

## EFFECTO DE LAS CONDICIONES FACILITADORAS Y DE LA ACTITUD EN LA ELECCIÓN DE LA BICICLETA

Maximiliano Lizana, Universidad de La Frontera [maximiliano.lizana@ufrontera.cl](mailto:maximiliano.lizana@ufrontera.cl)

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

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

Oscar Jaque, Universidad de La Frontera [o.jaque01@ufromail.cl](mailto:o.jaque01@ufromail.cl)

### RESUMEN

Las nuevas tendencias en la gestión de las ciudades han promovido el uso de modos de transporte sostenibles, especialmente de la bicicleta. No obstante, a pesar de la importante inversión en infraestructura para este modo en las ciudades chilenas, su participación modal ha crecido lentamente. Surge así la pregunta sobre qué factores y cómo éstos están influyendo en el uso de este modo. Este estudio enfatiza en el rol de las condiciones facilitadoras y la actitud en la explicación de la elección de este modo. Los resultados muestran que no todas las condiciones facilitadoras juegan un rol directo, sino que más bien su influencia en el uso de la bicicleta es mediada a través de la actitud.

*Palabra clave:* bicicleta, variable latente, modelo híbrido de elección discreta.

### ABSTRACT

New city management trends support the use of sustainable transport modes, especially bicycles. However, despite the significant investment in infrastructure for this mode in Chilean cities, their modal share has grown slowly. Thus, the question arises about what factors and how these are influencing the use of this mode. This study focuses on the role of facilitating conditions and attitude in explaining their choice. The results show that not all facilitating conditions play a direct role, but their influence on bicycling is mediated through attitude.

*Key words:* bicycle, latent variable, hybrid choice model.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las nuevas tendencias en la gestión de las ciudades han promovido el uso de modos de transporte sostenibles, especialmente la bicicleta. Este modo ofrece beneficios importantes como tiempos de viaje adecuados, uso eficiente del espacio urbano, ahorro de costos, respeto del ambiente; e incluso una mejora en la salud física y emocional de sus usuarios (Ogilvie *et al.*, 2004). No obstante, a pesar de la importante inversión en infraestructura para bicicletas en las ciudades chilenas, su participación modal ha crecido lentamente. De hecho, de acuerdo con las encuestas de origen-destino (O-D) más recientes, la partición modal de la bicicleta sigue siendo solo del 2-3%, con pocas excepciones (SECTRA, 2020). Por lo tanto, surge naturalmente la pregunta de ¿Cuáles y cómo las condiciones facilitadoras están contribuyendo al uso de la bicicleta?

El proceso de decisión detrás de la elección modal no sólo depende de los atributos de las alternativas, sino que también de un complejo set de constructos psicosociales y de las condiciones facilitadoras asociadas a la elección. Diferentes investigaciones nacionales, como las realizadas por Rossetti *et al.* (2018), Galdames *et al.* (2011) y Domarchi *et al.* (2008), han destacado la necesidad de considerar factores perceptuales y psicosociales como la actitud en el entendimiento de la elección modal de las personas, con el fin de mejorar la comprensión de los procesos detrás de su decisión. La investigación en psicología social ha demostrado que la actitud, definida como la respuesta conductual hacia un objeto (Anable y Gatersleben, 2005), es importante para predecir el comportamiento de un individuo ya que se espera de él una relación causa-efecto y por lo tanto está directamente relacionada con la conducta. La actitud y otros factores sociales, como el afecto, se consideran en teorías más amplia como Teoría del Comportamiento Interpersonal (TIB) de Triandis. La TIB (Triandis, 1977) afirma que la intención es determinante en la conducta observada, siendo la actitud uno de los factores que componen las relaciones entre intención, hábito y condiciones facilitadoras, que son los que finalmente deciden el comportamiento.

La actitud viene a reflejar las opiniones, intenciones, afectos y creencias de las personas hacia algo, las cuales pueden ser favorables o no (Sottile *et al.*, 2018). Ellas están basadas en las creencias acerca de las consecuencias de cierto comportamiento y la importancia dada a dichas consecuencias. La literatura ha reconocido el efecto de la actitud en las estrategias de movilidad, teniendo un rol relevante en la consideración de la bicicleta como modo de transporte. De hecho, Heinen *et al.* (2011) reportan que una mayor actitud hacia la bicicleta se traduce en viajar con mayor frecuencia en este modo. Otros trabajos han estudiado los factores de los cuales depende la formación de la actitud hacia la bicicleta. Entre ellos la seguridad ha sido uno de los más reportados (Rossetti *et al.*, 2017), mientras que aspectos prácticos como la comodidad se han asociado a la distancia recorrida (Useche *et al.*, 2019). Otros factores incluyen que tanto la persona disfruta el viaje, la economía de éste, la influencia de utilizar la bicicleta en la salud y cuán importante es su contribución al cuidado del ambiente (Heinen *et al.*, 2011).

Por otro lado, las condiciones facilitadoras son aquellas en las que su presencia afecta la forma en que la intención se convierte en comportamiento. En el contexto de modos de transporte, ellas corresponden en primera instancia a las características de los modos de transporte (niveles de servicio) y a las características sociodemográficas del usuario (Ortúzar y Willumsen, 2011). Son también parte de esta dimensión las características del entorno construido, como pudiera ser la presencia de ciclovías, paraderos, estacionamientos o iluminación (Fitch *et al.*, 2020). Ciertas experiencias previas del individuo también pudieran ser incluidas como condiciones facilitadoras,

entre ellas, la familiaridad hacia un modo de transporte en particular, lo que en la bicicleta se podría asociar, por ejemplo, a si la persona utiliza la bicicleta los fines de semana para actividades recreativas, o a la habilidad para utilizar este modo. Características que den cuenta de la factibilidad de utilizar la bicicleta son también relevantes de ser incluidas como condiciones facilitadoras, como la distancia entre el hogar y el lugar de destino, si se viaja con mayor peso al posible de transportar en una bicicleta y si el viaje es con otras personas, por mencionar algunas (Heinen *et al.*, 2011).

En cuanto a la modelación, los modelos de elección discreta se han utilizado ampliamente durante décadas para abordar la elección entre un conjunto de alternativas mutuamente excluyentes. Estos modelos se han basado en la teoría de la utilidad aleatoria, que postula que la probabilidad de que un individuo elija una opción es función de los atributos socioeconómicos del individuo y de la atractividad relativa de esa opción. De esta forma, es necesario definir la utilidad relacionada con cada alternativa que el individuo busca maximizar a la hora de realizar su elección. Las alternativas per se no producen utilidad, sino que ésta se deriva de sus características y las del propio individuo (Train, 2003). Por otra parte, los modelos híbridos de elección han sido utilizados con éxito en el campo del transporte en los últimos 20 años, derivado de su capacidad para incorporar el efecto de actitudes, percepciones y emociones en el comportamiento a través de variables latentes (Ben Akiva *et al.* 2002; Bhat y Dubey, 2014). Una variable latente es un constructo que no se puede medir directamente, siendo necesaria la medición de ciertos indicadores para su conformación, usualmente estimados a través de ecuaciones estructurales (SEM).

Así, este estudio busca identificar y comprender los procesos subyacentes a la decisión de usar la bicicleta, incluyendo explícitamente actitudes y factores contextuales. La metodología considerada utilizó un modelo de elección discreta siguiendo un enfoque de modelo híbrido (Bhat y Dubey, 2014). La hipótesis del trabajo se basó en el rol que juegan variables facilitadoras en la explicación de la actitud, y su efecto directo e indirecto sobre la probabilidad de utilizar la bicicleta. En efecto, se espera revelar qué tipo de rol juegan variables asociadas a infraestructura como la presencia de ciclovía en el trayecto habitual en el uso de la bicicleta. Aunque varios estudios se han centrado en el efecto de las actitudes en el comportamiento de viaje, pocos han evaluado la influencia de factores contextuales como la infraestructura dedicada a la bicicleta, la familiaridad de los usuarios a este modo y las características sociodemográficas en las decisiones de elección de bicicletas, tanto en términos de su efecto directo como a través de su efecto en el cambio de actitudes (Muñoz *et al.* 2016).

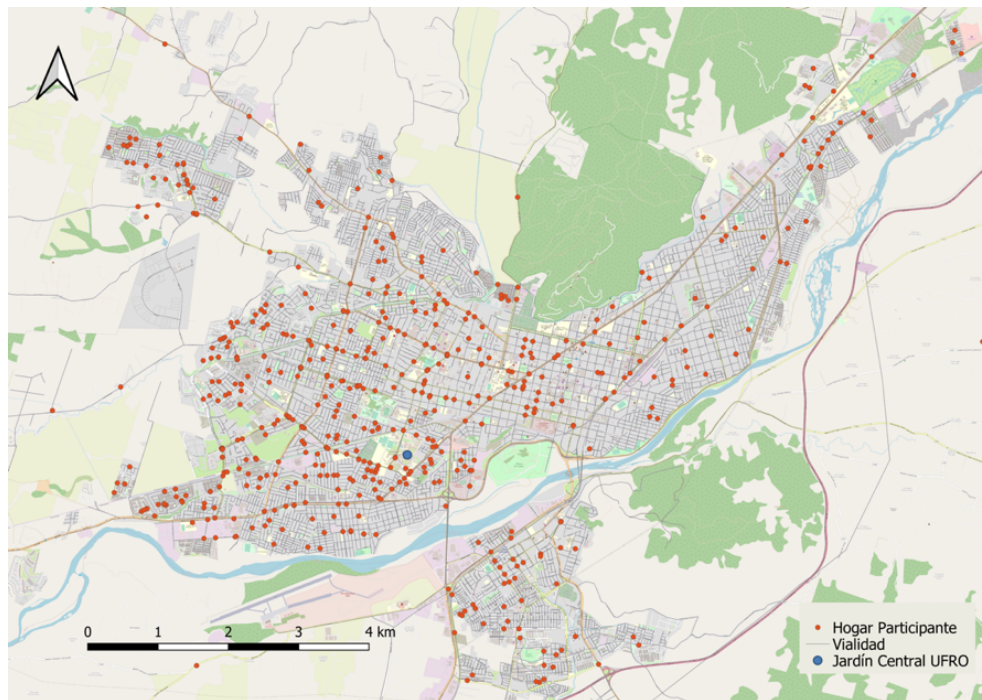
## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Datos

Se diseñó una encuesta ad-hoc para recolectar información sobre la movilidad diaria de trabajadores y estudiantes de la Universidades de La Frontera (UFRO), ubicada en la ciudad de Temuco. Temuco se ubica cerca de 700 km al sur de Santiago, la capital de Chile y su área metropolitana tiene aproximadamente 400 mil habitantes. La ciudad es capital regional y se considera como un importante centro económico y de servicios. En general, la topografía de la ciudad es plana y regular, salvo algunos sectores, con una estacionalidad del clima bastante marcada que se traduce en importantes lluvias en invierno que disminuyen el uso de la bicicleta, el

cual vuelve a aumentar rápidamente a partir de agosto. En términos de infraestructura para bicicletas, Temuco tiene una red que alcanzaba los 28 km en 2019, con una importante proporción de ellas localizadas en las arterias de acceso hacia el área central de la ciudad. Esta red ha sido expandida rápidamente en los años recientes, lo que también ha generado debate entre usuarios de vehículos motorizados, que han perdido espacio para estacionamientos, y los usuarios de bicicleta. En Temuco no hay un sistema de bicicletas públicas operando.

La encuesta se enfocó en los diferentes factores y aspectos del viaje, así como las condiciones contextuales e individuales definidas en el marco teórico (Lizana *et al.* 2019). La información de viajes fue solicitada para el día anterior en que la persona contestó la encuesta, preguntando por el primer viaje que realizó a la Universidad desde su hogar (preferencias reveladas). Se consultó también sobre el modo, dirección de inicio del viaje, distancia recorrida, hora de salida y llegada y el costo asociado al mismo. Se preguntó también por la disponibilidad de otros modos, características del entorno físico asociadas al uso de la bicicleta como presencia de ciclovías, pendientes, estacionamientos, duchas, etc. Se recopilaron un total de 705 encuestas completas entre fines de 2018 (periodo primavera-verano) y mediados de 2019 (otoño), que representan un 5.7% del total de la población universitaria. La Figura 1, muestra la distribución espacial de los participantes de la encuesta en el área urbana de Temuco, y su ubicación relativa con respecto al Campus central de la UFRO.



**Figura 1.** Esquema del área urbana de Temuco y Padre Las Casas con la ubicación de los participantes

El resultado de la encuesta entrega importante información de la movilidad de la comunidad universitaria, aunque no puede considerarse como una muestra representativa. La Tabla 1 muestra la comparación entre la población UFRO (composición real de la comunidad universitaria) y la obtenida en la muestra. Se observa que la composición de pregrado en la muestra es menor que en la población real, mientras que la presencia de funcionarios es mayor. Otro aspecto es que las

encuestas de tipo *online* suelen producir muestras por conveniencia, es decir, se obtiene información solo de quienes están interesados, lo que puede provocar sesgos con respecto a la población real. Con respecto a la muestra, un 10% de los viajes fueron realizados en bicicleta, un 31% en automóvil, un 44% en transporte público y un 14% en caminata (Ver Tabla 2). En cuanto a la distancia recorrida para el primer viaje desde el hogar hacia el campus, los usuarios de bicicleta recorrieron en promedio 2.9 km, con una desviación estándar (D.S.) de 1.9 km, mientras que usuarios de automóvil recorrieron en promedio 5.9 km con una D.S. de 8.2 km, usuarios de transporte público, mostraron una media de distancia de viaje de 13.5 km y una D.S. de 20 km y finalmente, caminata tiene una media de 1.3 km y una desviación de 1.0 km.

**Tabla 1.** Comparación de entre la composición de la población UFRO y la muestra.

	Población	Muestra
Género		
Femenino	49%	50%
Masculino	51%	50%
Ocupación		
Pregrado	78%	58%
Postgrado	6%	5%
Académico	7%	19%
Administrativo	8%	18%

**Tabla 2.** Caracterización de la muestra según modo reportado (porcentajes en paréntesis)

Variable	Bicicleta	Automóvil	TP	Caminata	Total
Muestra	71 (10%)	223 (31%)	312 (44%)	99 (14%)	705
Género (Masculino)	55 (77%)	108 (48%)	134 (42%)	53 (53%)	350 (50%)
Ocupación					
Pregrado	52 (73%)	47 (21%)	244 (78%)	68 (68%)	411 (58%)
Postgrado	6 (8%)	9 (4%)	14 (4%)	8 (8%)	37 (5%)
Personal académico	6 (8%)	100 (44%)	9 (2%)	16 (16%)	131 (19%)
Personal No académico	7 (9%)	67 (30%)	45 (14%)	7 (7%)	126 (18%)

## 2.2 Instrumento

La teoría de la expectativa-valor (Reeve, 1994) indica que la fuerza de una actitud depende de dos factores: la expectativa que un individuo tenga de un resultado y la importancia o valor que asigne a estos posibles resultados. Estos dos factores se combinan para dar forma a la actitud, que se estima como una multiplicación entre estos dos elementos. Particularmente, para el caso en estudio la actitud es una variable latente medida a través de seis dimensiones, las cuales corresponden a comodidad, entretención, ambiente, salud, economía y seguridad (Lizana *et al.* 2019). Dos aseveraciones fueron desarrolladas para capturar la actitud hacia cada dimensión en una escala de 1 (muy en desacuerdo) a 5 (muy de acuerdo). La primera aseveración consultaba sobre la importancia durante el viaje en cada modo de las dimensiones y la segunda acerca de lo que la persona espera durante su viaje. La Tabla 3 presenta un detalle de las aseveraciones asociadas a cada uno de los seis indicadores. Los resultados obtenidos fueron verificados en cuanto a su consistencia interna a través del alpha de Cronbach, el cual resultó ser mayor a 0.7.

Tabla 3. Indicadores psicométricos para la medición de la actitud pro-bicicleta.

Variable		Pregunta asociada al indicador psicométrico
Comodidad	Valor	Es importante que mi viaje a la universidad sea cómodo.
	Expectativa	Viajar en bicicleta a la universidad es cómodo.
Diversión	Valor	Es importante que mi viaje a la universidad sea divertido.
	Expectativa	Viajar en bicicleta a la universidad es divertido.
Medio Ambiente	Valor	Es importante que mi viaje a la universidad sea amigable con el ambiente.
	Expectativa	Viajar en bicicleta a la universidad es ambientalmente amigable.
Salud	Valor	Es importante que mi viaje a la universidad sea físicamente y/o mentalmente saludable.
	Expectativa	Viajar en bicicleta a la universidad sea físicamente y/o mentalmente saludable.
Economía	Valor	Es importante que mi viaje a la universidad sea económico
	Expectativa	Viajar en bicicleta a la universidad es económico.
Seguridad	Valor	Es importante que mi viaje a la universidad sea seguro.
	Expectativa	Viajar en bicicleta a la universidad es seguro.

Tabla 4. Resultados promedio de valor, expectativa y actitud hacia la bicicleta de los encuestados, según el modo escogido.

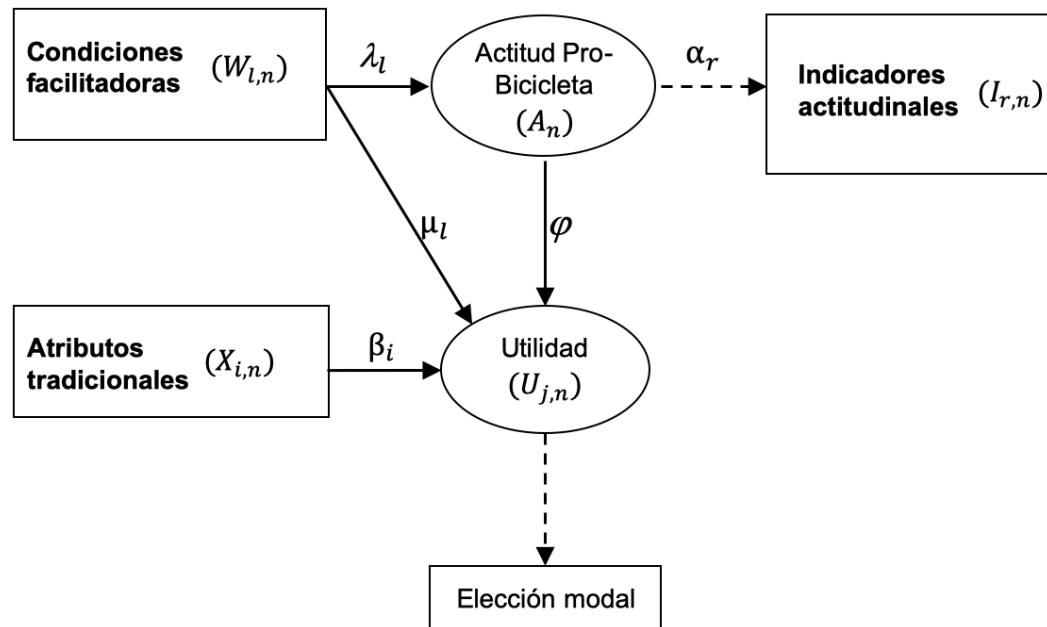
Modo	Indicador	Comodidad	Diversión	Ambiente	Salud	Economía	Seguridad
Todos	Valor	4.5	3.3	4.2	4.2	4.6	4.8
	Expectativa	3.1	3.6	4.5	4.2	4.6	2.7
	Actitud	14	12	19.4	17.9	21.3	12.9
Bicicleta	Valor	4.4	3.6	4.7	4.5	4.7	4.8
	Expectativa	4.3	4.4	4.7	4.6	4.9	3.3
	Actitud	18.8	16.2	22.1	21.1	23.2	16.1
Automóvil	Valor	4.6	3.3	4.2	4.2	4.2	4.8
	Expectativa	2.7	3.4	4.5	4.1	4.6	2.6
	Actitud	12.4	11.1	18.9	17.5	19.7	12.4
Transporte Público	Valor	4.5	3.2	4.2	4.2	4.7	4.8
	Expectativa	3.1	3.6	4.5	4.1	4.6	2.6
	Actitud	14.1	11.8	19.2	17.5	22	12.5

Los puntajes de la medición promedio de valor, expectativa y actitud hacia la bicicleta de los encuestados, según modo escogido, son presentados en la Tabla 4. Se evidencia una puntuación alta (superior a 4) para el indicador valor en todas las dimensiones medidas, exceptuando diversión. Esto indica que los usuarios no tienden necesariamente a esperar que su viaje sea divertido. Sin embargo, entre usuarios que indicaron usar la bicicleta más recurrentemente, se asignó levemente más importancia a este atributo. Para la expectativa es interesante hacer notar que las valoraciones dependen fuertemente del modo escogido, es decir, que lo que declara una persona esperar de un viaje en bicicleta se ve correlacionado drásticamente por su conocimiento previo y experiencias (Miller y Handy, 2012) Siguiendo esta línea, la puntuación de expectativa para el indicador comodidad en viajes en bicicleta declarada por quienes reportaron usar este modo llega a ser un 60% superior que la reportada por usuarios de automóvil y un 40% la de usuarios de transporte público. Si esto se relaciona con el valor, se concluye, que las personas que reportaron usar la

bicicleta son los únicos que a través de este modo podrían satisfacer el nivel de comodidad deseado para un viaje. Para el caso de seguridad, aunque el puntaje asignado es cercano al máximo para todos los usuarios en cuanto a lo que esperan de un viaje, el puntaje asignado a la expectativa de seguridad al utilizar la bicicleta se convierte en el peor valorado del instrumento, incluso para quienes declararon usar la bicicleta, aunque muestren ellos un puntaje superior (30% más).

### 2.3 Modelamiento

Se propuso un modelo integrado de elección discreta con variable latente, basado en el marco teórico proporcionado por la TIB, y siguiendo el trabajo de Idris *et al.* (2015), con el fin de incorporar explícitamente la actitud hacia la bicicleta y testear la contribución directa e indirecta de condiciones facilitadoras. El modelo final consideró una estimación simultánea del modelo de elección y la variable latente, utilizando Pandas Biogeme (Bierlaire, 2018), mediante un proceso iterativo para encontrar la mejor especificación posible. El modelo incorpora la actitud pro-bicicleta aditivamente a la función de utilidad, junto con el efecto de los atributos de las alternativas y la contribución de las condiciones facilitadoras, según se muestra en la Figura 2. Al mismo tiempo, a través de un modelo MIMIC (*multiple indicators multiples causes*) la variable latente es explicada por las condiciones facilitadoras. Las variables utilizadas en la modelación son descritas en la Tabla 5. Con la finalidad de obtener coeficientes con magnitud razonables se escalaron las variables tiempo de viaje, costo y distancia. Además, con fines de modelación, los valores de actitud obtenidos a través del producto de valor y expectativa fueron ajustados a una escala ordinal de cinco puntos, intentando mantener la distribución de las puntuaciones.



**Figura 2.** Esquema conceptual del modelo de elección discreta con variable latente estimado.

Tabla 5. Variables utilizadas en la modelación

	<b>Variab</b> les	<b>Descripción</b>
<b>Nivel de servicio</b>		
<b>Atributos de las alternativas</b>	Tiempo de viaje	Tiempo total de viaje en minutos x 100
	Costo	Costo total de viajes en CLP x 1000
	Distancia de viaje	Distancia de viaje (desde la casa hacia el campus) en km/10
<b>Condiciones Facilitadoras</b>		
<b>Socio-demografía</b>	Género (masculino)	Dummy. 1 si el usuario es hombre.
	Licencia de conducir	Dummy. 1 si la persona tiene licencia.
	Edad (25-35)	Dummy. 1 si el usuario tiene entre 25 y 35 años.
	Ocupación (estudiante)	Dummy. 1 si es estudiante de pregrado o postgrado.
	Niños en el hogar	Ordinal. Número de hijos en casa por debajo de 15 años.
	Hogar de alto ingreso	Dummy. 1 si el ingreso mensual en el hogar supera los CLP 2,250,000.
<b>Familiaridad</b>	Habilidad para andar en bicicleta	Ordinal. 1 (declara no tener habilidad) a 5 (declara ser usuario experto).
	Pedalear los fines de semana	Ordinal. Frecuencia de usar la bicicleta los fines de semana. 1 (nunca) a 4 (todos los fines de semana).
<b>Practicidad</b>	Viajar acompañado regularmente	Dummy. 1 si viaja recurrentemente con otro miembro del hogar.
	Llevar carga liviana regularmente	Dummy. 1 si el encuestado declara viajar con poca carga.
	Ubicación residencial cercana al trabajo/estudio	Dummy. 1 si el encuestado declara viajar una distancia inferior a los 2.5 km.
<b>Infraestructura bicicleta</b>	Cobertura de ciclovía	Porcentaje del trayecto desde el hogar del encuestado a la Universidad (destino) con ciclovía.
	Estacionamiento de bicicleta	Dummy. 1 si el encuestado declara que tiene estacionamiento para bicicleta disponible en su lugar de trabajo.
<b>Indicadores de actitud pro-bicicleta</b>		
<b>Actitud</b>	Actitud pro-bicicleta	Variable latente asociada a una actitud positiva hacia el uso de la bicicleta.
	Comodidad	Indicador actitudinal para comodidad. De 1 a 5.
	Entretención	Indicador actitudinal para entretención. De 1 a 5.
	Ambiente	Indicador actitudinal para ambiente. De 1 a 5.
	Economía	Indicador actitudinal para economía. De 1 a 5.
	Beneficios de salud	Indicador actitudinal para beneficios de salud. De 1 a 5.
	Seguridad	Indicador actitudinal para seguridad. De 1 a 5.

En este estudio, la variable latente actitud pro-bicicleta resulta del producto entre las puntuaciones de valor y la expectativa. El rol de variables explicativas en la variable latente fue también considerado en base a características sociodemográficas de la persona, su experiencia previa



utilizando la bicicleta y las características de la infraestructura de la bicicleta. Entonces, la variable latente pro-bicicleta está determinada por una estructura lineal, como a continuación se representa:

$$A_n = \lambda^0 + \sum_l \lambda_l W_{l,n} + \psi_n \quad \psi \sim N(0, \sigma_\psi), \quad (1)$$

donde  $\lambda^0$  y  $\lambda_l W_{l,n}$  representan la componente determinística de la variable latente,  $W_{l,n}$  corresponde a las condiciones facilitadoras que afectan o explican el grado de afinidad con una actitud positiva a la bicicleta,  $\lambda_l$  es la contribución marginal de cada variable explicativa a la variable latente y  $\psi$  es un término de error. Al mismo tiempo, la variable latente explica la respuesta de cada indicador actitudinal a través de un modelo de medida:

$$I_{rn} = \alpha_r^0 + \alpha_r A_n + v_{rn} \quad v \sim N(0, \sigma_v), \quad (2)$$

donde  $I_{rn}$  representa la respuesta del indicador actitudinal  $r$  para un usuario  $n$ , el cual es función de la variable latente  $A_n$ .  $\alpha$  es un vector que contiene los factores de carga que relacionan la variable latente con el indicador y  $v$  simboliza una medida de error.

La utilidad de cada modo depende de variables de nivel de servicio, como tiempo de viaje total, costo y distancia. En el modelo tanto la actitud como las condiciones facilitadoras son consideradas de forma aditiva en la función de utilidad. El efecto de la variable latente solo es ingresado a la función de utilidad de la bicicleta. De esta manera, para un usuario ( $n$ ) y para el modo bicicleta la función de utilidad queda especificada como:

$$U_{bike,n} = \beta_{bike}^0 + \sum_i \beta_{bike,i} X_{i,n} + \sum_l \mu_{bike,l} W_{l,n} + \varphi A_{bike,n} + \varepsilon_{bike,n} \quad \varepsilon \sim D(0, \sigma_\varepsilon), \quad (3)$$

Mientras que, para auto y transporte público, la función de utilidad viene dada por:

$$U_{j,n} = \beta_j^0 + \sum_i \beta_{j,i} X_{i,n} + \sum_l \mu_{l,j} W_{l,n} + \varepsilon_{j,n} \quad \varepsilon \sim D(0, \sigma_\varepsilon), \quad (4)$$

$\beta^0$  es la constante específica de cada alternativa,  $\beta_j$  es la utilidad marginal asociada a la variable  $X_i$ ,  $\mu_{l,j}$  es la contribución directa de la condición facilitadora  $W_l$  en la función de utilidad del modo  $j$ ,  $A_{bike}$  es la variable latente que representa la actitud pro-bicicleta y  $\varepsilon_{j,n}$  es la componente aleatoria. El modo caminata no fue considerado, debido a la baja magnitud de la distancia en dicho modo, que impedía considerar otras alternativas factibles para dichos usuarios. Así, la ecuación de la función de verosimilitud es la probabilidad conjunta de observar la elección y el indicador actitudinal:

$$\begin{aligned} & f_n(y_n, I_n | X_n, W_n; \alpha, \beta, \mu, \lambda, \sigma_\varepsilon, \sigma_v, \sigma_\psi) \\ &= \int_{A_{bike}} P(y_n | X_n, W_n, A_{bike,n}; \beta, \mu, \varphi, \sigma_\varepsilon) f(I_n | W_n, A_{bike,n}; \alpha, \sigma_v) f(A_{bike,n} | W_n; \lambda, \sigma_\psi) dA_{bike} \end{aligned} \quad (5)$$

El primer término de la integral corresponde a la elección modal, el segundo al modelo de medida y el tercero al modelo estructural asociado a la variable latente. Los coeficientes  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $\varphi$  fueron estimados de forma simultánea utilizando máxima verosimilitud simulada (Train, 2003). Considérese además que para tener una forma funcional tipo Logit, se asumió que los términos de error  $\varepsilon_n$  son distribuidos independiente e idénticamente tipo Gumbel. Por último, con el fin de capturar la diferencia en los cortes temporales en los que la base de datos fue recogida, cada función de utilidad se multiplicó por un factor de escala  $\rho$ . Este factor fue estimado siguiendo la especificación que se muestra en la ecuación (6). Aquí la variable corte temporal es una dummy que vale 1 si el dato pertenece a dicho periodo y 0 en caso contrario.

$$\rho = \rho_1 * \text{corte temporal } 1 + \rho_2 * \text{corte temporal } 2 \quad (6)$$

Para la estimación  $\rho_2$ , el factor de escala del corte temporal 2 es fijado en 1, mientras que  $\rho_1$ , el factor de escala correspondiente al corte temporal 1 debe ser estimado. Como el corte temporal 1 corresponde a un periodo primavera-verano de 2018, frente al corte temporal 2 que corresponde a otoño, se espera que  $\rho_1$  tenga un valor inferior a 1 (de referencia), dado que con mejores condiciones climáticas las personas experimentarían una menor desutilidad de las variables de nivel de servicio.

### 3. RESULTADOS

Los resultados de la estimación simultánea son presentados en dos tablas para facilitar su comprensión. La Tabla 6 muestra las utilidades marginales de las variables que están presentes directamente en la función de utilidad, mientras que la Tabla 7 presenta variables asociadas a la variable latente. Para estimar el modelo de medida se fijó como valores relativos el indicador actitudinal comodidad. Además, como los datos del estudio provienen de dos cortes temporales (fines de 2018 y comienzos de 2019), se incorporó un factor de escala para testear diferencias en las sensibilidades de los atributos entre ambos periodos, el cual multiplicaba a la función de utilidad de cada alternativa.

La constante específica del automóvil fue fijada como alternativa base, obteniéndose un ASC para la bicicleta de signo negativo y estadísticamente significativo. Para el caso del transporte público este valor resultó positivo, lo que se podría explicar producto de la elección de este modo aún cuando el automóvil estando disponible y presentando mejores niveles de servicio no fuese escogido. En relación a las variables de nivel de servicio tradicionales ( $\beta_i$ ) los signos y magnitudes resultaron de acuerdo a lo esperado y en base a las unidades escogidas de las variables en cuestión. El coeficiente del tiempo de viaje, sin embargo, resultó con un test-t inferior al umbral aceptable. Con dichos valores, el valor subjetivo del tiempo se estimó en 15.9, \$/min lo que se traduce en un valor hora de \$952. En cuanto a la distancia recorrida para la bicicleta, para su coeficiente se rechazó la hipótesis nula, dando cuenta de la relevancia de este variable para dicho modo.

En relación al efecto de la variable latente pro-bicicleta  $\varphi$ , se corrobora en un contexto local, los estudios realizados en países desarrollados por Gatersleben y Appleton (2007) y Miller y Handy (2012), demostrándose que la actitud hacia la bicicleta tiene un efecto relevante en su utilización. En cuanto a las condiciones facilitadoras que afectan directamente a la elección de este modo ( $\mu_{1,bike}$ ), se obtuvo que los individuos de género masculino tienen una mayor probabilidad de

utilizar este modo que los participantes de género femenino. Variables relacionadas a la practicidad de usar este modo también mostraron un efecto directo; llevar carga liviana contribuye positivamente a la elección de la bicicleta mientras que viajar con otra persona lo hace de forma negativa. Variables de familiaridad también contribuyeron de forma directa; utilizar la bicicleta los fines de semana y el tener una mayor habilidad para utilizar este modo favorecen la probabilidad de utilizar la bicicleta. Variables de infraestructura como la proporción del trayecto con ciclovía entre el hogar y la universidad, y el poseer estacionamientos en el lugar de destino fueron también incluidos directamente en la función de utilidad de la bicicleta, sin embargo, los test-t obtenidos aceptaron la hipótesis nula para ambas contribuciones marginales, lo que rechaza sus efectos directos. En relación a la función de utilidad del automóvil, viajar con otra persona, poseer licencia y tener altos ingresos fueron las variables facilitadoras que tuvieron un efecto estadísticamente significativo en dicho modo.

El coeficiente de escalamiento para la primera ola  $\rho_1$  (periodo primavera-verano) también fue estimado. Su valor resultó ser 0.76 comparado con un valor normalizado de 1.0 asociado a la segunda ola (otoño), con un test-t (0) de 5.93, lo que se traduce en una significancia comparado con 1 de 1.87, razón por la cual se mantuvo dicho coeficiente en la estimación. La interpretación se podría asociar el efecto estacional, donde en un periodo de primavera-verano, la desutilidad que experimenta un individuo por viajar un kilómetro más, o viajar un minuto más, es inferior a la expresada por aquellos que respondieron durante el periodo de otoño de 2019, que eventualmente tiene menores temperaturas y mayor probabilidad de lluvias, con mayor incerteza para el desarrollo del viaje.

**Tabla 6.** Resultados de la modelación, efectos directos en las funciones de utilidad.

Variable	Coefficiente (test-t)
ASC Bicicleta ( $\beta_{bike}^0$ )	-5.58 (-3.37)
ASC Transporte Público ( $\beta_{PT}^0$ )	3.6 (6.8)
Costo ( $\beta_1$ )	-0.8 (-3.61)
Tiempo de viaje ( $\beta_2$ )	-1.27 (-1.41)
Distancia ( $\beta_3$ )	-5.17 (-3.28)
Variable latente pro-bicicleta ( $\varphi_{bike}$ )	0.37 (2.54)
Género masculino ( $\mu_{1,bike}$ )	0.92 (1.96)
Llevar carga liviana ( $\mu_{2,bike}$ )	0.75 (1.25)
Viajar con otra persona ( $\mu_{3,bike}$ )	-2.42 (-2.31)
Andar en bicicleta en fin de semana ( $\mu_{4,bike}$ )	1.08 (3.74)
Habilidad para usar la bicicleta ( $\mu_{5,bike}$ )	1.17 (3.58)
Cobertura de ciclovía ( $\mu_{6,bike}$ )	0.73 (0.98)
Estacionamiento de bicicletas ( $\mu_{7,bike}$ )	0.23 (0.35)
Viajar con otra persona ( $\mu_{1,auto}$ )	2.37 (5.17)
Licencia ( $\mu_{2,auto}$ )	3.35 (7.45)
Ingreso alto ( $\mu_{3,auto}$ )	3.19 (5.54)
Coefficiente escalamiento primavera-verano ( $\rho_1$ )	0.765 (5.93)
Log-verosimilitud final	-4352.85
Rho-cuadrado	0.676

En relación a la composición de los factores de carga ( $\alpha_r$ ) de la variable latente pro-bicicleta, es posible observar que cada indicador resultó estadísticamente significativo y positivo. Sin embargo, para la misma ecuación de medida de la variable latente se obtuvieron interceptos negativos para los indicadores seguridad y entretención. La interpretación de estos resultados radica en que la evaluación base de las personas es negativa hacia estas dimensiones y sólo, a través de una actitud positiva hacia la bicicleta promovida por las condiciones facilitadoras, se podría superar esta apreciación base. Con respecto a las variables que vienen a explicar la actitud pro-bicicleta de un individuo ( $\lambda_l$ ), se tiene que individuos de género masculino tienen una mejor actitud hacia este modo, mientras que altos ingresos y tener licencia de conducir se correlacionan negativamente. Las variables relacionadas a la practicidad de usar la bicicleta, como llevar carga liviana y vivir a corta distancia del trabajo/lugar de estudios (menores a 2.5 km), contribuyen a formar una mayor actitud. Similar efecto producen variables relacionadas a la familiaridad, como utilizar la bicicleta los fines de semana y el tener una mayor habilidad para usar la bicicleta. Finalmente, a diferencia del rechazo del efecto directo en la función de utilidad de la bicicleta de variables de infraestructura, la cobertura de ciclovías del trayecto y los estacionamientos de bicicleta sí tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la formación de la variable latente. En relación a la función de utilidad del automóvil, viajar con otra persona, poseer licencia y tener ingresos altos fueron las variables facilitadoras que tuvieron un efecto estadísticamente significativo.

**Tabla 7.** Resultados de la modelación, variable latente actitud pro-bicicleta.

Variable	Coefficiente (test-t)
Modelo estructural actitud pro-bicicleta - MIMIC	
Intercepto actitud pro-bicicleta ( $\lambda^0$ )	-5.33 (-7.13)
Hombre ( $\lambda_1$ )	0.68 (2.73)
Estudiante ( $\lambda_2$ )	-0.09 (-0.34)
Edad ( $\lambda_3$ )	0.31 (1.11)
Ingreso alto ( $\lambda_4$ )	-1.02 (-3.1)
Tener licencia de conducir ( $\lambda_5$ )	-0.53 (-2.12)
Llevar carga liviana ( $\lambda_6$ )	0.86 (3.18)
Localización residencial cercana < 2.5 km ( $\lambda_7$ )	0.68 (2.83)
Andar en bicicleta en fin de semana ( $\lambda_8$ )	0.9 (6.54)
Habilidad para usar la bicicleta ( $\lambda_9$ )	0.49 (2.82)
Cobertura de ciclovía ( $\lambda_{10}$ )	1.53 (3.64)
Estacionamiento de bicicletas ( $\lambda_{11}$ )	0.54 (1.85)
Modelo de medida	
Intercepto Comodidad ( $\alpha_1^0$ )	1
Intercepto Entretención ( $\alpha_2^0$ )	-0.88 (-5.25)
Intercepto Economía ( $\alpha_3^0$ )	5.53 (15.7)
Intercepto Salud ( $\alpha_4^0$ )	2.94 (13.2)
Intercepto Seguridad ( $\alpha_5^0$ )	-1.11 (-5.95)
Intercepto Ambiente ( $\alpha_6^0$ )	3.74 (15.0)
Indicador actitudinal Comodidad ( $\alpha_1$ )	1
Indicador actitudinal Entretención ( $\alpha_2$ )	0.98 (12.4)
Indicador actitudinal Economía ( $\alpha_3$ )	0.82 (7.95)
Indicador actitudinal Salud ( $\alpha_4$ )	0.91 (10.5)
Indicador actitudinal Seguridad ( $\alpha_5$ )	0.66 (8.23)
Indicador actitudinal Ambiente ( $\alpha_6$ )	0.79 (9.17)

#### 4. CONCLUSIONES

Este trabajo se ha focalizado en la importancia que juega la actitud y las condiciones facilitadoras en la elección de la bicicleta para desplazamientos cotidianos. Mediante este trabajo se logró medir la actitud pro-bicicleta en una muestra de funcionarios y estudiantes de la Universidad de La Frontera, Chile. Siguiendo un enfoque de modelación que integra un modelo de elección discreta tradicional con uno de variable latente fue posible estudiar en conjunto el efecto de la variable pro-bicicleta y el de las condiciones facilitadoras. Particularmente, a mayor actitud pro-bicicleta, mayor será la probabilidad de escoger este modo de transporte. En relación al efecto de las ciclovías en la elección de la bicicleta, este trabajo muestra que cuando simultáneamente se estima su contribución directa e indirecta, sólo la segunda resulta estadísticamente significativa. Una interpretación para este resultado radica en la dificultad de que un individuo internalice de forma inmediata el aporte de una ciclovía a su utilidad del modo bicicleta. Por el contrario, el aporte de la infraestructura parece ser mediado a través de la actitud, lo requeriría necesariamente que el individuo interactúe con dicha infraestructura primero, para de esta forma incrementar su expectativa hacia las dimensiones analizadas de este modo a través de la experiencia (por ejemplo, seguridad, comodidad y diversión). Esto sería particularmente relevante cuando las ciclovías han sido construidas recientemente, como era el caso de Temuco en la fecha del estudio. Esta interacción entre individuo y condiciones facilitadoras resultaría primordial para traducir las bondades de la provisión de infraestructura dedicada a la bicicleta en un real aumento en la utilización de este modo.

Desde un punto de vista de aplicación práctica, este trabajo entrega importantes señales de cómo promover la utilización de la bicicleta. En primer lugar, fortalecer políticas públicas asociadas a mejorar la valoración de usar la bicicleta tendría un impacto positivo en aumentar su utilización. Promover actividades que aumenten la familiaridad hacia la bicicleta, como actividades durante los fines de semana o programas educativos tendientes a mejorar habilidades de manejo de la bicicleta en quienes aún no las tengan, serían también deseables. Estos hallazgos están en línea con ciertas actividades desarrolladas ya en la ciudad de Temuco, como la denominada “Cicl recreo vía”, la cual establece un circuito cerrado con destinación exclusiva para el paseo en bicicleta los días domingo. Finalmente, es necesario considerar que la valoración base en torno a los indicadores actitudinales de seguridad y diversión resultaron negativos, mientras que las de ambiente, economía y salud resultaron positivos. Así, la evidencia de este trabajo indica que estos elementos (seguridad y calidad del viaje en bicicleta) son desde el punto de vista actitudinal los que están impidiendo una mayor difusión de este modo. En este sentido, este trabajo también entrega pruebas de cuáles son los factores en los que potenciales campañas deberían enfocarse; quizá parte importante de la población ha comprendido los beneficios económicos, de salud y al ambiente de la bicicleta, pero siguen teniendo desconfianza en cuanto a la seguridad y la experiencia del viaje. Por tanto, más atención debería darse en cómo las personas pudieran desarrollar un viaje cotidiano en bicicleta de forma segura y cómo esto se traduce en una experiencia positiva.

Investigaciones futuras deberían poner énfasis en evaluar el efecto de la provisión de infraestructura dedicada a la bicicleta sobre la actitud de población objetivo, para diferentes cortes temporales. Incluir el efecto de actitudes a otros modos, afectos, norma social y hábito también sería deseable. Finalmente, a raíz de la aparición del COVID-19, sería muy importante analizar cómo la pandemia ha cambiado las actitudes de las personas hacia la bicicleta.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento parcial de este trabajo por parte del proyecto DI18-0065 de la Universidad de La Frontera. También se agradece el apoyo de financiero parcial de ANID PIA / BASAL AFB180003.

## REFERENCIAS

- Anable, J., & 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 Part A: Policy and Practice**, 39, 163-181.
- Ben-Akiva, M., McFadden, D., Train, K., Walker, J., Bhat, C., Bierlaire, M., Bolduc, D., Boersch-Supan, A., Brownstone, D., Bunch, D.S., Daly, A., De Palma, A., Gopinath, D., Karlstrom, A., & Munizaga, M. (2002) Hybrid choice models: Progress and challenges. **Marketing Letters**, 13(3), 163-175.
- Bhat, C. R., & Dubey, S. K. (2014) A new estimation approach to integrate latent psychological constructs in choice modeling. **Transportation Research Part B: Methodological**, 67, 68–85.
- Bierlaire, M. (2018) **PandasBiogeme: a short introduction**. Technical report TRANSP-OR 181219. Transport and Mobility Laboratory, ENAC, EPFL.
- Domarchi C., Tudela A., González A. (2008) Effect of attitudes, habit and affective appraisal on mode choice: an application to university workers. **Transportation**, 35, 585-599.
- Fitch, D., Sharpnack, J., & Handy, S. (2020) Psychological stress of bicycling with traffic: examining heart rate variability of bicyclists in natural urban environments. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, 70, 81-97.
- Galdames, C., A. Tudela, & Carrasco, J.A. (2011) Exploring the role of psychological factors in mode choice models by a latent variables approach. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 2230, 68-74.
- Gatersleben, B., & Appleton K.M. (2007) Contemplating cycling to work: Attitudes and perceptions in different stages of change. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 41.
- Heinen, E., Maat, K., & Wee, B. van. (2011) The role of attitudes toward characteristics of bicycle commuting on the choice to cycle to work over various distances. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 16(2), 102-109.
- Idris, A.O., Habib, N., Tudela, A. & Shalaby, A. (2015) Investigating the effects of psychological factors on commuting mode choice behaviour. **Transportation Planning and Technology**, 38 (3), 265-276.

Lizana, M., Tapia, A., Jara, M. Tudela, R., (2019) Incorporación del efecto de variables psicosociales en la modelación de la elección de la bicicleta. **19º Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, octubre 2019, Santiago, Chile.

Miller, J. & Handy, S. (2012) Factors that influence university employees to commute by bicycle. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 2314, 112-119.

Muñoz, B., Monzon, A. & Daziano, R. (2016) The increasing role of latent variables in modelling bicycle mode choice. **Transport Reviews**, 36(6), 737-771.

Ogilvie, D., Egan, M., Hamilton, V., & Petticrew, M. (2004) Promoting walking and cycling as an alternative to using cars: Systematic review. **British Medical Journal**, 329 (7469), 763-766.

Ortúzar, J. & Willumsen, L. (2011) **Modelling Transport**, 4th edn. John Wiley, Chichester, United Kingdom.

Reeve, J. (1994) **Motivación y Emoción**. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid.

Rossetti, T., Saud, V., Hurtubia, R. (2017). I want to ride it where I like: measuring design preferences in cycling infrastructure. **Transportation**, 46. 697-718.

Rossetti, T., A. Guevara, C., Galilea, P., Hurtubia, R. (2018) Modeling safety as a perceptual latent variable to assess cycling infrastructure. **Transportation Research Part A**, 111, 252-265.

SECTRA (2020) Transport Planning Office. Transport and Telecommunications Ministry. Chile. Origen-Destinations Surveys. Web resource. Available at: [http://www.sectra.gob.cl/encuestas\\_movilidad/encuestas\\_movilidad.htm](http://www.sectra.gob.cl/encuestas_movilidad/encuestas_movilidad.htm). Accessed 01 March 2020.

Sottile, E., Sanjust di Teulada, B., Meloni, I. & Cherchi, E. (2018) Estimation and validation of hybrid choice models to identify the role of perception in the choice to cycle. **International Journal of Sustainable Transportation**, 13 (8), 543-552.

Train, K.E. (2003) **Discrete choice methods with simulation**. Cambridge University Press. First Ed.

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

Useche, S., Montoro, L., Sanmartin, J., & Alonso, F. (2019) Healthy but risky: A descriptive study on cyclists' encouraging and discouraging factors for using bicycles, habits and safety outcomes. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, 62, 587-598.