

# **EL IMPACTO DE VARIABLES DE PERSONALIDAD EN LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y LOS BENEFICIOS DE UN PROYECTO DE TRANSPORTE. UN ESTUDIO DE CASO EN CONCEPCIÓN**

Arnoldo Tapia, Universidad de Concepción, [arnoldoatapia@udec.cl](mailto:arnoldoatapia@udec.cl)

Alejandro Tudela, Universidad de Concepción, [atudela@udec.cl](mailto:atudela@udec.cl)

Juan Antonio Carrasco, Universidad de Concepción, [j.carrasco@udec.cl](mailto:j.carrasco@udec.cl)

## **RESUMEN**

En este trabajo se estudia el impacto de las variables psicológicas sobre la estimación de la demanda y cómo éstas pueden afectar a los beneficios estimados para un proyecto de transporte. La elección se modela en función de las variables de personalidad, hábito y contexto en el marco de la teoría de Triandis. Información de preferencias reveladas fue recolectada en Concepción – Chile, siendo utilizada para estimar modelos de elección discreta. Los resultados muestran que las variables psicológicas mejoran el ajuste de los modelos de demanda, impactando los beneficios de un proyecto de transporte y el resultado del proceso de decisión.

*Palabras Claves:* Teoría de Triandis, variables psicológicas, proyecto de transporte

## **ABSTRACT**

The role of psychological variables on demand and their impact on the benefits estimates for a transport project are analysed in this work. Choice models are expressed as function of personality variables, context and habit, according to the Triandis theoretical framework. Information about revealed preferences was collected in Concepción – Chile and was used to estimate discrete choice models. Results show that psychological variables help to improve the demand model goodness of fit, affecting the benefits of a transportation project and the outcome of the decision process.

*Keywords:* Triandis theory, psychological variables, transport project

## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento del uso del automóvil genera problemas en áreas urbanas, empeorando la calidad de vida de las personas que habitan en ellas. Por este motivo, los planificadores de transporte han propuesto medidas orientadas a disminuir la partición modal de este modo. Sin embargo, la predicción de los modelos resulta diferente con lo observado (Morikawa et al., 1996; Ben Akiva et al., 1999), lo que se puede deber a que los factores explicativos usados para predecir no se condicen completamente con aquellos que efectivamente inciden en la conducta de los viajeros.

En efecto, la conducta en la elección de modo puede ser detonada por factores personales (afecto, actitud, social, entre otros), habituales, socio-demográficos (ingreso, ocupación, etc.), contextuales (propósito del viaje, etc.) y el nivel de servicio de los diversos modos (costo, tiempo, etc.). Todos estos aspectos deberían ser incorporados en un modelo, para poder explicar la conducta observada y predecirla. Aunque algunos de ellos se pueden medir objetivamente, tal como los niveles de servicio de los modos, hay otros que no pueden ser capturados directamente, como son los factores de personalidad. Las variables asociadas a estos factores son conocidas como latentes, ya que sólo se pueden capturar de forma indirecta, a través de instrumentos ad hoc.

Por otro lado, algunas medidas orientadas a favorecer la partición modal de modos más sustentables son sometidas a evaluación social para analizar la factibilidad económica de éstas. En Chile, el Estado define una metodología de evaluación social para los proyectos de transporte urbano. Usualmente estos proyectos son evaluados a nivel táctico, considerando solo beneficios por ahorros de costos de operación, sin considerar posibles cambios en la partición modal. Dado lo anterior, resulta interesante considerar los cambios en la partición modal al tomar en cuenta los factores de personalidad, analizando el impacto en la evaluación económica de un proyecto de transporte.

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto de los factores de personalidad en el proceso de modelación de la elección de modo de transporte, según la Teoría del Comportamiento Interpersonal de Triandis, estudiando el impacto en la demanda y la rentabilidad de un proyecto real de transporte orientado a fomentar el uso del transporte público.

Las variables que explican la intención, además de los factores contextuales y socio demográficos, fueron recolectadas a través de encuestas realizadas a habitantes de la ciudad de Concepción en dos periodos. En el primer periodo, se encuestó al personal de la Universidad de Concepción, los años 2007 y 2008. En el segundo periodo se encuestó a habitantes del sector Collao, los años 2011 y 2012. Como los datos provienen de distintas poblaciones se debe recurrir a la estimación mixta (Ben Akiva y Morikawa, 1990). Se estimaron diversos modelos de demanda, que incorporan factores de personalidad, usando estimaciones secuenciales y simultáneas.

Usando los resultados de los modelos de demanda, tanto clásicos como los que incorporan factores de personalidad, éstos se utilizan para corregir la evaluación social de un corredor de transporte público que se construirá en el sector Collao. Esto implicó que la demanda fuera variable, analizando cómo cambian los indicadores de rentabilidad de este proyecto si ésta es mejor caracterizada.

El artículo está organizado en seis secciones. La segunda sección contiene los antecedentes teóricos asociados a la teoría de Triandis, la descripción de los instrumentos psicométricos para medir los componentes de esta teoría, una explicación de la estimación secuencial y simultánea de los modelos de elección discreta con ecuaciones estructurales y el enfoque de escalamiento requerido cuando se usan datos con diferente origen. En la sección tres se describen los datos usados, mientras que en la cuarta sección se estiman los modelos, calculan elasticidades y realizan predicciones. La quinta sección presenta el proyecto de transporte bajo análisis, la estimación de beneficios y los indicadores de rentabilidad, considerando los cambios en la partición modal como resultado de la aplicación de los modelos clásicos y con variables latentes. Las conclusiones y comentarios se entregan en la última sección.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Teoría del comportamiento interpersonal de Triandis**

Los modelos de elección discreta permiten estudiar el rol de los atributos explicativos sobre la demanda (Ortúzar y Willumsen, 2011). Estos modelos operan en un esquema de caja negra (Ben-Akiva *et al.*, 2002), donde se asume que se conoce implícitamente el funcionamiento interno de dicha caja. Para poder conocer el funcionamiento interno de ésta, se ha destacado la importancia de las características subjetivas de las personas sobre la elección modal, por lo que se hace necesario incluir estas características en el modelo de elección discreta. Estas características subjetivas, como creencias, valores y emociones, representan interacciones complejas, en conjunto con los atributos modales y condiciones de contexto (Ben-Akiva *et al.*, 2002). Una metodología que permite incluir estas características en los modelos de elección corresponde al enfoque de variables latentes.

Las distintas relaciones entre las variables psicológicas, tales como la actitud, afecto, factores sociales, hábito y factores contextuales, se pueden estudiar a través de la Teoría del Comportamiento Interpersonal (TIB), postulada por Triandis (1977). En esta teoría, tanto la actitud, afecto y los factores sociales son considerados de forma dependiente así como independientes. La Figura 1 muestra las relaciones entre las variables psicológicas que explican la conducta, donde se observa que la intención es previa al desarrollo de una cierta acción, intención que combinada con el hábito y las condiciones facilitadoras (costo, tiempo, propósito del viaje, etc.) generan un comportamiento, como es la elección de modo de transporte. La intención depende directamente de los factores subjetivos del individuo, los que podrían estar vinculados entre sí. La definición de los factores de personalidad de la teoría de Triandis se puede encontrar en Tapia (2015).

En este trabajo se dispone de información acerca de las variables de actitud, afecto, factores sociales y hábito, además de las condiciones facilitadoras. Como los distintos instrumentos de medición para la mayoría de estas variables solo miden el efecto de éstas y no las variables en sí, es necesario un enfoque de variables latentes para la incorporación de estos aspectos en los modelos de demanda.

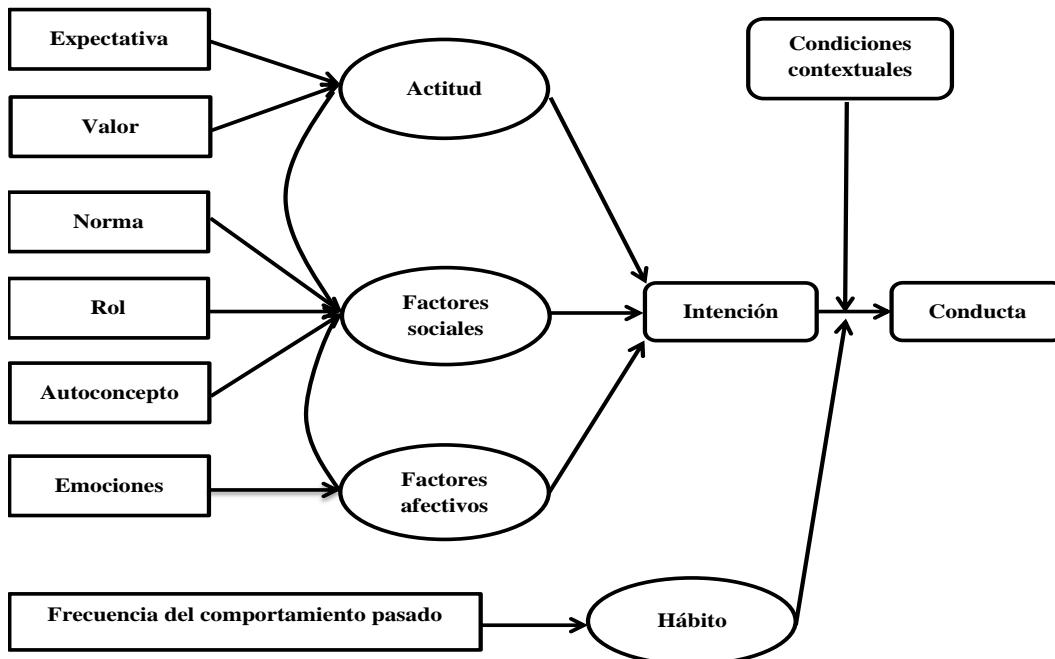


Figura 1: Teoría del Comportamiento Interpersonal de Triandis

## 2.2 Estimación secuencial y simultánea de modelos de elección discreta con variables latentes

Los factores de personalidad se pueden incluir en la función de utilidad indirecta de las alternativas en un modelo de elección discreta, resultando una ecuación del tipo:

$$V_{in} = \theta_i + \theta_1 x_{1n} + \dots + \theta_k x_{kn} + \theta_{k+1} z_{1n}^* + \dots + \theta_{k+L} z_{Ln}^* + \varepsilon_{in}. \quad (1)$$

Los atributos instrumentales  $x_{in}$  son observables mientras que los atributos latentes  $z^*$  no son observables directamente, sino a través de escalas subjetivas. Para solucionar el problema de falta de medición objetiva de una variable se propone usar el enfoque de variables latentes, que considera que se puede medir indirectamente el efecto de  $z^*$  a través de indicadores  $I$ , que manifiestan el comportamiento de los atributos no observables.

Una de las alternativas para incorporar las variables latentes en los modelos de elección es obtener los estimadores de los coeficientes que relacionan las variables latentes con sus respectivos indicadores (Raveau *et al.*, 2010). Para poder obtener los valores esperados de estas variables, se utiliza los modelos de ecuaciones estructurales. Ésta es una técnica estadística que combina los métodos de regresión múltiple con el análisis factorial, permitiendo estimar el efecto y las relaciones entre múltiples variables (Ruiz, 2000), representando conceptos no observados en dichas relaciones. Así, las variables latentes se agregan a las variables instrumentales del modelo de elección discreta, estimando los coeficientes de las variables latentes e instrumentales en forma conjunta. Este procedimiento se conoce como *estimación secuencial*, ya que la inclusión de las variables latentes en los modelos de elección se trata en dos etapas, separando la interacción entre las variables latentes y el modelo de elección discreta. Otra opción es estimar de forma conjunta los parámetros de las variables latentes y las variables instrumentales

pertenecientes al modelo de elección discreta, es decir, se resuelve de forma simultánea el modelo de variables latentes y el modelo de elección, lo que se conoce como *estimación simultánea*. La Figura 2 muestra el proceso de estimación secuencial y simultánea.

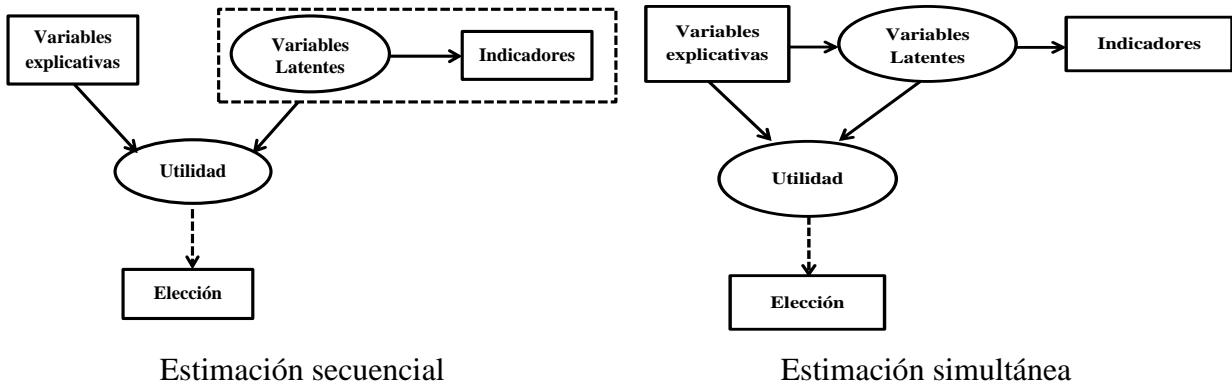


Figura 2: Esquemas de estimación secuencial y simultánea

Fuente: Adaptado de Ben-Akiva *et al.*, 1999

Se debe destacar que la estimación secuencial no garantiza estimadores consistentes, ya que los valores esperados de las variables latentes tienen errores de medición cuando son introducidos en los modelos de elección discreta (Ben-Akiva *et al.*, 1999; Raveau *et al.*, 2010). Esto surge debido a que el método secuencial no utiliza en su conjunto todos los datos disponibles, por lo que los estimadores son sesgados y tienden a subestimar las desviaciones de los coeficientes. Esto se corrige con la estimación simultánea, ya que considera toda la variabilidad de los indicadores de las variables latentes de los modelos de elección. La desventaja de este método es que, como utiliza la maximización de la verosimilitud de la probabilidad condicionada, considera la distribución de los errores de los indicadores de las variables latentes, generando una expresión no cerrada, requiriendo métodos iterativos para su estimación.

## 2.4 Enfoque de escalamiento Logit y estimación mixta

Los modelos de elección discreta asumen que los individuos buscan maximizar su utilidad. La utilidad  $U_{in}$  se asocia al modo i para el individuo n y se modela como:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}, \quad (2)$$

donde  $V_{in}$  es la utilidad determinística o medible, que depende de los atributos de la alternativa y  $\varepsilon_{in}$  representa el error estocástico. Cuando se asume que los errores  $\varepsilon_{in}$  se distribuyen IID Gumbel, con media cero y varianza  $\sigma^2$ , se obtiene la expresión del Logit Multinomial:

$$P_{in} = \frac{\exp(\lambda V_{in})}{\sum_{j \in A(i)} \exp(\lambda V_{jn})}, \quad (3)$$

donde j representa un subconjunto de las alternativas disponibles A(i).  $\lambda$  es un parámetro de dispersión asociado a  $\sigma^2$ , que no se puede estimar separadamente de los  $\theta$ s, que son los coeficientes de los atributos asociados al individuo o alternativa. Cuando se tienen datos de distintas naturaleza, por ejemplo de poblaciones distintas, no es correcto asumir la misma

distribución de los errores en la estimación conjunta, ya que daría lugar a estimar *pseudo-utilidades*, por lo que se tienen diferencias de escala en los coeficientes (Swait y Louviere, 1993). Como las varianzas en este caso son distintas, una solución para poder estimar un modelo de elección conjunta consiste en establecer una relación entre las varianzas de estos datos (Ben Akiva y Morikawa, 1990). Si se supone dos tipos de datos distintos, con términos de error  $\varepsilon$  y  $\eta$  respectivamente, se tiene que:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \mu^2 \sigma_\eta^2. \quad (4)$$

Así se logra que el error asociado a los dos tipos de datos tenga la misma varianza. Si  $U_{in}^a$  representa la utilidad directa del tipo de dato a y  $W_{in}^b$  la del tipo de dato b, se tiene:

$$U_{in}^a = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad y \quad (5)$$

$$\mu W_{in}^b = \mu(Y_{in} + \eta_{in}). \quad (6)$$

De las expresiones anteriores y la ecuación 3 es posible estimar la función de verosimilitud conjunta (Ben Akiva y Morikawa, 1990).

$$L(\theta, \mu) = (\prod_{n=1}^{N_a} \prod_j P_{in}^a) \cdot (\prod_{n=1}^{N_b} \prod_j P_{in}^b). \quad (7)$$

Se advierte que la función de verosimilitud es no lineal, debido a que  $\mu$  multiplica a los coeficientes. Para estimar tanto  $\mu$  como los coeficientes  $\theta$  se utiliza el método de estimación simultánea (Swait y Louviere, 1993).

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

La información usada en este trabajo fue recolectada en dos períodos y contextos distintos. El primero corresponde a la información recogida entre los años 2007 y 2008 a funcionarios y administrativos de la Universidad de Concepción, campus Concepción, Chile. En esta primera etapa, las preguntas están referidas al viaje desde sus hogares hacia el campus con motivo trabajo. La información recolectada fue acerca del modo usado, los modos disponibles, socio-demografía del encuestado y preguntas que miden indirectamente aspectos de personalidad de interés: actitud, afecto y hábito para 231 individuos. De estos registros, 190 son usuarios de automóvil y 41 usuarios de transporte público. Esta muestra contiene un 50,4% de hombres con una edad promedio de 47,6 años y una desviación estándar (d.e.) de 11 años.

En el segundo periodo, los encuestados correspondieron a una muestra aleatoria de personas que vivían en el sector Collao, en Concepción, recolectadas entre los años 2011 y 2012. El sector se caracteriza por tener barrios con un nivel socioeconómico heterogéneo y tener disponible diversos modos de transporte. Sin embargo, el acceso vial a ese sector es deficiente, lo que genera problemas de congestión vehicular. Las preguntas que contiene la encuesta hacen referencia al primer viaje con mayor frecuencia de realización, que hubiera hecho el encuestado el día de aplicación del instrumento. La información recolectada fue acerca del modo usado, modos disponibles, información socio-demográfica del encuestado y el entorno del hogar, y preguntas específicas para medir aspectos psicológicos: actitud, factores sociales, afecto y hábito para 304

individuos. De estos datos, 85 son usuarios de automóvil, 186 son de transporte público y 33 usuarios corresponden a la caminata. Esta muestra contiene un 49,0% de hombres, con una edad promedio de 37,8 años y una d.e. de 14 años.

Al unir las bases de datos se obtiene 535 registros, de los cuales un 275 (51,4%) escoge el automóvil, 277 (42,4%) escoge el transporte público y solo 33 (6,17%) de los encuestados escoge la caminata. Al analizar los modos disponibles, un 41,2% de los encuestados declara tener disponible el automóvil, un 50,1% tiene disponible el transporte público y solo un 8,7% declara disponer la caminata para poder viajar. La muestra conjunta contiene 271 (50,6%) de hombres, con una edad promedio de 42,2 años (d.e.=13,7 años). El ingreso promedio personal y familiar son de \$711.105 y \$1.217.329. Estos valores están sesgados debido al mayor ingreso que presentan los datos de la primera etapa. Por último, la tasa de motorización promedio es de 1,2 veh/hogar.

Respecto a los factores individuales (ver Figura 1), la actitud fue medida usando el principio de expectativa-valor, usando escalas de Likert de 5 puntos, para el automóvil, transporte público y no-motorizados. El rol y la norma social también fueron medidos utilizando escalas de Likert de 5 puntos para cada componente, mientras que el autoconcepto fue determinado con el diferencial semántico de Osgood, usando 12 pares de adjetivos antónimos, que caracterizan 3 dimensiones del autoconcepto: sociabilidad afiliativa, expresividad y accesibilidad (Alderete, 2011). Tanto el rol, la norma social y el autoconcepto solo fueron medidas para la etapa dos. El afecto también fue medido empleando el diferencial semántico de Osgood, usando 16 pares de adjetivos antónimos que caracterizan 4 dimensiones: evaluación, potencia, activación y control. El hábito fue determinado usando el cuestionario de frecuencia-respuesta de Verplanken, que incorporaba 10 situaciones hipotéticas. Más información acerca de la generación de estos instrumentos se puede encontrar en Domarchi (2007), Escobar (2008), Alderete (2011) y Sichel (2013).

La determinación de las variables del nivel de servicio y costos, para el modo usado y los alternativos, se determinaron a través de un SIG y con datos proporcionados por las autoridades del transporte del Gran Concepción. Al analizar estos datos se observa que se presentan tiempos de viaje acorde al contexto del Gran Concepción, donde el promedio bordea los 10 minutos, lo que indica que los viajes originados en el sector son cortos, dada su cercanía al centro. Caso especial ocurre en el modo caminata, el que tiene un tiempo promedio mayor en comparación al resto de los modos, lo que es debido a las características propias del modo. Los tiempos de espera, en general, son bajos debido a la buena oferta en el sector estudiado. Para el caso de los tiempos de acceso, en general, se registran promedios bajos, característica del transporte público en Concepción, donde las paradas no son fijas por lo que el tiempo de acceso es relativamente bajo dado que la oferta de paradas se ajusta a la demanda de detenciones. En cuanto a los costos, en primer lugar, se corrigieron los datos según el IPC del año 2012, donde se observan valores relativamente altos para el modo auto chofer, en comparación al resto de los modos. El promedio del costo de viaje en vehículo privado, es mayor que el costo promedio de los modos públicos, lo que está acorde con la realidad regional y nacional.

## 4. ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE MODELOS

### 4.1 Estimación de variables latentes a través de modelos estructurales

En una primera instancia se procedió a calcular los valores esperados de los factores de personalidad según la teoría de Triandis. Sin embargo, debido a la falta de información en algunas variables psicológicas, como los factores sociales, no fue posible estimar un modelo que reprodujera completamente la teoría, aunque sí es posible reproducirla en forma parcial para el afecto y actitud. Respecto al hábito, éste fue medido directamente a través del cuestionario frecuencia-respuesta, obteniendo un porcentaje de habitualidad por modo para cada persona. Para el caso de la estimación secuencial, a través de los modelos estructurales, se procedió a calcular los valores esperados de las variables latentes, siguiendo las relaciones propuestas por Triandis. Para el caso de la estimación simultánea, se definen las relaciones propuestas a través de relaciones matriciales, estimando de forma conjunta las relaciones entre los indicadores, las variables latentes y los coeficientes del modelo de elección.

### 4.2 Estimación modelos de elección discreta

A continuación se presenta las distintas estimaciones de modelos de elección. Si bien no fue posible incluir todos los factores de personalidad, se pudo incorporar la actitud y el hábito. Es importante destacar que todos estos modelos incluyen en su especificación, variables instrumentales para los cinco modos de transporte disponibles en la muestra: auto chofer, auto acompañante, microbús, taxi colectivo y caminata. También, y como una forma de comparar las especificaciones usuales en los modelos de elección, se estimó un modelo Logit Multinomial (MNL). También se probó con especificaciones tipo Logit Jerárquico y Logit Mixto, sin alcanzar resultados meritorios. El modo de referencia corresponde al auto acompañante. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Como se observa en dicha Tabla, las variables que reflejan los niveles de servicio de los modos, tienen el signo adecuado y sus coeficientes son significativos, con excepción del tiempo de espera, que comienza a ser no significativo al incluir factores de personalidad. Además, hay una mayor importancia del tiempo de viaje que del tiempo de espera. Esto se puede deber a las características del sector, donde se tiene un buen acceso al transporte público, pero debido a los problemas de congestión, los usuarios valoran más su tiempo en el vehículo que la espera como tal. El modelo de demanda con hábito, genera una mejor explicación de la elección como se ve en los valores del log-verosimilitud  $LL$  y  $\bar{\rho}^2$ . Además, se observa que tanto el coeficiente del hábito como el de la actitud son significativos, lo que mejora la bondad de ajuste del modelo en comparación con el modelo clásico; esto ocurre con mayor notoriedad en el caso de hábito. Por último, en el caso de la actitud, los resultados se obtuvieron a través de la estimación simultánea, donde se observa una mejora en la significancia respecto al modelo de la actitud secuencial. Cabe hacer notar que las constantes modales tienen una alta significancia, que podría ser indicativo de que hay otras variables o especificaciones que podrían ayudar a explicar la conducta observada y que sólo en el modelo clásico sería necesario diferenciar por tipo de base de datos.

#### **4.3 Predicción**

En esta sección se utilizan los modelos estimados para generar predicciones de la partición modal. El escenario que se plantea es ficticio, pero acorde con las intervenciones que se planean realizar en ambos sectores. Este escenario es la disminución de los tiempos de viaje del transporte público mayor en un 30%, debido a la construcción de un corredor exclusivo.

La Tabla 2 muestra el cambio en la demanda producto de este escenario, tanto para los modelos clásicos, como los que incluyen el hábito como factor de personalidad, que anteriormente resultó ser el modelo con mayor bondad de ajuste; estos modelos consideran la totalidad de la información disponible. Ambos casos consideran estimación clásica (sin escalamiento de las bases) y mixta (con factor de escala en una de las bases). Como se aprecia en este caso, los modelos sin hábito predicen cambios mayores en la partición modal al aplicar los cambios en tiempos, que los modelos de demanda con hábito, lo que implicaría una sobreestimación de estos modelos. En otras palabras, la inclusión del hábito en el modelo de elección discreta conlleva cambios menores en la demanda, con el consiguiente impacto en la efectividad de las medidas implementadas.

Tabla 2: Cambio absoluto en partición modal por reducción de tiempo de viaje

Modos	Base	Modelo sin hábito		Modelo con hábito	
		Sin Esc.	Con Esc.	Sin Esc.	Con Esc.
Auto chofer	230	203	206	210	210
Auto acompañante	45	34	34	36	36
Bus	177	211	205	203	202
Taxi colectivo	50	56	59	54	56
Caminata	33	31	31	32	31

#### **5. CASO DE ESTUDIO A EVALUAR**

El proyecto a considerar forma parte del Plan de Transporte Urbano del Gran Concepción, que tiene como eje central la habilitación de corredores de transporte público. Se trata del diseño de ingeniería de detalles del proyecto: Mejoramiento Par Vial Collao-General Novoa (SERVIU, 2015), que trata del mejoramiento de Avenida Collao entre calle Carrera y camino a Nonguén y de General Novoa entre Maipú y estero Nonguén. Contempla un corredor de Transporte Público centralizado en Avenida Collao y una vía exclusiva para el transporte público en Avenida General Novoa. El área de estudio se muestra en la Figura 3.

Según la metodología de evaluación social vigente, para la evaluación de este proyecto se debe definir la situación base y la situación con proyecto para dos cortes temporales. En este caso los cortes temporales corresponden al año 2015 y 2020. Para el corte temporal en el año 2020, para la situación base, se consideró el proyecto: Autopista Concesionada Concepción-Cabrero, que contempla, para el área de estudio, el mejoramiento de la Avenida Oscar Bonilla y el emplazamiento de enlaces a desnivel en diversos cruces y que conectan la Avenida Oscar Bonilla y Avenida Collao (ver figura 3).

## 5.1 Características del proyecto considerado

A nivel de ingeniería de detalle, el proyecto contempla el mejoramiento de la calzada de Avenida Collao y Avenida General Novoa en el sector descrito anteriormente, la construcción de un corredor de Transporte Público centralizado en Avenida Collao y una vía exclusiva para el transporte público en Avenida General Novoa. En cuanto a las estructuras que incluye el proyecto, destaca la reposición del puente sobre el estero Nonguén en Avenida Collao, la prolongación de la Avenida General Novoa hacia Avenida Collao a través de la construcción de un nuevo puente sobre el estero Nonguén, la construcción de una calle de servicio en Avenida Collao, entre la calle Los Lirios y Chacabuco y el paso desnivelado de Avenida Los Carrera en la intersección con Avenida Collao. Además, el proyecto considera la construcción de ciclovías y obras de paisajismo en la mayor parte de su extensión.



Figura 3: Área de estudio

## 5.2 Evaluación económica del proyecto

Con modelo de asignación SATURN se evaluó los beneficios que genera el proyecto. Los beneficios son debido al aumento de la velocidad de circulación tanto de los vehículos livianos (por el mejoramiento de las calles) y el transporte público (debido al corredor centralizado). También se producen beneficios por eliminar la discontinuidad de Avenida General Novoa. Debido al desnivel de Avenida Los Carreras, en la intersección con Avenida Collao, se produce beneficios al hacer que el flujo vehicular mixto sea ininterrumpido por Avenida Los Carreras y eliminar una fase del semáforo de esta intersección. Cabe destacar que, actualmente existen diversos problemas de congestión en esta intersección en todas las vías llegan a ésta.

Con estos antecedentes se sometió este proyecto a una evaluación económica, según lo expresado por la Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Vialidad Urbana (MDS, 2013), la cual evalúa los beneficios del proyecto por año, para cada corte temporal definido e interpolando y extrapolando los beneficios en los años no considerados en los cortes temporales,

para así formar una corriente de beneficios para un horizonte de evaluación de 20 años, que coincide con la vida útil del proyecto. Los resultados de esta evaluación para el proyecto de ingeniería se resumen en la siguiente tabla; como se observa en la tabla, el proyecto resultaría rentable:

Tabla 3: Indicadores de rentabilidad estudio de ingeniería

Indicador	Valor	Indicador	Valor
Inversión Privada (MM\$)	29.525	VAN (MM\$)	6.664
Inversión Social (MM\$)	22.080	VAN1 (MM\$)	-383
Beneficios año 2015 (MM\$)	919	TIR (%)	8,5
Beneficios año 2020 (MM\$)	2.096	TRI (%)	4,2

### 5.3 Corrección de beneficios considerando variables psicológicas

Como se mostró en secciones anteriores, cuando se utilizan los modelos de elección discreta que incluyen factores de personalidad, los cambios en la demanda tienden a ser menores a los que predicen los modelos sin estas variables. Considerando estos antecedentes, se estimó modelos de elección discreta que contaran con factores de personalidad sólo para los encuestados del sector Collao, los que son afectados directamente por el proyecto considerado en este trabajo. Esto se muestra en la Tabla 4. Dado que no hay diferencias apreciables entre los resultados del modelo considerando el hábito, actitud o combinándolos, se usarán los resultados del modelo con hábito como factor de personalidad para la cuantificación de los beneficios que genera el proyecto.

Como se describió anterior, la metodología de evaluación a nivel táctica, no considera cambios en la partición modal, ni otras variables que afecten la elección de modo de estos individuos, por lo que se corregirán estos aspectos, usando la siguiente metodología

- Se usaron las modelaciones de las redes SATURN de este proyecto, tanto para la situación base como proyecto para los dos cortes temporales definidos.
- Usando los resultados del modelo de asignación, se consideraron los posibles ahorros en tiempo de viaje de los usuarios del sector Collao, agrupando a los usuarios según la zonificación del estudio de ingeniería.
- Con lo anterior se midió el tiempo de viaje tanto para la situación base como para el proyecto, de forma individual para cada usuario, agrupándolos según la zonificación del estudio de referencia, con lo que se calculó la diferencia de estas dos situaciones.
- Lo anterior fue incorporado a las estimaciones de tiempos de viaje que fueron medidas en este trabajo, para poder obtener el cambio en la partición modal, debido a la situación con corredor de transporte público. Lo anterior arrojó los siguientes resultados:

Tabla 5: Cambio absoluto en partición modal por reducción de tiempo de viaje

Modos	Base	Modelo sin hábito		Modelo con hábito	
		Sin Esc.	Con Esc.	Sin Esc.	Con Esc.
Auto chofer	63	28	41	50	45
Auto acompañante	22	4	17	15	17
Bus	160	113	182	179	181
Taxi colectivo	26	119	34	29	32
Caminata	33	40	30	31	29

- e) Para efectos de análisis y que se puedan usar de forma comparativa, se usaron los modelos con escalamiento para ambos cálculos.
- f) Según los resultados del modelo de demanda, se cambiaron los antecedentes del modelo de asignación, que definen tanto los viajes en transporte privado como público. En el caso del transporte privado, se modificó la matriz de viajes, según los resultados del modelo de elección, en diversas proporciones, que son acordes a la zonificación usada. Se realizó lo mismo en el caso del transporte público (taxi colectivos y buses) solo que en este caso se modificó la frecuencia de viajes, según los resultados de las predicciones de los modelos.
- g) No se afectó a otros tipos de vehículos considerados en la red de modelación.
- h) Con estos alcances se puede tener una nueva estimación de consumos considerando las tres variables usuales para la evaluación (tiempo, combustible y otros costos de operación) para cada periodo de modelación, para cada situación y corte temporal. Esto genera los siguientes indicadores de rentabilidad.

Tabla 6: Indicadores de rentabilidad considerando cambios en la partición modal

Indicadores	Situación Evaluada Estudio de ingeniería	Cambios Partición Modal sin hábito	Cambios Partición Modal con hábito
Inversión (MM\$)		22.080	
VAN (MM\$)	6.664	19.864	783
TIR	8,9%	13,3%	6,3%
TRI	4,2%	8,5%	2,8%
IVAN	30,2%	90,0%	3,6%
VAN1 (MM\$)	-383	513	-676

Considerando estos antecedentes, se puede observar que, al considerar cambios en la partición modal con los datos del modelo clásico (sin hábito), los indicadores de rentabilidad aumentan considerablemente, aumentando la tasa interna de retorno aproximadamente un 64% respecto de la evaluación en el proyecto de ingeniería. Sin embargo, al considerar el factor de personalidad del hábito, esta tasa interna de retorno disminuye aproximadamente un 26% de la evaluación realizada en el proyecto de ingeniería. Esto se puede explicar principalmente porque los cambios de modo son menores al considerar el hábito instalado en los usuarios.

## 6. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El proceso de toma de decisiones de los usuarios en transporte usualmente es modelado como una caja negra, donde las variables de entrada son los atributos de las alternativas disponibles y las características socioeconómicas, y la variable de salida es la elección, con el supuesto que se conoce implícitamente el funcionamiento de la caja. Las variables psicológicas, como la actitud, el afecto, el hábito, entre otras, no se pueden observar ni medir directamente, por lo que estos modelos usualmente las han omitido. Sin embargo, de acuerdo a las teorías de la psicología, estas variables son relevantes para explicar el comportamiento de los usuarios ante el proceso de elección. Esto indica que la inclusión de estas variables puede mejorar el poder explicativo del modelo, evitando producir estimadores sesgados y problemas de endogeneidad. Lo anterior se ha demostrado usualmente realizando instrumentos *ad hoc* al estudio de interés, sin un respaldo de alguna teoría en particular, lo que es una innovación de este estudio, ya que se utiliza la Teoría de Triandis como sustento teórico a las variables psicológicas.

Una forma de introducir estos atributos latentes, como las variables psicológicas, es trabajar con los modelos híbridos de elección. Estos modelos operan con un modelo de elección discreta y un modelo de variables latentes para los atributos no observados. En este trabajo se utilizó tanto la estimación secuencial como simultánea, considerando todos los usuarios sometidos a este tipo de encuestas, como a solo a los habitantes del sector Collao en Concepción. Para la muestra utilizada en este trabajo fue posible incorporar el hábito y la actitud al modelo de elección, aunque fue el hábito el que resultó más significativo, permitiendo una mejora del modelo en comparación con un modelo con sólo variables instrumentales. También se analizó la ocurrencia de un escenario hipotético, asociado al cambio en los tiempos de viaje. Este análisis muestra como el modelo que considera sólo variables instrumentales sobreestima los cambios en la partición modal, lo que se corrige al incorporar el hábito como variable explicativa. En particular, en el caso del hábito, ésta variable se caracteriza por ser un comportamiento muy arraigado en el individuo, lo que dificulta el éxito de alguna medida que intente modificarlo.

Si se considera un caso real de un proyecto que favorece el uso del transporte público, que usualmente se evalúa a nivel táctico, sin considerar cambios en la partición modal ni en la matriz Origen Destino y se corrigen los aspectos mencionados según los resultados de los modelos de elección, los resultados a nivel de indicadores de rentabilidad cambian dramáticamente. La comparación de la evaluación original con el considerando un modelo de demanda clásico (sin hábito pero con cambios en partición modal) muestra que el VAN para el nuevo escenario es casi tres veces el original y la TIR está por encima del 6% solicitado para que el proyecto sea rentable, a pesar de la inversión requerida: 22.080 millones de pesos, que incluye dos puentes sobre el estero Nonguén y una estructura desnivelada. Por lo visto, al considerar cambios en la partición modal con los datos del modelo clásico (sin hábito) hay una sobre estimación en el uso de ciertos modos, lo que repercute en una sobre estimación de los beneficios

Cuando se corrigen los resultados de la evaluación económica del proyecto, según los resultados del modelo de demanda que incluye el hábito, se puede observar que los indicadores de rentabilidad son más conservadores. Inclusive, a pesar de que el VAN es más positivo, la TIR está casi en el umbral de no rentabilidad. Este resultado pondría en duda el paso del proyecto a ejecución, debido a que generalmente en la ejecución del proyecto aumentan los costos de inversión.

La presencia del hábito, como un comportamiento sin deliberación previa, podría afectar el resultado del proceso de toma de decisiones en materia de inversiones de transporte. En realidad, muchas de las intervenciones evaluadas con éxito utilizando modelos de demanda clásicos, podrían dar lugar a resultados no esperados una vez ejecutados, lo que ocurre generalmente en el aumento del uso del automóvil a pesar de realizar medidas que favorezcan modos más sustentables. Como se muestra en este trabajo, los resultados, tanto en los cambios en la partición modal como en la evaluación económica de un proyecto de transporte puede variar si se consideran los factores de personalidad.

Cabe destacar que, la consideración de los resultados de los modelos de elección para corregir los modelos de asignación, cambiando la matriz OD es solo un método aproximado, ya que pueden haber formas más correctas, desde el punto de vista teórico para considerar los factores de personalidad en los procesos de evaluación, como considerar función de oferta y demanda

multimodal, métodos de valoración contingente, entre otros, para evaluar de forma más apropiada un proyecto de transporte. Adicionalmente, hay modelos más completos, que pueden considerar estos efectos, a través del modelo de cuatro etapas.

También se hace necesario incrementar el tamaño de la base de datos, de forma tal que exista mayor certeza respecto a los modelos estimados. Se sugiere también que la encuesta sea corregida para que sea factible considerar todas las variables de la teoría de Triandis. También se debe considerar que el uso de los modelos de elección para la predicción requiere de datos a futuro de las variables explicativas, lo que no es evidente si se trata de los factores de personalidad. Esto se podría resolver a través de encuestas de preferencias declaradas, que puedan capturar los posibles cambios en los factores de personalidad, producto de diversos escenarios de transporte. Por último, se sugiere que se usen estimadores bayesianos y modelos del tipo MIMIC, para así estudiar de mejor forma el impacto sobre la predicción de la demanda de diversos escenarios de medidas que favorezcan el uso de modos más eficientes de transporte.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Programa de Financiamiento Basal para Centros de Excelencia FB 016.

### Referencias

- Alderete, C. (2011) **El rol de los factores sociales en la elección del modo de transporte.** Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.
- Anable, J. y B. Gatersleben (2005) All work and no play? The role of instrumental and affective factors in work and leisure journeys by different travel model. **Transportation Research A.** 39. 163-181.
- Ben Akiva, M., J. Walker, A. Bernardino, D. Gopinath, T. Morikawa y A. Polydoropoulou (1999) Integration of Choice and Latent Variable Models. EnMahmassani, 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. Munizaga (2002) Hybrid choice models: progress and challenges. **Marketing Letters.** 13(3), 163-175.
- 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.

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.

MDS (2013) **Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Vialidad Urbana.** Ministerio de Desarrollo Social.

Morikawa, T., M. Ben-Akiva y D. McFadden (1996) **Incorporating Psychometric Data in Econometric Choice Models.** Working paper. Massachusetts Institute of Technology.

Ortúzar, J. y L. Willumsen (2011) **Modelling Transport.** Cuarta edición. Wiley and Sons, Chichester.

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.

Ruiz, M.A. (2000). **Introducción a los Modelos de Ecuaciones Estructurales.** Madrid, UNED.

SERVIU (2015) **Mejoramiento Par Vial Collao-General Novoa.** Elaborado por Solutiva Consultores (en desarrollo)

Sichel, V. (2013) **Estudio del Rol de los Factores Socioeconómicos y Psicológicos en la Elección del Modo: Aplicación en el Gran Concepción.** Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.

Swait, J y Louviere, J.J. (1993) The Role of the scale parameter in the estimation and comparison of multinomial logit models. **Journal of Marketing Research.** 30. 305-314.

Tapia, A. (2015) **El Impacto de las Variables de Personalidad en la Estimación de la Demanda de Transporte. Un Estudio de Caso en Concepción.** Tesis, Magister en Cs. de la Ingeniería, mención Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.

Triandis, H. (1977) **Interpersonal Behavior.** Brooks and Cole, Monterrey.

Tabla 1: Modelos de demanda, todos los encuestados

Coeficiente	Clásico		Hábito		Actitud y Hábito**	
	Sin Esc.	Con Esc.	Sin Esc.	Con Esc.	Sin Esc.	Con Esc.
$\theta_{autoch}$	2,54 (10,8)	2,96 (8,8)	2,27 (9,7)	2,45 (8,0)	2,47 (10,1)	2,68 (6,8)
$\theta_{microbus}$	2,35 (7,0)	2,69 (6,2)	3,37 (8,5)	3,64 (7,1)	2,59 (7,0)	2,83 (6,0)
$\theta_{taxicolec}$	1,22 (3,4)	1,38 (3,2)	2,32 (5,5)	2,51 (5,0)	1,51 (5,0)	1,63 (4,4)
$\theta_{caminata}$	3,62 (7,7)	4,30 (6,4)	4,46 (8,5)	4,85 (6,9)	3,65 (6,4)	3,99 (6,0)
$\theta_{costo/I}$	-0,013 (-2,8)	-0,015 (-2,5)	-0,018 (-3,5)	-0,020 (-3,2)	-0,014 (-3,6)	-0,016 (-3,6)
$\theta_{trabajo}$	-0,15 (-7,6)	-0,18 (-6,5)	-0,15 (-7,4)	-0,17 (-6,1)	-0,16 (-7,9)	-0,17 (-6,6)
$\theta_{espera}$	0,009 (0,3)	0,012 (0,3)	0,015 (0,5)	0,016 (0,5)	0,003 (0,5)	0,004 (0,4)
$\theta_{tacceso}$	-0,121 (-3,6)	-0,138 (-3,4)	-0,11 (-3,1)	-0,11 (-3,0)	-0,13 (-3,7)	-0,12 (-3,7)
$\theta_{Actitud}$	-	-	-	-	0,53 (5,1)	0,54 (5,4)
$\theta_{Hábito}$	-	-	2,55 (6,8)	2,73 (6,2)	0,58 (10,9)	0,56 (9,1)
$\alpha_{exp\_auto}$	-	-	-	-	1,00 (NA)	1,00 (NA)
$\alpha_{valor\_auto}$	-	-	-	-	0,62 (NA)	0,60 (NA)
$\alpha_{exp\_tp}$	-	-	-	-	0,79 (2,7)	0,81 (3,0)
$\alpha_{valor\_tp}$	-	-	-	-	0,88 (NA)	0,80 (NA)
$\alpha_{exp\_NM}$	-	-	-	-	0,78 (5,7)	0,70 (5,0)
$\alpha_{valor\_NM}$	-	-	-	-	2,47 (10,1)	2,68 (6,8)
$\lambda_{Collao}$	-	0,74 (2,5)*	-	0,87 (-1,1)*	-	0,86 (-1,5)*
$\bar{\rho}^2$	0,319	0,321	0,376	0,376	0,399	0,401
$LL$	-354,65	-352,29	-322,99	-322,46	-332,8	-331,0

test t entre paréntesis

\* se muestra el test-t del factor de escala comparado con 1.

\*\* modelo obtenido con estimación simultánea

Tabla 4: Modelos de demanda, sector Collao

Coeficiente	Clásico		Hábito	
	Sin Esc.	Con Esc.	Sin Esc.	Con Esc.
$\theta_{autoc h}$	2,14 (6,3)	2,92 (6,2)	1,70 (5,0)	2,29 (5,0)
$\theta_{microbus}$	2,73 (6,7)	4,19 (7,4)	3,54 (7,7)	5,23 (7,7)
$\theta_{taxicolec}$	1,21 (2,7)	2,67 (4,4)	2,10 (4,1)	3,76 (5,1)
$\theta_{caminata}$	3,44 (6,7)	4,52 (6,7)	4,27 (7,3)	5,47 (7,1)
$\theta_{costo /I}$	-0,014 (-2,4)	-0,02 (-2,7)	-0,018 (-2,7)	-0,03 (-2,3)
$\theta_{trabajo}$	-0,13 (-5,9)	-0,18 (-5,7)	-0,14 (-6,0)	-0,19 (-5,0)
$\theta_{espera}$	0,021 (-0,8)	-0,06 (-1,9)	<b>0,001 (0,1)</b>	<b>-0,03 (-0,7)</b>
$\theta_{tacceso}$	-0,08 (-2,5)	-0,13 (-3,2)	-0,09 (-2,5)	-0,15 (-2,2)
$\theta_{Hábito}$	-	-	2,67 (5,6)	3,30 (5,1)
$\lambda_{Collao\_2012}$	-	0,113 (7,5)*	-	0,196 (6,7)*
$\bar{\rho}^2$	0,124	0,123	0,203	0,200
$LL$	-224,7	-214,2	-204,1	-195,4

test t entre paréntesis

\* se muestra el test-t del factor de escala comparado con 1.