga y Varianza de los Atributos Latentes

Atributo latente	Indicador	Usuarios de auto		Usuarios de transporte público	
		Factor de carga	Varianza	Factor de carga	Varianza
Afecto	Evaluación	1.000 (NA)	0.612 (13.010)	1.000 (NA)	0.632 (5.104)
	Potencia	0.745 (7.591)	0.810 (15.013)	0.746 (4.104)	0.729 (5.856)
	Activación	0.824 (10.687)	0.520 (11.175)	0.638 (4.946)	0.570 (6.392)
	Control	0.994 (10.052)	0.702 (15.468)	0.896 (3.729)	0.756 (4.550)
Actitud auto	Expectativa auto	1.000 (NA)	0.604 (14.474)	0.541 (1.827)	0.604 (5.363)
	Valor auto	0.663 (3.830)	0.663 (7.608)	1.000 (NA)	0.889 (3.897)
Actitud bus	Expectativa bus	1.000 (NA)	0.836 (8.803)	0.249 (0.146)	0.631 (8.397)
	Valor bus	0.593 (1.668)	1.031 (15.004)	1.000 (NA)	1.162 (4.472)
Hábito	Hábito auto	1.000 (NA)	0.060 (4.798)	1.000 (NA)	0.132 (3.054)
	Hábito bus	-0.688 (-8.010)	0.109 (13.884)	-0.837 (-2.187)	0.140 (3.389)
	Hábito otros	-0.244 (-3.356)	0.101 (13.692)	0.141 (0.404)	0.157 (4.927)

Estadístico-t entre paréntesis

En este trabajo no se consideraron indicadores causales. Por ello, el modelo de las variables latentes es equivalente a un análisis factorial integrado con el modelo de elección discreta. Para asegurar que el modelo sea identificable, al menos uno de los factores de carga por atributo latente tiene que ser normalizado. Por ello, algunos de los factores de carga fueron fijados en un valor igual a uno. Si bien los resultados son comparables con el resultado de la estimación secuencial usando el software LISREL reportada en Galdames *et al.* (2011), al estimar el modelo de forma simultánea se observa algunas diferencias en los factores de carga. En particular, las varianzas de los factores de hábito son considerablemente menores.

Los factores de carga pueden interpretarse como una medida de la importancia dada a cada indicador. Así, por ejemplo, para los usuarios de auto y bus, la dimensión afectiva más relevante es la evaluación, siendo el control la segunda más relevante, mientras que la menos importante es la potencia para usuarios de automóvil y la activación para usuarios de bus. Al comparar entre modos, para cada una de las cuatro dimensiones, se observa que los usuarios de auto le dan una mayor importancia relativa a la dimensión activación del afecto respecto a los usuarios de bus.

Por otra parte, la expectativa es más relevante que el valor para los usuarios de auto, ocurriendo lo opuesto para usuarios de transporte público, lo que implica que para los usuarios de automóvil resulta bueno usar su automóvil y eventualmente el bus, mientras que para los usuarios de transporte público, lo relevante es lo importante que es usar el bus y eventualmente tener acceso a un automóvil. Esto último puede estar asociado a la posible cautividad de los usuarios de transporte público para alcanzar su lugar de trabajo, constituyendo en sí una posible fuente de riesgo en el desarrollo de sus actividades.

Relativo al hábito, los usuarios de automóvil tienen un peso negativo respecto a los otros modos, lo que estaría denotando cierta cautividad respecto al modo usado, mientras que el resultado para los usuarios de transporte público arroja que estos usuarios presentan un hábito positivo para el auto y otros modos, es decir, si existe la posibilidad de usar otras alternativas modales al bus para desarrollar sus actividades, así lo harán.

Si bien se intentó estimar modelos considerando los cuatro atributos latentes, cuando se incluyó afecto y hábito, el parámetro de costo resultó no significativamente distinto de cero.

Por otro lado, se intentó calibrar modelos con interacciones entre los atributos latentes y las variables de nivel de servicio. Sin embargo, dichos modelos no convergieron. Por ello, se reporta sólo el modelo que incluye las actitudes hacia el modo escogido. Este modelo coincide con el mejor modelo encontrado utilizando el enfoque secuencial (Galdames *et al.*, 2011).

La Tabla 3 contiene los resultados del mejor modelo de elección discreta encontrado. La tabla presenta además los resultados de un modelo logit multinomial sin atributos latentes, y los resultados del modelo incorporando la actitud hacia el modo escogido, pero utilizando el método secuencial de estimación.

Lo primero que puede verse es que el modelo que incorpora la actitud latente ofrece un mejoramiento notable de la función de verosimilitud. A su vez, tal como se reporta en Galdames *et al.* (2011), las utilidades marginales en el caso del modelo híbrido presentan valores más realísticos. Por ejemplo, la razón entre la valoración del tiempo de espera y el tiempo de viaje para el modelo híbrido estimado de forma simultánea es alrededor de 3.5, mientras que para el modelo logit multinomial, la razón es de 5.5, lo que aparece como una sobreestimación si se compara con valores habituales. De la misma forma, los valores del tiempo obtenidos a partir de los parámetros del modelo son más creíbles en los casos que consideran la actitud latente. Por ejemplo, el valor del tiempo es de 9.68 \$/min para el modelo simultáneo, mientras que para el logit multinomial se obtiene 5.87 \$/min. Este último valor aparece como una subestimación si se compara con valores del tiempo obtenidos para la ciudad de Concepción en otros estudios.

Finalmente, nótese el mejoramiento del estadístico-t para los resultados de la estimación simultánea. Si bien este mejoramiento no es dramático, es una prueba de la pérdida de eficiencia estadística del método secuencial. En particular, mientras el tiempo de viaje no es estadísticamente distinto de cero para el modelo secuencial, dicho parámetro sí resulta significativo cuando el modelo es estimado de forma simultánea.

**Tabla 3: Modelo de Elección Discreta**

Atributo	MNL	Modelo Híbrido Secuencial	Modelo Híbrido Simultáneo
Constante específica del auto	2.69 (8.3)	2.62 (7.4)	2.49 (7.4)
Constante específica del bus	3.74 (1.7)	4.00 (1.6)	4.11 (1.7)
Constante específica del taxi colectivo	4.41 (1.9)	4.50 (1.7)	4.63 (1.8)
Costo de viaje	- 0.0080 (-1.5)	-0.0117 (-2.0)	-0.0100 (-2.0)
Tiempo de viaje	-0.047 (-1.1)	-0.108 (-1.8)	-0.110 (-2.0)
Tiempo de espera	-0.258 (-1.9)	-0.407 (-2.2)	-0.390 (-2.2)
Actitud	NA	1.97 (4.7)	1.99 (5.0)
Logverosimilitud	-93.1	-63.4	-63.1

Estadístico-t entre paréntesis

## 5. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En transporte, la toma de decisiones por parte de los usuarios son típicamente modeladas utilizando teorías microeconómicas del comportamiento. Las actitudes, así como otros factores contextuales y psicológicos, incluyendo afecto y hábitos, no se pueden observar ni medir directamente, por lo que los modelos económicos del comportamiento en general no incluyen este tipo de variables. Sin embargo, de acuerdo a teorías sicosociales, las actitudes, afectos, y hábitos son un antecedente relevante para explicar comportamiento. Esto significaría que la inclusión de atributos observables, omitiendo factores inobservables, produciría estimadores sesgados debido a problemas de endogeneidad.

Una forma analítica de introducir atributos latentes, como los factores psicológicos relevantes de acuerdo a la teoría de Triandis, en un modelo económico de comportamiento es trabajar con modelos híbridos de elección. Los modelos híbridos son representados económicamente a través de un sistema de ecuaciones que consideran de forma simultánea un modelo de elección discreta y un modelo de variables latentes para los atributos no observables. Si bien la literatura presenta ejemplos de dicha integración, los parámetros son típicamente estimados de forma secuencial. El problema con la estimación secuencial es el riesgo potencial de perder eficiencia estadística y convergencia del estimador.

En este trabajo se aplicó el estimador simultáneo al problema simultáneo de análisis factorial de las variables latentes y el modelo de elección discreta, para un caso particular de elección modal en la ciudad de Concepción. Si bien los resultados no son dramáticamente distintos a los obtenidos con el método secuencial, sí se observan algunas diferencias en los factores de carga y en particular en las varianzas estimadas. Por otro lado, se observa un leve mejoramiento en la eficiencia del estimador.

Si bien el estimador simultáneo debe preferirse en general por asegurar mejores propiedades estadísticas, su implementación es compleja requiriendo máxima verosimilitud simulada con cálculo directo de las primeras y segundas derivadas. Aún así, se puede encontrar problemas de convergencia, como fue el caso en este trabajo al tratar de estimar un modelo con interacciones entre los atributos latentes y las variables de nivel de servicio. Sin embargo, debe notarse que el tamaño de la muestra utilizado es pequeño. Esto conduce a dos posibles extensiones. La primera, trabajar con una muestra más grande para asegurar un mejor comportamiento del estimador. La segunda es utilizar estimadores bayesianos, que tienen la propiedad de ser exactos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Programa de Financiamiento Basal para Centros de Excelencia FBO-16.

## REFERENCIAS

- Ajzen, I. (1991) The theory of planned behaviour. **Organizational Behaviour and Human Decision Processes**. **50**. 179-211.
- Anable, J. y B. Gatersleben (2004) All work and no play? The role of instrumental and affective factors in work and leisure journeys by different travel modes. **Transportation Research A**. **39**. 163-181.
- Anable, J., B. Lane y T. Kelay (2006) **An Evidence Base Review of Public Attitudes to Climate Change and Transport Behaviour**. Final Report. UK Department for Transport. United Kingdom.
- Bämberg, S., D. Rölle y C. Weber (2003) Does habitual car use not lead to more resistance to change of travel mode? **Transportation**. **30**. 97-108.
- Ben Akiva, M., Walker, J., Bernardino, A., Gopinath, D., Morikawa, T. y Polydoropoulou, A. (2002a) Integration of Choice and Latent Variable Models. En Mahmassani, H. (Ed.), **In Perpetual Motion: Travel Behaviour Research Opportunities and Application Challenges**. Elsevier, Amsterdam.
- Ben-Akiva, M., D. McFadden, K. Train, J. Walker, C. Bhat, M. Bierlaire, D. Bolduc, A. Boersch-Supan, D. Brownstone, D. Bunch, A. Daly, A. de Palma, D. Gopinath, A. Karlstrom, y M.A. Munizaga (2002b) Hybrid choice models: progress and challenges. **Marketing Letters**, **13(3)**. 163-175.
- Bolduc, D., M. Ben-Akiva, J. Walker, y A. Michaud (2005) Hybrid choice models with logit kernel: applicability to large scale models. En M. Lee-Gosselin and S. Doherty (Eds.) **Integrated Land-Use and Transportation Models: Behavioral Foundations**. Elsevier, New York.
- Bolduc, D., N. Boucher y R. Alvarez-Daziano (2008) Hybrid Choice Modeling of New Technologies for Car Choice in Canada. **Transportation Research Record**. 2082. 63-71.
- Bolduc, D. y R. Alvarez Daziano (2010) On estimation of hybrid choice models. En S. Hess and A. Daly (Eds.) **Choice Modelling: the state-of-the-art and the state-of-practice**. Emerald. Londres.
- Dannewald, T., M. Paulssen, D. Temme y J. Walker (2007) **Hybrid choice models estimation using canned SEM software**. Working paper. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Domarchi, C. (2007) **Efecto del hábito, la valoración afectiva y la actitud en la elección modal. Una aplicación personal de la Universidad de Concepción**. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.
- Domarchi, C., Tudela, A. y González, A. (2008) Effect of attitudes, habit and affective appraisal on mode choice: an application to university workers. **Transportation**. **35**. 585-599.
- Escobar, M. (2008) **Análisis de la inclusión de variables psicosociales en los modelos de elección modal**. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.
- Galdames, C., A. Tudela, and J.A. Carrasco (2011) Exploring the role of psychological factors on mode choice models using a latent variables approach. **Transportation Research Record**. **2230**. 68-74.
- Gardner, B. (2009) Modelling motivations and habit in stable travel mode contexts. **Transportation Research F**. **12**. 68-76.
- Gibson F. y M. Burton (2009) **Biased estimates in discrete choice models: the appropriate inclusion of psychometric data into the valuation of recycled wastewater**. Working paper. School of Agricultural and Resource Economics, University of Western Australia.
- Habib, K.M.N., Y. Tian, y H. Zaman (2011) Modelling carpooling mode choice with explicit consideration of willingness to consider carpool in choice set by hybrid choice model. **Transportation**. **38**. 587-604.
- Hensher, D., J. Rose y J. Greene (2005) **Applied choice analysis: a primer**. Cambridge University Press. Cambridge.
- Johansson, M, Heldt, T. y Johansson, P. (2006) The effects of attitudes and personality traits on mode choice. **Transportation Research A**. **40**. 507-525.
- Koppelman, F. y J. Hauser (1978) Destination choice behavior for non-grocery-shopping trips. **Transportation Research Record**, **673**. 157-165.
- McFadden, D. (1986) The choice theory approach to market research. **Marketing Science**, **5(4)**. 275-297.
- Ortúzar, J. y L. Willumsen (2001) **Modelling Transport**. 3rd edition. Wiley and Sons, Chichester.
- Osgood, C., G. Suci y P. Tannenbaum (1976) **La Medida del Significado**. Gredos, Madrid.
- Prashker, J. (1979) Mode choice models with perceived reliability measures. *Transportation Engineering Journal*. 105. 251-262.
- Raveau, S, R. Alvarez Daziano, M.F. Yáñez, D. Bolduc, y J. de D. Ortúzar (2010) Sequential and Simultaneous Estimation of Hybrid Discrete Choice Models: Some New Findings. *Transportation Research Record*. 2156. 131-139.
- Reeve, J. (2005) *Understanding Motivation and Emotion*. Wiley and Sons. Hoboken.
- Train, K., D. McFadden, y A. Goett (1986) The incorporation of attitudes in econometric models of consumer choice. Working paper. Cambridge Systematics.
- Triandis, H. (1977) *Interpersonal Behavior*. Brooks and Cole, Monterrey.
- Verplanken, B., H. Arts, A. van Knippenberg, A. y C. van Knippenberg (1994) Attitude versus general habit: Antecedents of travel mode choice. *Journal of Applied Social Psychology*. 24. 285-300.