



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

FACTORES LATENTES QUE AFECTAN LA PROPENSIÓN A USAR BICICLETA EN VIAJES OBLIGADOS

MARGARETH GIOVANNA GUTIERREZ TORRES

Tesis para optar al grado de
Doctor en Ciencias de la Ingeniería

Profesores Supervisores:
RICARDO HURTUBIA
JUAN DE DIOS ORTÚZAR

Santiago de Chile

© 2021, Margareth Giovanna Gutiérrez Torres



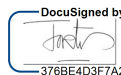
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

FACTORES LATENTES QUE AFECTAN LA PROPENSIÓN A USAR BICICLETA EN VIAJES OBLIGADOS

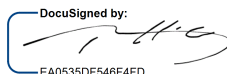
MARGARETH GIOVANNA GUTIERREZ TORRES

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

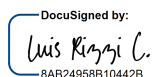
JUAN DE DIOS ORTÚZAR

DocuSigned by:

376BE4D3F7A24BE...

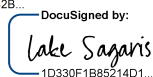
RICARDO HURTUBIA

DocuSigned by:

EA0535DF546F4FD...

LUIS RIZZI

DocuSigned by:

8AB24958B10442B...

LAKE SAGARIS

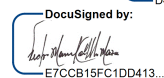
DocuSigned by:

1D330F1B85214D1...

ALEJANDRO TIRACHINI

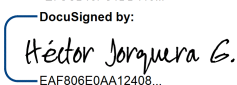
DocuSigned by:

D4537E31B2664B5...

VICTOR CANTILLO

DocuSigned by:

E7CCB15FC1DD413...

HÉCTOR JORQUERA

DocuSigned by:

EAF806E0AA12408...

Para completar las exigencias del grado de

Doctor en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, junio 2021

A Dios, a mis padres y a mi esposo

AGRADECIMIENTOS

“Nobody said it was easy. No one ever said it would be so hard” - Coldplay. Esta frase me acompañó durante todos estos años, etapa que hoy finalmente cierro con el corazón lleno de gratitud.

Empiezo dando gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de empezar y, sobre todo, terminar este doctorado; la fortaleza, el conocimiento y la voluntad de seguir, a pesar de los contratiempos, fueron dados por Él. Te agradezco Señor, sobre todo por haber cuidado de mi familia mientras no estuve, haberle guardado la vida a mi mamá y permitirme estar a su lado, y compartir este logro con ella hoy, esto ha sido mi más grande bendición.

A mi papá Manuel, mi columna, mi consejero y mi primer amor. A mi mamá Xilene por sus consejos, por sus innumerables oraciones. Gracias por ser los mejores padres y por haber hecho de mí la mujer que soy hoy, acompañándome a cumplir cada uno de mis sueños. A mi esposo Nelson, mi otro gran amor, gracias cielo por haberme apoyado, sacrificado tu comodidad y estabilidad durante años por acompañarme en este proceso, gracias por cada palabra de aliento, y por recordarme en cada momento que soy capaz. Los amo.

Agradecer a mis supervisores. Juan de Dios, sin su apoyo, confianza, y paciencia no habría sido posible llegar hasta aquí. Su conocimiento y experiencia me han llevado a admirarlo y apreciarlo tanto que siempre será un referente y mi modelo a seguir. A Ricardo, quien llegó en el momento justo y me dio el empuje que necesitaba para continuar y retomar el amor por mi investigación. Ha sido un privilegio para mí trabajar con Uds., gracias por la paciencia y dedicación, espero seguir trabajando con ustedes de aquí en adelante, me queda aún mucho por aprender.

Mi profe Víctor, quién sin conocerme me dio la oportunidad de trabajar a su lado, y me enseñó el amor por la academia y la investigación. Gracias por ser mi supervisor adjunto desde el momento que empecé y muchas gracias por la confianza que ha depositado en mí desde hace más de 14 años.

Un agradecimiento especial a los miembros de mi comisión, que dedicaron tiempo para revisar mi investigación y me brindaron su experiencia y conocimiento para mejorar. A la profesora Patricia Galilea, por mostrarme que las mujeres también podemos ser buenas

esposas, mamás, excelentes profesoras, investigadoras y aún ser buenas personas. Mi admiración para ti como mujer y profesional. A los profesores Luis Ignacio Rizzi y Juan Carlos Muñoz, por sus consejos y siempre estar pendiente no solo de lo académico, si no de lo personal, muchas gracias.

A todo el Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) por haberme acogido. Agradezco a todos los profesores por cada una de sus enseñanzas; quiero agradecer, además, la atención y disposición del personal administrativo: Juvenal, Cindy, Katy, Ignacia y Claudia.

A mis compañeros del departamento, con quienes compartí por muchos años, personas maravillosas que conocí: Ana Batista, Cristian Domarchi, David Palma, Fausto de la Cadena, Felipe González, Jaime Sosa, Natan Waintrub, Pablo Guarda, Tomás Cox.

Un agradecimiento especial para mis amigos, la familia que este doctorado me dejó, gracias por los almuerzos de tertulia y desahogo, gracias por los momentos compartidos y el apoyo durante todo este proceso: Carlos Bueno, Cesar Henao, Gloria Amaris, Jaime Allen, José Soto, José Vallejo, Luis Ángel Cantillo, Marcela Díaz, Melissa Sanabria, Omar Ibarra, Priscila Gamboa, Raúl Ramos, Reinel Ruiz, Thomas Guerrero, Yerly Martínez. Agradezco a Julián Arellana por su apoyo y consejos desde el inicio y a Liliana Ríos por abrirme las puertas de su casa desde el primer día de mi llegada a Chile. A mi otra familia colombiana, gracias por las aventuras, por los consejos y el cariño: Esteban, Martín, Mayra, Olga, y Sofía.

Finalmente, gracias a las instituciones que financiaron esta investigación. A CONICYT mediante la Beca Doctorado Nacional. Al Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS), al Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), a la Vicerrectoría de Investigación y la Dirección de Postgrado de la PUC.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCION	1
1.1 Revisión Bibliográfica.....	2
1.1.1 Variables demográficas y socioeconómicas	3
1.1.2 Análisis de la demanda	3
1.1.3 Variables de infraestructura y política	5
1.1.4 Hábito y cambio de comportamiento.....	6
1.1.5 Actitudes y percepciones	7
1.2 Hipótesis de la Investigación.....	11
1.3 Objetivos de la Investigación	11
1.4 Metodología.....	12
1.4.1 Trabajo preliminar	12
1.4.2 Modelación	13
1.4.3 Análisis de resultados y propuestas de políticas.....	13
1.5 Contenido de la Investigación y Contribuciones.....	14
1.5.1 Capítulo 3 – Estimación de la demanda de bicicleta en un entorno agresivo.....	14
1.5.2 Capítulo 4 – Rol del hábito y del entorno construido en la disposición a viajar en bicicleta	15
1.5.3 Capítulo 5 – Disposición a cambiar viajes obligatorios a bicicleta: rol del hábito, las percepciones y el entorno construido	16
2. METODOLOGIA Y DISEÑO DE LOS INSTRUMENTOS.....	18
2.1 Revisión de literatura sobre hábito	18
2.2 Modelo propuesto.....	20
2.3 Diseño del instrumento: versión aplicada en Barranquilla.....	23
2.4 Diseño preliminar del instrumento aplicado en Santiago.....	27
2.5 Grupo focal.....	28
2.6 Indicadores psicométricos	30
2.7 Diseño de encuesta definitiva para Santiago.....	34
2.7.1 Información del viaje.....	34
2.7.2 Diseño encuesta de preferencias declaradas	37
2.8 Implementación de la encuesta.....	40
2.9 Pruebas piloto	42

3.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE BICICLETAS EN UN ENTORNO AGRESIVO.....	43
3.1	Introducción.....	43
3.2	Ciclismo en un entorno agresivo: el caso de Barranquilla	44
3.2.1	Sistema de transporte e información demográfica.....	44
3.2.2	Recopilación de datos	47
3.3	Resultados e implicaciones de la estimación del modelo.....	48
3.3.1	Resultados del modelo.....	48
3.3.2	Implicaciones para políticas públicas	55
3.4	Conclusiones	57
4.	ROL DEL HÁBITO Y EL ENTORNO CONSTRUIDO EN LA DISPOSICIÓN A VIAJAR EN BICICLETA.....	59
4.1	Introducción.....	59
4.2	Metodología.....	62
4.3	Caso de estudio: Santiago.....	62
4.4	Análisis de Datos.....	64
4.5	Estimación de modelos.....	67
4.5.1	Modelo logit ordinal simple (LOS)	68
4.5.2	Análisis de componentes principales (PCA)	69
4.5.3	Modelo logit ordinal híbrido (LOH).....	71
4.5.4	Una aplicación rápida del modelo	76
4.6	Discusión	77
5.	DISPOSICIÓN DE CAMBIAR VIAJES OBLIGADOS A BICICLETA: ROL DEL HÁBITO, LAS PERCEPCIONES Y EL ENTORNO CONSTRUIDO	81
5.1	Introducción.....	81
5.2	Principales resultados de la encuesta.....	83
5.3	Resultados de la modelación	84
5.4	Discusión e implicaciones de políticas.....	91
5.5	Conclusiones	94
6.	CONCLUSIONES	96
7.	BIBLIOGRAFIA	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Resumen de estudios sobre demanda, actitudes y percepciones hacia la bicicleta	8
Tabla 2-1. SRHI completo y sub-escala usada en esta investigación	20
Tabla 2-2. Niveles de satisfacción hacia la bicicleta e indicadores perceptuales	24
Tabla 2-3. Características sociodemográficas de participantes al grupo focal	28
Tabla 2-4. Velocidad promedio (km/h) del viaje según modo de transporte.....	36
Tabla 2-5. Atributos de nivel de servicio por modo	36
Tabla 3-1. Características socioeconómicas de la muestra	47
Tabla 3-2. Matriz factorial del PCA con rotación oblicua.....	49
Tabla 3-3. Atributos relevantes en el modelo logit mixto y el modelo híbrido	51
Tabla 3-4. Atributos relevantes del modelo MIMIC	52
Tabla 4-1. Descripción de variables del entorno construido.....	66
Tabla 4-2. Descripción de variables usadas en los modelos	67
Tabla 4-3. Resultados de estimación del modelo ordinal simple.....	68
Tabla 4-4. Satisfacción hacia uso de bicicleta e indicadores de percepción.....	70
Tabla 4-5. Resultados de estimación del modelo logit ordinal híbrido	73
Tabla 4-6. Parámetros de las ecuaciones de medición del modelo LOH.....	74
Tabla 5-1. Estadísticas de la muestra de modelación	83
Tabla 5-2. Atributos relevantes del modelo modelo híbrido de elección discreta.....	87
Tabla 5-3. Resultados de la estimación del modelo MIMIC	90
Tabla 5-4. Valores medios según nivel de ingreso en la comuna de origen.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Ejemplo de situación de elección encuesta PD de Barranquilla	24
Figura 2-2. Representación del nivel hacinamiento en encuesta de Barranquilla, basado en Batarce <i>et al.</i> (2015).....	26
Figura 2-3. Indicadores actitudinales de uso de modos de transporte motorizado	31
Figura 2-4. Indicadores de percepción como incentivos para usar la bicicleta	32
Figura 2-5. Indicadores de percepción como barreras hacia el uso de la bicicleta.....	33
Figura 2-6. Representación gráfica según mapa Google para ubicar origen y destino.....	35
Figura 2-7. Niveles de hacinamiento, basado en Tirachini <i>et al.</i> (2017).....	38
Figura 2-8. Cuatro tipos de ciclovía, basado en Rossetti et al. (2018)	39
Figura 2-9. Tipos de estacionamiento para bicicleta presentados en el experimento PD...39	
Figura 2-10. Ejemplo presentación a los encuestados de una situación de elección	41
Figura 3-1. Moto-taxis circulando en municipio de Soledad. (Fuente: El Herald, 2018).45	
Figura 3-2. Mapa de infraestructura ciclista en Barranquilla (Fuente: POT, 2014)	46
Figura 3-3. Porcentaje de respuestas para cada indicador de variables latentes	48
Figura 3-4. Diagrama del modelo híbrido de elección discreta	50
Figura 4-1. Diagrama de flujo metodológico.....	62
Figura 4-2. Porcentaje de hogares con jefe de hogar con educación superior	62
Figura 4-3. Densidad de puestos de trabajo (viajes atraídos/ha con propósito trabajo)	63
Figura 4-4. Partición modal por quintil de ingreso en 2012	64
Figura 4-5. Origen y destino de viajes diarios al trabajo/estudio de encuestados	65
Figura 4-6. Frecuencia de indicadores para hábito y percepciones	71
Figura 4-7. Especificación del modelo híbrido de elección discreta	72
Figura 4-8. Distribución de probabilidades de “Sí” por municipalidad en Santiago.....	77
Figura 5-1. Origen y destino de viajes al trabajo/estudio en muestra de modelación	93

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

FACTORES LATENTES QUE AFECTAN LA PROPENSIÓN A USAR BICICLETA EN
VIAJES OBLIGADOS

Tesis enviada a la Dirección de Postgrado en cumplimiento parcial de los requisitos para el
grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería.

MARGARETH GIOVANNA GUTIERREZ TORRES

RESUMEN

La bicicleta se ha convertido en una tendencia mundial en los últimos años, no solo como modo de transporte, sino también como una práctica de estilo de vida saludable. En grandes ciudades latinoamericanas, con altas tasas de congestión, los viajes de menos de 10 km pueden ser más rápidos en bicicleta que en cualquier otro modo. Además, estudios recientes han demostrado que las personas que utilizan bicicleta en sus desplazamientos diarios son más saludables que quienes no la usan o la utilizan de forma ocasional. Sin embargo, la percepción del entorno puede ser un factor clave a la hora de elegir el modo de transporte en viajes diarios. Por ello, la carencia de infraestructura adecuada, unida a la existencia de condiciones ambientales que no favorecen el ciclismo, puede explicar el menor uso relativo de bicicleta en América Latina. No obstante, a pesar que la provisión de infraestructura ciclista es escasa o desigual en la mayoría de la región, recientemente se ha notado un incremento del uso de bicicleta en viajes diarios con distintos propósitos.

Esta tesis ofrece una metodología para estudiar la disposición a cambiarse a bicicleta en viajes de carácter obligado en dos ciudades latinoamericanas. En particular, la investigación se centra en comprender los factores demográficos, psicológicos y del entorno que influyen en la elección y, al mismo tiempo, en cuantificar el rol de las percepciones y actitudes de los individuos hacia la bicicleta. Así, se parte reconociendo que la elección de bicicleta no solo es afectada por variables asociadas a su nivel de servicio. A su vez, la tesis busca reconocer la importancia del hábito en prevenir cambios de comportamiento asociados al transporte. Las dos ciudades elegidas para este estudio son Barranquilla en Colombia, y Santiago en

Chile; a pesar de sus diferencias, ambas comparten una característica, que es la falta de equidad en la disponibilidad de infraestructura ciclista en la ciudad.

A través de encuestas de preferencias declaradas, presentamos situaciones hipotéticas de elección a individuos que no son ciclistas habituales, quienes debían elegir entre el modo de transporte que usaban en su viaje obligado y la bicicleta. Los atributos de las alternativas variaban en cada escenario, siguiendo un diseño experimental eficiente, construido en base a los datos reales de los viajes reportados por cada individuo. A partir de la información recopilada en estas encuestas, unida a información psicométrica sobre hábito, actitudes y percepciones de cada encuestado, se estimó modelos híbridos de elección discreta incorporando variables latentes.

Los resultados permiten concluir que los factores latentes juegan un importante rol en el proceso de elección o de disposición al cambio. Por ejemplo, un fuerte hábito puede ser el causante de que modos de transporte más rápidos o económicos en el caso de un viaje determinado, como la bicicleta, no sean preferidos sobre el modo al que el individuo ya está habituado. Por otra parte, en los dos contextos estudiados, se encontró que la percepción de inseguridad al usar la bicicleta, la hacía menos atractiva, dado el riesgo de sufrir un accidente o un robo. Estos resultados pueden ser un importante aporte en términos conocer, más en profundidad, el comportamiento y las percepciones de usuarios potenciales y que factores pueden ser relevantes a la hora de proponer políticas que busquen incentivar la bicicleta como modo de transporte principal en viajes obligados.

De igual manera, esta investigación aporta al conocimiento sobre los factores que influyen en la decisión y en las percepciones individuales, y confirma algunas premisas encontradas en investigaciones similares aplicadas en ciudades con características distintas a las analizadas. Como elementos diferenciadores cabe resaltar: (i) el desarrollo de una metodología que permite implementar encuestas de preferencias declaradas a partir de datos reportados por los individuos, vía online y diseños complejos para cada tipo de modo de transporte alternativo; (2) la identificación de la distancia del viaje como una variable clave tanto en el estudio de la disposición a elegir bicicleta como en las percepciones individuales, y (3) la comparación de resultados con el fin de proponer políticas replicables en los dos contextos estudiados.

Miembros de la Comisión de Tesis Doctoral

RICARDO HURTUBIA

JUAN DE DIOS ORTUZAR

VICTOR MANUEL CANTILLO

LUIS IGNACIO RIZZI

LAKE SAGARIS

ALEJANDRO TIRACHINI

HECTOR JORQUERA

Santiago de Chile, junio, 2021

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

LATENT FACTORS AFFECTING THE WILLINGNESS TO USE BICYCLE IN
COMPULSORY TRIPS

Thesis submitted to the Office Graduate Studies in partial fulfillment of the requirements
for the Degree of Doctor in Engineering Sciences by

MARGARETH GIOVANNA GUTIERREZ TORRES

ABSTRACT

The bicycle has become a global trend in recent years, not only as a mode of transportation, but also as a healthy lifestyle practice. In large Latin American cities, with high congestion rates, bicycle trips of less than 10 km can be faster than in any other mode. In addition, recent studies have shown that people who use the bicycle in their daily commutes are healthier than those who do not use it or who use it occasionally. However, the perception of the environment where we move can be a key factor when choosing the mode of transport for daily trips. Therefore, the lack of adequate infrastructure, together with the existence of environmental conditions that do not favour cycling, may explain the lower relative use of bicycles in Latin America. However, even though the provision of cycling infrastructure is scarce or unequal in most cities of the region, there has been a recent increase in the use of bicycles for different purposes on daily trips.

This thesis offers a methodology to study the willingness to switch to bicycle for compulsory trips in two Latin American cities. The research focuses on understanding the demographic, psychological and environmental factors that influence choice and, at the same time, on quantifying the role of individuals' perceptions and attitudes towards cycling. Thus, it starts by recognizing that the choice of bicycle is not only affected by variables associated with its level of service. In turn, the thesis seeks to recognize the importance of habit in preventing behavioural changes associated with transportation. The two cities chosen for this study are Barranquilla in Colombia, and Santiago in Chile. Despite their differences,

both share as a characteristic the lack of equity in the availability of cycling infrastructure in the city.

Through stated preference surveys, we presented hypothetical choice situations to individuals who are not habitual cyclists, and asked them to choose between their current mode of transport for compulsory trip and the bicycle. The attributes of the alternatives varied in each scenario, following an efficient experimental design, pivoted on the trips reported by each individual. From the information collected in these surveys, together with psychometric information about habit, attitudes and perceptions of each respondent, hybrid discrete choice models were estimated incorporating latent variables.

The results allow us to conclude that latent factors play an important role in the process of choice or in the willingness to change. For example, a strong habit may explain why faster or cheaper modes of transport in the case of certain trips, such as the bicycle, are not chosen instead of the individuals' habitual modes. On the other hand, in the two contexts studied, we found that the perception of safety/insecurity associated with using bicycle made it less attractive, given the perceived risk of suffering an accident or theft. These results may be important in terms of understanding, in more depth, the behaviour and perceptions of potential bicycle users and the factors that may be relevant when proposing policies seeking to encourage cycling as the main mode of transport for compulsory trips.

Similarly, this research contributes to the knowledge about the factors that influence decisions and individual perceptions, and confirms some premises found in similar research applied in cities with different characteristics. As differentiating elements, it is worth highlighting: (i) the development of a methodology that allows the implementation of stated preference surveys based on data reported by individuals, via online and using complex designs for various types of alternative transport modes; (ii) the identification of travel distance as a key variable both in the study of the willingness to choose bicycle and in individual perceptions, and (iii) the comparison of results for different environments, allowing to propose replicable policies in the two contexts studied.

Members of the Doctoral Thesis Committee:

RICARDO HURTUBIA

JUAN DE DIOS ORTÚZAR

VICTOR MANUEL CANTILLO

LUIS IGNACIO RIZZI

LAKE SAGARIS

ALEJANDRO TIRACHINI

HECTOR JORQUERA

Santiago de Chile, June, 2021

1. INTRODUCCION

En gran parte de las ciudades latinoamericanas, el desarrollo de la infraestructura vial y las políticas de movilidad se han centrado en la circulación de vehículos motorizados, tanto automóvil privado como sistemas de transporte público, dejando en muchos casos relegados a un rol secundario a peatones y ciclistas. Este fenómeno, junto con el constante crecimiento de la cultura del automovilismo, uso arraigado del automóvil, o automovilidad, han sido ampliamente estudiados en la sociología (Urry, 1999; Sheller y Urry, 2000; Beckmann, 2001). Como consecuencia, el uso de modos no motorizados, activos, es percibido como peligroso, lo que se refuerza con una conducta muchas veces agresiva hacia ellos en que no se respetan adecuadamente los espacios que tienen asignados.

No obstante, en la última década ha surgido una clara tendencia que apunta a impulsar el uso de la bicicleta como una alternativa de transporte adicional e integrable a los demás modos disponibles (Akar *et al.*, 2013; Rybarczyk y Gallagher, 2014). En las principales ciudades de Latinoamérica (p.e. Bogotá, Santiago, Rio de Janeiro) se ha venido invirtiendo en la construcción de infraestructura dedicada para ciclistas y peatones, con el fin de mejorar y/o cambiar la percepción de seguridad y confort que tienen los usuarios de estos modos (Cervero *et al.*, 2009).

Sin embargo, la inversión en infraestructura ciclo-inclusiva en Latinoamérica no es equitativa ni siquiera en un mismo país. Por ejemplo, en Colombia, mientras que Bogotá es reconocida como una ciudad con una amplia red de ciclorutas y ciclovías (durante los fines de semana) y una partición modal de viajes en bicicleta cercana al 6,6% (Buehler y Pucher 2021), en otras ciudades, como Barranquilla, los viajes en bicicleta no superan el 2% del total diario y la infraestructura ciclista es escasa. En Chile por su parte, Santiago tiene el mayor número de viajes en bicicleta del país, con un 4% según la Encuesta Origen Destino 2012 de la ciudad de Santiago (SECTRA, 2015)¹ pero en los últimos años el uso de bicicleta, como modo de transporte alternativo, ha experimentado un notable crecimiento adicional. Así, en horas punta hoy es posible observar un flujo de bicicletas muchas veces comparable con el flujo peatonal (por ejemplo, en la ciclovía de Av. Andrés Bello circulaban a fines de la década pasada aproximadamente 800 bicicletas/hora en hora punta). Es importante

destacar que este flujo de bicicletas no es igual en otras comunas de la ciudad, por ejemplo, en comunas de ingreso medio a bajo cercanas al centro de la ciudad, se puede experimentar cerca de 200 bicicletas/hora en hora punta (Calquin y Tirachini, 2020) y la infraestructura ciclo-amigable está fuertemente concentrada en las comunas de mayores ingresos (Mora *et al.*, 2021). Algo similar sucede en otras ciudades del país, donde los viajes diarios en bicicleta no superan el 2% y la infraestructura ciclo-amigable es prácticamente inexistente, con honrosas excepciones, como la ciudad de Rancagua (Municipalidad de Rancagua, 2017)

En esta investigación se busca determinar los factores que, por ejemplo, han ayudado a gatillar el aumento de la demanda por uso de bicicleta en Santiago, a pesar de no haber invertido en infraestructura ciclo-inclusiva en la ciudad. También se busca evaluar qué importancia tiene la percepción de un ambiente agresivo para la bicicleta, debido a la escasa infraestructura amigable para ciclistas. Nos concentraremos en el rol de variables de carácter subjetivo, como hábito, actitudes y percepciones, a fin de modelar más adecuadamente el efecto que podría tener la aplicación a futuro de políticas ciclo-inclusivas en estas ciudades.

1.1 Revisión Bibliográfica

En la literatura se encuentran numerosos estudios que buscan entender la dinámica del auge de la bicicleta en los últimos años, su influencia en las decisiones de política de transporte y los principales factores que determinan la elección de este modo (Aarts *et al.*, 2013; Muhs y Clifton, 2014; Rodríguez-Valencia *et al.*, 2021; Buehler y Pucher 2021). La mayor parte de las investigaciones se han centrado en cuatro factores principales: variables demográficas y socioeconómicas, variables ambientales y geográficas, determinantes de infraestructura para bicicleta, y factores actitudinales y de percepción (Maldonado-Hinarejos *et al.*, 2014). Como complemento de los factores antes mencionados, cabe destacar el importante rol que han ejercido los movimientos pro-bicicleta y la participación ciudadana, en el cambio de paradigma hacia ciudades más ciclo-inclusivas y menos dependientes del automóvil, sobre todo donde se ha experimentado un crecimiento considerable del uso de la bicicleta (Sagaris 2014; 2015).

1.1.1 Variables demográficas y socioeconómicas

Muchos estudios demuestran que variables como género, nivel de ingreso, edad y ocupación, son determinantes en el uso de la bicicleta. Las mujeres tienden a ser más sensible al riesgo y a la cercanía con el tránsito vehicular (Akar *et al.*, 2013); además, usan la bicicleta en menor porcentaje en comparación con los hombres; esto puede llegar a ser cuatro veces menor en países como Australia (Garrard *et al.*, 2008) y la mitad en Estados Unidos o Canadá (Emond *et al.*, 2009; Pucher *et al.*, 2011; Buehler 2012). Sin embargo, en países como Dinamarca, Alemania y Holanda, las mujeres usan la bicicleta tanto como los hombres y solo hay una pequeña diferencia en cuanto a la edad, ya que a medida que las personas se van acercando a los 40, su uso de la bici empieza a disminuir (Pucher y Buehler, 2008).

Por otro lado, el uso de la bicicleta aumenta en hogares sin automóvil disponible o con un solo automóvil en el hogar, demostrando que este es un factor determinante en explicar la cantidad de viajes en bicicleta (Parkin *et al.*, 2008; Pucher *et al.*, 2011); de hecho, el uso de bicicleta puede llegar a disminuir hasta en un 70% en el caso de viajes al trabajo o al estudio (viajes obligados), si aumenta la disponibilidad de automóvil en el hogar, y la disponibilidad de estacionamiento gratuito para automóviles (Buehler, 2012; Oakil *et al.*, 2014).

1.1.2 Análisis de la demanda

En el estudio de la demanda por bicicleta se pueden encontrar distintos enfoques o características a estudiar; sin embargo, lo que se busca la mayoría de las veces es incentivar su uso y su inclusión dentro de políticas de transporte urbano. Dell' Olio *et al.* (2014), desarrollan una metodología para estimar el uso potencial de la bicicleta en una ciudad con pendientes considerables y condiciones climáticas inclementes. A través de la estimación de un modelo logit mixto, encuentran que el costo y las condiciones climáticas son las variables más importantes al momento de elegir bicicleta, mientras que cambios en políticas públicas (como cargos por congestión al transporte privado), podrían ser las variables más relevantes al momento de considerarse de automóvil a bicicleta. Ortúzar *et al.* (2000), presentan una aproximación a la estimación de la demanda de viajes en bicicleta en Santiago, incorporando vías segregadas y facilidades para su inclusión con el transporte público,

concluyendo que en algunas zonas de la ciudad se podría capturar más del 10% de los viajes totales y que la partición modal podría saltar del 1,6% (a fines de los 90) a 5,8%. Quince años después, estamos recién acercándonos a ese valor, razón por la cual entender mejor las motivaciones para usar bicicleta parece necesario.

Sagaris (2015), describe el camino recorrido hacia la ciclo-inclusión en los últimos 40 años en Santiago, en comparación con países de mayor experiencia en el tema como Alemania y Dinamarca. Los tres principales factores a tener en cuenta para generar ciclo-inclusión serían: (i) medidas urbanas, asociadas a diseño de infraestructura y velocidad de circulación, entre otros; (ii) cambios de comportamiento, a través de la promoción de la bicicleta, la educación y el *marketing* social y (iii) economía para el ciclista (esto es, bienes y servicios necesarios para diversos tipos de ciclistas). También destaca el importante rol de la participación ciudadana en la implementación de modos de transporte más sustentables (Sagaris, 2014).

Además, de los factores mencionados anteriormente, importantes estudios internacionales sobre infraestructura ciclo-inclusiva y políticas de incentivo al uso de la bicicleta, permiten resaltar factores cómo la coherencia en el aprovisionamiento de infraestructura; por ejemplo, en el caso de tener carriles exclusivos se espera contar con rutas directas garantizando la seguridad de los ciclistas (Godefrooij *et al.*, 2009); además, se ha demostrado que una infraestructura ciclo-incluyente reduce el riesgo de sufrir accidentes de tránsito (Pucher y Dijkstra, 2000; Reynolds *et al.*, 2009; Teschke *et al.*, 2012; Flügel *et al.*, 2015). Queda claro que este tipo de infraestructura debe ir acompañada de estacionamientos para bicis seguros y accesibles, una adecuada integración con el transporte público, y medidas cómo disminuir la velocidad de vehículos motorizados, campañas de educación para conductores y ciclistas, además de medidas que incentiven cambios en el comportamiento, sobre todo el asociado tanto a la “automovilidad” como al cambio de paradigma asociado a que poseer o usar automóvil representa algún tipo de prestigio o moda (Urry, 1999; Pucher y Buehler, 2008).

Otro tema relevante, si se desea incrementar la demanda por viajes en bicicleta, es analizar los viajes al trabajo o al estudio, que son los más comunes en horas de máxima congestión. Estacionamientos seguros y duchas, son atributos interesantes para tomar la decisión de usar

bicicleta en el caso de empleados de ingreso alto (Buehler, 2012), al igual que la dinámica del hogar (la llegada de un hijo) y el tiempo de viaje al trabajo (Oakil *et al.*, 2014). Por otra parte, atributos como la situación laboral, podrían no influir de forma significativa en la elección (Cervero *et al.*, 2009). Finalmente, también se ha constatado que la distancia típica de viajes en bicicleta está entre 1,5 y 8 km (Rybarczyk y Gallagher, 2014; Titze *et al.*, 2008; Karner y Sagaris, 2016) y que, en general, las mujeres se preocupan más por los problemas de seguridad y se identifican como poco expertas (Akar *et al.*, 2013; Garrard *et al.*, 2008; Heesch *et al.*, 2011; Gutiérrez *et al.*, 2020).

1.1.3 Variables de infraestructura y política

En ciudades con altos índices de congestión y contaminación, la bicicleta se ha planteado como parte de la solución, ya que permite disminuir el número de viajes en transporte privado o en combinación con transporte público (Dill y Carr, 2003; Handy y Xing, 2011). Tal es el caso de los corredores para bicicletas en Shanghai, donde en 2004 los viajes de hasta seis kilómetros eran más rápidos y convenientes en bicicleta (Chen *et al.*, 2008). Por otro lado, la integración con transporte público (Sagaris y Arora, 2016) puede estar afectada por la distancia de caminata entre facilidades para bicicletas y estaciones o paraderos (y la implementación de infraestructura adecuada para bicicletas alrededor de puntos críticos de movilidad), variando de aproximadamente tres kilómetros desde y hacia estación de trenes a 1,6 kilómetros a paraderos de buses (Bordagaray *et al.*, 2014; Hochmair, 2015).

Además de contar con infraestructura para ciclistas, es relevante enumerar las medidas “blandas” que han demostrado ser efectivas a la hora de incentivar la bicicleta (Pucher *et al.*, 2010). Por ejemplo, Buehler y Pucher (2021) resaltan programas y políticas como: incentivos (pagos, reducción de impuestos), leyes (tanto para ciclistas como para vehículos motorizados), promoción (programas de educación, marketing, eventos promocionales), ambiente construido donde se resaltan, planes de uso de suelo, áreas de tráfico calmado, integración con el transporte público, entre otros.

La importancia de contar con políticas que promuevan no solo el uso de la bicicleta, sino su inclusión como una alternativa más de transporte que le permita convertirse en un modo

estratégico importante al momento de planificar y asignar fondos del estado, ha sido discutida en la literatura (Aldred, 2012; Jones, 2012). Políticas que hagan los viajes en automóvil más lentos, más caros o menos convenientes, y que cuenten con opciones atractivas de transporte público y no motorizado, pueden hacer la diferencia si se trata de incentivar un transporte más sostenible (Buehler, 2011; Pucher *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2010).

1.1.4 Hábito y cambio de comportamiento

El papel del hábito en la elección de bicicleta ha sido relativamente poco explorado. Paige-Willis *et al.* (2013), analizan investigaciones que incluyen el entorno social relacionado con la elección de bicicleta, además de las percepciones, actitudes, e incluso el hábito o inercia, asociados al uso de bicicleta (de Bruijn *et al.*, 2009; Heinen *et al.*, 2011; Ducheyne *et al.*, 2012; Muñoz *et al.*, 2013; Cabral *et al.*, 2018). Pero pocos estudios han considerado el hábito asociado al modo elegido como una variable latente, que contribuya a explicar la elección o disposición a cambiarse a la bicicleta (Gutiérrez *et al.*, 2020). En general, los estudios incorporan el hábito asociándolo a la cantidad de veces que las personas eligen un modo determinado para realizar un viaje específico (Garvill *et al.*, 2003; Gatersleben y Appleton, 2007; Domarchi *et al.*, 2008; Légal *et al.*, 2016), y comúnmente se ha concluido que el hábito está íntimamente relacionado con una actitud positiva hacia la bicicleta, y con la disposición a elegirla (de Bruijn *et al.*, 2009; Heinen *et al.*, 2011). De igual forma, Muñoz *et al.* (2013) concluyen que, para un ciclista ... "con cada unidad de aumento en el hábito, el aumento en la probabilidad de que esa persona sea un viajero en bicicleta se multiplica por 5,68".

En el campo de la psicología de la salud, el hábito se define como "*un proceso mediante el cual un estímulo genera automáticamente un impulso hacia la acción, basado en asociaciones aprendidas estímulo-respuesta*" (Gardner, 2015). La medición del hábito varía según el campo de estudio y la teoría que sustenta el fenómeno (Verplanken *et al.*, 1997; Schwanen *et al.*, 2012; Hagger *et al.*, 2015). En esta investigación adaptamos una subescala del Self-Report Habit Index (SRHI) propuesto por Verplanken y Orbell (2003) y estudiado por Gardner *et al.* (2012). Presentamos cuatro de los 12 ítems del SRHI, para capturar elementos relacionados con la automaticidad del hábito, además del contexto (viajes diarios

al trabajo/estudio) y la hora del día (Gardner, 2015). Somos conscientes que medir el hábito no es una tarea sencilla y que, sin duda, es un proceso más complicado de lo que podemos replicar en el contexto de nuestra investigación. Por ello, abordamos el hábito (en este caso asociado al modo actualmente utilizado por cada individuo), como un constructo latente integrado en la función de utilidad, de forma similar a como tratamos las actitudes y percepciones individuales.

1.1.5 Actitudes y percepciones

La mayoría de los estudios que consideran las percepciones y actitudes hacia la bicicleta, concluyen que la conciencia de seguridad y la percepción del confort al manejar, que va asociada a la disponibilidad de vías segregadas, influyen directamente en la elección (Caulfield *et al.*, 2012; Gatersleben y Haddad, 2010; Habib *et al.*, 2014). De igual forma, los ciclistas son sensibles a características del diseño vial (pendiente, distinción por color de las zonas de ciclistas, entre otros), al volumen y velocidad del tráfico, y al tipo de control de intersecciones en el área (Broach *et al.*, 2012; Dill *et al.*, 2012; Vandenbulcke *et al.*, 2011; Zahabi *et al.*, 2011). En particular, la forma en que la mayoría de estos estudios modela la variable riesgo o inseguridad, considera la presencia de infraestructura y variables socioeconómicas. Sin embargo, pocos estudios incorporan el efecto de la distancia en la percepción de la inseguridad percibida al viajar en bicicleta, particularmente en ciudades con poca infraestructura ciclo-amigable.

Por otra parte, las investigaciones se han extendido a factores como: (i) los beneficios para la salud al hacer ejercicio diario (Bopp *et al.*, 2012; Heinen *et al.*, 2011; Mueller *et al.*, 2015; Götschi *et al.*, 2016; Muñoz *et al.*, 2016; Thigpen, 2019; Graham-Rowe *et al.*, 2011; Bird *et al.*, 2013; Arnott *et al.*, 2014); (ii) flexibilidad en los horarios de inicio de los viajes (de Geus *et al.*, 2008; Titze *et al.*, 2008); (iii) posibilidad de ahorrar dinero en virtud de tener un costo menor que usar un automóvil o transporte público, y (iv) una mejor accesibilidad y movilidad en ciudades congestionadas (Ducheyne *et al.*, 2012; Fernández-Heredia *et al.*, 2016). Otras percepciones se refieren a la seguridad de la bicicleta (Chataway *et al.*, 2014; Habib *et al.*, 2014; Maldonado-Hinarejos *et al.*, 2014; Rossetti *et al.*, 2018; Gutiérrez *et al.*, 2020), y las percepciones de familiares y amigos sobre su propio uso de la bici y cómo esto

afecta la elección de este modo por parte del individuo (Ducheyne *et al.*, 2012; Gatersleben y Haddad, 2010; Fitch *et al.*, 2019). Finalmente, Echiburú *et al.* (2021) estudian el efecto de la satisfacción asociada a viajar frecuentemente en bicicleta, como una función del entorno construido y el largo del viaje.

En la Tabla 1-1, se presenta un resumen de los trabajos más relevantes encontrados en la literatura sobre la influencia de percepciones, actitudes y hábito en el uso de bicicleta. Cabe resaltar que últimamente han aumentado los estudios que incorporan variables latentes y estiman modelos híbridos de elección discreta (Bahamonde y Ortúzar, 2014; Ben-Akiva *et al.*, 1999); en décadas pasadas se utilizaban modelos sencillos de regresión o de análisis de factores.

Tabla 1-1. Resumen de estudios sobre demanda, actitudes y percepciones hacia la bicicleta

Autores	Variable latente/Enfoque	Tipo de Modelo
de Geus <i>et al.</i> (2008)	Autoeficacia Bienestar físico Beneficios ecológicos-económicos Falta de habilidades/salud/motivación Falta de infraestructura Preocupación por la seguridad	Regresión lineal múltiple (RLM)
Titze <i>et al.</i> (2007)	Satisfacción emocional Rapidez Incomodidad física Modos de transporte poco prácticos Cumplimiento de las normas de tráfico por parte de los ciclistas	RLM
Heinen <i>et al.</i> (2011)	Proporciona estatus Beneficios ambientales/salud/mentales Ahorros en tiempo y dinero Flexibilidad del horario de salida Seguridad vial	Logit simple (MNL)
Bopp <i>et al.</i> (2012)	Actitud amigable con el medio ambiente Autoeficacia para viajes en modos activos Fomentar viajes en modos activos	RML

Autores	Variable latente/Enfoque	Tipo de Modelo
<i>Ducheyne et al. (2012)</i>	Factores familiares Factores personales Factores comportamiento Factores actitudinales Factores ambientales sociales Factores cognitivos Factores ambientales Factores de viajes a la escuela	Regresión logística multivariada
<i>Kamargianni y Polydoropoulou (2013)</i>	Disposición para caminar o andar en bicicleta a la escuela	Híbridos de elección discreta (HDC)
<i>Paulssen et al. (2014)</i>	Poder Hedonismo seguridad Confort y conveniencia Flexibilidad Propiedad	HDC
<i>Maldonado-Hinarejos et al. (2014)</i>	Actitud pro-bicicleta Imagen pro ciclismo Estrés al conducir bicicleta Contexto de transporte	HDC
<i>Habib et al. (2014)</i>	Ciudades “cicleteables” Preocupación por seguridad Confort Nivel de propiedad de la bicicleta	HDC
<i>Cantillo et al. (2015)</i>	Beneficios/problemas salud Preocupación seguridad vial y/o robos Ahorros Falta de infraestructura Limitación de tiempo Condiciones ambientales Congestión vial	HDC
<i>Willis et al. (2015)</i>	Revisión de la teoría, modelos, actitudes y percepciones utilizadas en el efecto del ciclismo	HDC
<i>Fernandez-Heredia et al. (2016)</i>	Conveniencia Pro-bicicleta Condicionantes físicos Restricciones exógenas	Análisis confirmatorio de factores (ACF)

Autores	Variable latente/Enfoque	Tipo de Modelo
Muñoz <i>et al.</i> (2016b)	Estilo de vida Seguridad y confort Concientización Desventajas directas Normas subjetivas Capacidades individuales Hábitos de ciclismo en viajes ocasionales	Teoría del comportamiento planificado y ACF
Rossetti <i>et al.</i> (2018)	Seguridad	Clases latentes
Thigpen (2019)	Pro-bicicleta Habilidades para andar en bicicleta	Modelo latente de Markov
Janke y Handy (2019)	Gusto / disgusto Confort Desear de andar en bicicleta	Análisis cualitativo
Fitch <i>et al.</i> (2019)	Presión social Placer Imagen personal Medio ambiente	Análisis bayesiano
Gutiérrez <i>et al.</i> (2020)	Riesgo Espontaneidad Infraestructura pro-ciclista	Modelo logit ordinal híbrido
Gutiérrez <i>et al.</i> (2021)	Inseguridad Conveniencia	HDC
Marquéz <i>et al.</i> (2021)	Seguridad	HDC

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, una componente innovadora de esta investigación consiste en incorporar todos los factores mencionados a fin de contar con un modelo más robusto y confiable, incorporando información disponible de encuestas origen-destino, proyectos actuales sobre bicicleta, así como la modelación con datos de encuestas de preferencias reveladas y declaradas, que permitan estudiar las preferencias de no usuarios de bicicleta.

Adicionalmente, destacamos dos aportes de esta investigación al estudio del efecto del hábito en el uso de la bicicleta: (i) incorporamos el hábito como una variable latente en un modelo híbrido de elección modal; (ii) incorporamos atributos de viaje observables (como la distancia), como variables explicativas del hábito, complementando las variables socioeconómicas clásicas que se han utilizado en la literatura.

1.2 Hipótesis de la Investigación

La hipótesis fundamental de esta investigación es que la disposición a usar bicicleta por parte de no ciclistas (o ciclistas casuales) en viajes al trabajo o al estudio (viajes obligados o frecuentes), se ve significativamente afectada por actitudes (propias del individuo) y percepciones (sobre la bicicleta y otros modos de transporte alternativos), como complemento a las características de nivel de servicio de cada modo.

H1: La percepción de un entorno agresivo para el uso de bicicleta (alta tasas de accidentalidad, agresividad de conductores hacia ciclistas, escasez de infraestructura, y condiciones ambientales poco favorables), influye negativamente en la decisión de elegir este modo de transporte.

H2: La calidad del entorno construido y la disponibilidad de infraestructura ciclo-inclusiva (así como la percepción del individuo sobre esta), afecta la posible elección de bicicleta por parte de no usuarios, de igual o mayor medida que atributos de nivel de servicio.

H3: La disposición a cambiarse a bicicleta en viajes obligados, depende en gran medida del hábito que el individuo ha adquirido al elegir de forma repetitiva su modo de transporte cotidiano.

H4: Existe una relación entre la percepción de inseguridad hacia la bicicleta y su elección, que varía según las características del viaje y atributos sociodemográficos del individuo.

H5: La implementación de programas de bicicletas públicas aumenta la probabilidad de elegir bicicleta en viajes cotidianos, y disminuye las percepciones negativas hacia la misma.

1.3 Objetivos de la Investigación

El objetivo general de esta tesis es determinar cómo factores latentes impactan la disposición y elección de la bicicleta, por parte de personas que no la usan en forma cotidiana.

Los objetivos específicos son los siguientes:

O1. Entender la disposición a usar bicicleta para viajes al trabajo o estudio, considerando variables de percepción tanto positivas como negativas hacia este modo, y evaluar la importancia de disponer de infraestructura ciclo-inclusiva en la decisión.

O2. Evaluar el rol de las actitudes, hábitos y percepciones del individuo para explicar la preferencia por modos de transporte en viajes cotidianos, y establecer qué características del individuo, su hogar, y el entorno construido contribuyen a la formación de estos factores.

O3. Evaluar, mediante escenarios, propuestas de política pública que incentiven el cambio desde modos motorizados hacia la bicicleta.

1.4 Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados en esta tesis, se desarrolló una metodología que consta de tres partes: (i) trabajo preliminar, (ii) modelación y (iii) análisis de resultados y propuestas de políticas para incentivar la bicicleta.

1.4.1 Trabajo preliminar

La primera etapa de la investigación estuvo asociada a la revisión de la literatura y al diseño de un instrumento de medición sobre elección de bicicleta vs modo actual.

Así, inicialmente se eligió como población objetivo a mayores de edad que realizaban su viaje obligado al trabajo o estudio en hora punta mañana, en dos ciudades con características climáticas e idiosincrasia distintas, como Barranquilla y Santiago, pero con un problema similar: falta de infraestructura ciclista adecuada e inequidad en la accesibilidad a ésta por parte de la población de ingreso bajo. Posteriormente, la investigación se enfocó en personas que usaban automóvil o transporte público (esto es, que no eran ciclistas o usuarios habituales de bicicleta) en este tipo de viajes. A esta población objetivo de *no-usuarios* de bicicleta, se aplicó una encuesta de preferencias declaradas (PD) con el fin de conocer las principales razones por las cuales no usaban este modo y qué factores podrían influir en cambiar esta situación. Detalles de las encuestas y la recolección de información se presentan de forma detallada en los capítulos 2, 3, 4 y 5.

1.4.2 Modelación

En esta etapa, se estimó tres modelos asociados a los objetivos propuestos anteriormente. Todos son de la familia de modelos de elección discreta, empezando con modelos logit simple (MNL), pasando por modelos de tipo logit mixto, LM (que permiten tratar adecuadamente el efecto panel intrínseco en nuestros datos), hasta llegar a modelos híbridos (HDC) con variables latentes. Estos modelos nos permitieron evaluar la influencia de las características socioeconómicas de los individuos y las características de nivel de servicio de los modos de transporte estudiados en el proceso de elección. A partir de los modelos MNL y LM, se agregaron variables latentes a través de un enfoque MIMIC, que nos permitió identificar la percepción de *inseguridad* como una variable relevante en la elección de bicicleta, en los dos contextos estudiados. Además, se analizó otros factores latentes como el *hábito*, la disponibilidad de *infraestructura ciclo-inclusiva* y la *conveniencia* de usar la bicicleta.

A partir de los resultados obtenidos en el capítulo 3 (relacionado con la aplicación en Barranquilla), el diseño del instrumento de encuesta para la ciudad de Santiago fue más completo y complejo, teniendo en cuenta aspectos que no se consideraron en la versión preliminar de Barranquilla; esta nos sirvió como una experiencia piloto, y nos permitió concluir que debíamos explorar con más detalle el tipo de ciclovía disponible, el tipo de estacionamiento para bicis disponible, la presencia o no de programas de bicicletas públicas, y que, además, el diseño de la encuesta estuviera pivotado en el viaje real del individuo y no en situaciones hipotéticas creadas en forma homogénea para toda la muestra.

1.4.3 Análisis de resultados y propuestas de políticas

A partir de los modelos estimados, se realizaron predicciones de la disposición a usar bicicleta en el escenario propuesto de viajes obligados en hora punta mañana. En el capítulo 5, se utilizó una muestra de datos provenientes de la Encuesta Origen Destino 2012 para Santiago (SECTRA 2015), con características similares a la muestra de modelación, y se estimó el número de viajes que podrían ser susceptibles de cambiarse a bicicleta.

En cada capítulo, se presentan políticas que pueden influir en un cambio modal, teniendo en cuenta los resultados de cada modelo y el contexto de ciudad; tanto medidas blandas como duras. Un resumen de estas contribuciones se reporta a continuación en el capítulo 1.5.

1.5 Contenido de la Investigación y Contribuciones

Este documento presenta las principales contribuciones y recomendaciones relacionadas con modelar la disposición a cambiarse a bicicleta en viajes al trabajo y estudio en Santiago, y el análisis de viajes con motivo estudio, en un entorno poco amigable con la bicicleta en una ciudad de mediano tamaño en Colombia, cómo es Barranquilla. Lo que resta del documento está organizado en cinco capítulos: el capítulo 2 presenta un resumen de la metodología de diseño y aplicación de las encuestas; del capítulo 3 al 5 se presentan, en formato artículo, los principales resultados en la búsqueda de responder los objetivos de la tesis. El capítulo 6 presenta, finalmente, las principales conclusiones de la tesis y propone futuras líneas de investigación.

Es importante resaltar que los capítulos 3 al 5 fueron organizados en formato de artículo y, aunque en conjunto contienen los principales resultados y respuesta a los objetivos de esta tesis, pueden leerse en forma independiente y son auto-contenidos. Como consecuencia, habrá algún contenido redundante en ellos, aunque en el capítulo 2 se busca sintetizar parte de ese contenido que se repite en los tres artículos de investigación.

1.5.1 Capítulo 3 – Estimación de la demanda de bicicleta en un entorno agresivo

Resumen: La percepción del entorno donde nos movemos puede ser un factor clave a la hora de elegir un modo de transporte para nuestros viajes diarios. Por ejemplo, muchas ciudades carecen de infraestructura adecuada o experimentan condiciones ambientales que no favorecen el uso de la bicicleta. En este capítulo examinamos la demanda potencial por el uso de bicicleta como alternativa de transporte en viajes a la universidad en Barranquilla, Colombia, una ciudad con condiciones ambientales bastante agresivas para el ciclismo. Diseñamos un experimento de preferencias declaradas dirigido a estudiantes y personal que vive a menos de tres kilómetros de dos campus universitarios en la ciudad y viaja en autobús o bicicleta. También consideramos las percepciones de las personas en un esfuerzo por

comprender las razones por qué solo el 2% de los viajes diarios de Barranquilla se realiza en bicicleta. Nuestro análisis de elección de modo incorporó dos variables latentes (*inseguridad* y *conveniencia*), además de los atributos típicos del nivel de servicio, como tiempo de viaje y costo. Encontramos que la percepción de *inseguridad* tiene un efecto negativo importante sobre la probabilidad de usar bicicleta; la posibilidad de sufrir un accidente o ser asaltado, pesa mucho más que los posibles ahorros económicos y mejoras en la salud asociados al uso de bicicleta. En términos de *conveniencia*, nuestros resultados sugieren que podría ser tan importante tener duchas en el campus como carriles para bicicletas disponibles en la ruta. Además, la inversión en facilidades como estacionamiento gratuito para bicicletas y estrategias como plantar árboles en senderos para bicicletas y aceras para proporcionar sombra, podrían alentar significativamente el uso de este modo.

La principal contribución de este capítulo es presentar una medida de la agresividad del entorno y cómo esta afecta la demanda por bicicleta en una ciudad pequeña, sin infraestructura adecuada para ciclistas.

Este capítulo ha sido publicado y corresponde al artículo:

Gutierrez, M., Cantillo, V., Arellana, J. y Ortúzar, J. de D. (2021) Estimating bicycle demand in an aggressive environment. *International Journal of Sustainable Transportation* **15**, 259-272. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.17348861>.

1.5.2 Capítulo 4 – Rol del hábito y del entorno construido en la disposición a viajar en bicicleta

Resumen: En este capítulo estudiamos la disposición de los ciudadanos a cambiar de su modo de transporte habitual a bicicleta, en el caso de viajes rutinarios al trabajo o estudio durante la hora punta mañana en Santiago de Chile. Para ello, diseñamos una encuesta relativamente compleja, que incluía información sobre el modo actual, preferencias de los encuestados, indicadores de percepción, hábitos y una pregunta sobre su disposición a cambiar de modo. Usamos una muestra de 805 individuos para estimar un modelo logit ordinal híbrido. Este modelo incluyó las variables sociodemográficas de los individuos, las características del entorno construido y el viaje, así como tres constructos latentes:

espontaneidad hacia el cambio de modo de transporte; percepción de *riesgo* en el uso de la bicicleta; y *disponibilidad de instalaciones* relacionadas con el ciclismo cuando se utilizan bicicletas. El modelo confirma expectativas previas; por ejemplo, la disposición a cambiarse a bicicleta disminuye con la duración del viaje y con la edad del individuo. Además, las personas más habituadas a su modo actual están menos dispuestas a cambiarlo. En términos de política pública, el modelo proporciona varias percepciones sobre los incentivos para el uso de bicicletas, incluida la necesidad de cambios estructurales para disminuir la percepción latente de inseguridad que tienen los ciclistas menos experimentados.

A diferencia de otros estudios, donde el hábito que se estudia es el asociado a usar bicicleta, en este capítulo se estudia el efecto del hábito del modo usual como una medida de la resistencia al cambio de modo, incorporando esta variable en un modelo híbrido de elección discreta. Las contribuciones específicas del modelo son:

- No tenemos conocimiento que el hábito se haya incluido anteriormente en una investigación publicada, de la misma forma en que se trata en este capítulo.
- Se proponen políticas, basadas en los resultados del modelo, que permitan aumentar la disposición de cambiarse a la bicicleta.

Este capítulo ha sido publicado y corresponde al artículo:

Gutiérrez, M., Hurtubia, R. y Ortúzar, J de D. (2020). The role of habit and the built environment in the willingness to commute by bicycle. *Travel Behavior and Society* **20**, 62-73.

1.5.3 Capítulo 5 – Disposición a cambiar viajes obligatorios a bicicleta: rol del hábito, las percepciones y el entorno construido

Resumen: En este capítulo estudiamos el rol del hábito, la percepción de *inseguridad* y el entorno construido en la disposición a cambiar a bicicleta en viajes de trabajo o estudio en la ciudad de Santiago. Para ello, diseñamos una encuesta de preferencias declaradas, cuyos datos nos permitieron estimar un modelo híbrido de elección discreta que incorpora variables

latentes como el *hábito* y la *inseguridad*. Nuestros resultados confirman que la distancia del viaje juega un papel preponderante en la elección potencial de la bicicleta, y también afecta la percepción de inseguridad y la importancia de la regularidad del viaje; de hecho, en viajes más cortos parece más factible romper el hábito, aumentando la disposición a cambiarse a bicicleta. También confirma la importancia de contar con ciclovías, tanto en el origen como en el destino de los viajes, si se quiere incrementar el uso potencial de la bicicleta. El artículo analiza políticas públicas, para incrementar el uso de la bicicleta y la sostenibilidad de esta metrópoli, a partir de estos resultados.

Este capítulo complementa la disposición planteada en el capítulo 4, con el fin de estimar la probabilidad de elegir bicicleta vs otros modos. El punto de partida de la modelación realizada son los resultados obtenidos aplicando el modelo de disposición del capítulo anterior, pero ahora a la elección entre el modo habitual y la bicicleta.

Este capítulo se encuentra bajo revisión, en el artículo:

Gutierrez, M., Hurtubia, R. y Ortúzar, J. de D. (2021). Willingness to change compulsory trips to bicycle: role of habit, perceptions and the built environment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (en revisión).

Además, durante la investigación, se desarrolló otro trabajo que complementa el análisis de factores que influyen en la demanda por bicicleta en ciudades colombianas:

Orozco-Fontalvo, M., Arevalo-Támara, A., Guerrero-Barbosa, T. y Gutiérrez-Torres, M. (2018). Bicycle choice modelling: a study of university trips in a small Colombian city. *Journal of Transport and Health*, **9**, 264-274.

2. METODOLOGIA Y DISEÑO DE LOS INSTRUMENTOS

En este capítulo se presenta un complemento de la revisión de literatura presentada en el capítulo 1, seguido del modelo econométrico usado en la fase de modelación. También se describe la metodología detallada del diseño de las encuestas y el análisis de los bancos de datos usados para estimar los modelos reportados en los capítulos 3 al 5.

Este capítulo se ha estructurado de esta forma, con el fin de evitar información redundante al momento de leer cada capítulo que compone esta tesis.

2.1 Revisión de literatura sobre hábito

Se presenta una revisión de la literatura sobre hábito y cambios de comportamiento, y la bibliografía revisada y aplicada en los capítulos 4 y 5 de esta tesis. Nos consta que el estudio del comportamiento individual es un área de estudio *per se*, y no buscamos cubrir todas las teorías existentes, solo apoyarnos en parte de las ciencias sociales y aplicarlas a la ingeniería de transporte.

La forma en que se estudia el hábito y su incidencia en las decisiones de los individuos es muy variada, y depende del área de estudio y/o de la teoría usada (Triandis, 1977; Ajzen, 1991; Prochaska *et al.*, 2008). Sin embargo, en común se puede destacar que programas o campañas que propongan medidas posteriores a la formación del hábito, por si solas, no logran un cambio de comportamiento importante o representativo; estas medidas deben ir acompañadas de estrategias para romper el hábito asociado a ese comportamiento en particular, y proponer medidas para crear uno nuevo, que así se convierta en un nuevo comportamiento habitual (Verplanken y Wood, 2006).

En esta investigación el hábito se define, siguiendo a Gardner (2015), cómo ... “*un proceso por el cual un estímulo genera automáticamente un impulso hacia la acción, basado en asociaciones aprendidas de estímulo-respuesta*”. Esto permite ver que el estímulo juega un rol importante en una decisión habitual, además de la presencia de un contexto estable (Verplanken *et al.*, 2008). Los estímulos pueden ser de distintos tipos: ambientales, como la

hora del día o el tipo de viaje; personales, cómo el estado del ánimo; o una combinación (Verplanken y Wood, 2006).

En el ámbito de transporte, se puede destacar que investigaciones donde se analizan cambios a través de la vida del individuo pueden romper hábitos. Eventos como cambio de casa, o cambio de empleo, o la llegada de un hijo o un nuevo miembro al hogar, pueden activar la deliberación necesaria para cambiar un hábito (Thomas *et al.*, 2016; Wood *et al.*, 2005; Verplanken *et al.*, 2008, Janke y Handy, 2019). Sin embargo, este cambio o la formación de un nuevo comportamiento habitual no necesariamente ocurre de inmediato (Lally *et al.*, 2010; Walker *et al.*, 2015). Otra posibilidad es que exista un *shock* (como, por ejemplo, la introducción de Transantiago, o la actual crisis producto de la pandemia), que si pueden tener un efecto inmediato (Yañez *et al.*, 2010).

Para medir la fuerza del hábito o la presencia de un comportamiento habitual, en esta investigación se utilizó una subescala del *Self-Report Habit Index* (SRHI) propuesto por Verplanken y Orbell (2003). Este instrumento fue diseñado teniendo en cuenta tres facetas del hábito: la automaticidad, la frecuencia del comportamiento y la relevancia en la identidad del individuo, sin embargo, algunos estudios en el ámbito de la psicología han demostrado que la frecuencia y la identidad pueden inflar la fuerza del hábito y no ser componentes esenciales a la hora de crear el constructo (Gardner *et al.*, 2012; Sniehotta y Presseau, 2012; Gardner y Tang, 2014).

De esta forma, y tal como propone Gardner *et al.* (2012), utilizamos una sub-escala del SRHI con cinco preguntas asociadas a la automaticidad del hábito, teniendo en cuenta - además - el contexto en el cual se estaba haciendo la pregunta (en este caso, para viajes al trabajo o estudio en la punta mañana). En la Tabla 2-1 se presentan los 12 ítems del SRHI y la sub-escala de cinco ítems utilizada en esta investigación. Los ítems están traducidos al español, con algunos ajustes de lenguaje a fin de mejorar su comprensión

Es importante destacar que cómo una contribución de esta investigación, se logró incorporar el constructo hábito - creado gracias al SRHI - como una variable latente dentro de modelos de elección de modo, a diferencia de estudios consultados donde se realizaban

modelos estadísticos o construcción de ecuaciones estructurales (Lally *et al.*, 2010; Gardner *et al.*, 2012; Gardner y Tang, 2014).

Tabla 2-1. SRHI completo y sub-escala usada en esta investigación

Self-Report Habit Index completo	Subescala del Self-Report Habit Index
<i>El comportamiento X es algo que...</i>	<i>El comportamiento X es algo que...</i>
Hago frecuentemente	Hago en forma automática
Hago en forma automática	Encontraría difícil no hacer
Hago sin tener que recordarlo conscientemente	Comienzo a hacer sin darme cuenta que ya lo estoy haciendo
Me hace sentir extraño si no lo hago	Hago sin tener que recordarlo conscientemente
Hago sin pensar	Hago sin pensar
Requiere un esfuerzo no hacerlo	
Pertenece a mi rutina (diaria, semanal, mensual)	
Comienzo a hacer sin darme cuenta que ya lo estoy haciendo	
Encontraría difícil no hacer	
No necesito pensar en hacerlo	
Es típico de mi	
He estado haciendo por mucho tiempo	

2.2 Modelo propuesto

Se propuso un modelo híbrido de elección discreta (HDC), con variables latentes para estimar la probabilidad de estar dispuesto a desplazarse en bicicleta (Walker y Ben-Akiva, 2002; Ben-Akiva *et al.*, 2002).

La teoría de utilidad aleatoria (McFadden, 1974) postula que un individuo q elegirá la alternativa i (que pertenece a un conjunto de alternativas A) que maximice su utilidad personal U_{iq} ; el modelador, que es un observador del sistema, supone que esta es función de un vector de atributos observables y características del individuo X_{iq} , un vector de atributos latentes (no observables) Z_{iq} , vectores de parámetros a estimar $\underline{\theta}$ y $\underline{\beta}$, y además, considera un término de error ε_{iq} independiente e idénticamente distribuido Valor Extremo tipo I; así, la especificación de la utilidad viene dada por la siguiente expresión (Ortúzar y Willumsen, 2011, Cap. 8):

$$U_{iq} = \theta_i X_{iq} + \beta_l Z_{lq} + \varepsilon_{iq} \quad (1)$$

en que las variables latentes Z_{lq} , son explicadas por el vector de variables X_{iq} a través de ecuaciones estructurales (2) (Bollen, 1989); en este caso, se asume un término de error aleatorio ω_{iq} que distribuye Normal y se fija su varianza en 1 para identificar el modelo (Díaz *et al.*, 2015).

$$Z_{lq} = h(X_{iq}; \lambda) + \omega_{iq} \quad (2)$$

Además, se asume que las variables latentes explican los indicadores (I_{pq}) a través de ecuaciones de medición (3), que contienen un término de error aleatorio v_{pq} que también distribuye Normal:

$$I_{pq} = m(Z_{lq}; \alpha) + v_{pq} \quad (3)$$

Los vectores de parámetros $\underline{\alpha}$ y $\underline{\lambda}$ se deben estimar, junto a los vectores de parámetros $\underline{\theta}$ y $\underline{\beta}$, de forma conjunta en el modelo HDC. Usando el método de máxima verosimilitud simulada (Train, 2009), en la estimación se busca maximizar el logaritmo de la función de verosimilitud (4) en los parámetros desconocidos:

$$\max \sum_{q=1}^Q \ln f(U_{iq}, I_{iq} | Z_{lq}; \alpha, \beta, \lambda, \theta) \quad (4)$$

Es importante notar que la especificación del modelo en los capítulos 4 y 5 no es idéntica. En la especificación del modelo híbrido de elección discreta en el capítulo 4, se asume que el individuo tiene cierta utilidad U_{iq} asociada a la pregunta “¿Estaría dispuesto a hacer este viaje en bicicleta?”, con tres posibles respuestas: *No*, *Quizás* y *Sí*.

Si U_i es menor que un umbral γ_1 , el individuo elegirá la respuesta “No”. Si U_i es mayor que γ_1 , pero menor que γ_2 , el individuo elegirá “Quizás”, y si es mayor que γ_2 , el individuo elegirá “Sí”. Esto se puede representar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
U_{iq} &= \text{"No"} \quad \text{si } U_{iq} \leq \gamma_1, \\
&= \text{"Quizás"} \quad \text{si } \gamma_1 < U_{iq} \leq \gamma_2, \\
&= \text{"Sí"} \quad \text{si } U_{iq} > \gamma_2
\end{aligned} \tag{5}$$

En el capítulo 5, en cambio, se incluye modelar adicionalmente la presencia de una alternativa *indiferente* dentro del conjunto de elección, para lo cual se siguió la metodología propuesta por Bahamonde-Birke *et al.* (2017). En esta se postula que el individuo q puede manifestar su indiferencia entre n alternativas que pertenezcan a un subconjunto B (de indiferencia), que pertenece al conjunto de alternativas disponibles A . La probabilidad asociada a una alternativa en el conjunto indiferente viene dada por:

$$Pr_i = P(V_i - V_j > \varepsilon_j + \phi_j - \varepsilon_i + \phi_i) \quad \forall j \neq i \in A \quad \wedge \quad \phi_j = 0, \quad \forall j \notin B \tag{6}$$

donde V es la utilidad representativa de U , y ϕ_i es un término de error que garantiza que las diferencias de utilidades dentro del conjunto B sean iguales a cero. En el caso de indiferencia, la frecuencia en la cual una alternativa puede ser elegida viene dada por $1/n$. Por lo tanto, en presencia de indiferencia, la log-verosimilitud se puede expresar como:

$$L = \prod_{j \in A} Pr_j^{y_j} \tag{7}$$

donde y_j toma el valor $1/n$ si la alternativa $j \in B$ y cero en otro caso.

Si se consideran solo dos alternativas, el término de error ϕ_i se normaliza con el fin de hacer el modelo identificable. Por lo tanto, este enfoque se simplifica de la siguiente forma: aquella elección indiferente se duplica, de forma que en una se elige la alternativa a , y en la otra se elige la otra alternativa (b), y se asigna un peso de 0,5 a cada una.

Para estimar los modelos de los capítulos 3 y 4 usamos un código para el software Ox MetricsTM para la estimación de modelos HDC (Doornik, 2007; Arellana *et al.*, 2012). Para los modelos del capítulo 5 el software Apollo (Hess y Palma, 2019).

2.3 Diseño del instrumento: versión aplicada en Barranquilla

Como parte de la metodología, que se busca sea replicable en distintos contextos, se eligió como población objetivo a *no usuarios* de bicicleta que realizaban viajes frecuentes al trabajo o al estudio en la hora punta mañana. Para comprender mejor la influencia del entorno agresivo de Barranquilla en la demanda por bicicleta, aplicamos una encuesta de preferencias declaradas (PD) a la comunidad universitaria en el centro de la ciudad. En el área de estudio, hay dos universidades cercanas, que entre personal y estudiantes tienen una población total de 25.000 personas. Los estudiantes son aproximadamente el 90% de esa población. Hay un nuevo carril bici que termina a poca distancia de la entrada principal de los campus universitarios. Aprovechando este nuevo proyecto y la posibilidad de incentivar el uso de bicicleta en la comunidad universitaria, el experimento de PD se dirigió a estudiantes y personal que vivían en un área de 3 km alrededor de los campus. El objetivo fue analizar el uso potencial de la bicicleta para los viajes diarios a ambas universidades durante la hora punta de la mañana.

El instrumento de encuesta se diseñó utilizando el software Qualtrics, que también permitió aplicar los cuestionarios PD presencialmente, utilizando tabletas o teléfonos inteligentes conectados a internet. Los encuestados fueron seleccionados al azar dentro de los dos campus. La recolección de datos se llevó a cabo durante dos semanas, al final del semestre, cuando los estudiantes ya tenían definidos sus patrones de viaje y horarios.

La encuesta constaba de cuatro secciones. La primera contenía preguntas sobre género, edad, estatus socioeconómico (SE)¹, grado académico y características del hogar del encuestado. Para propósitos de modelación, cada una de estas variables se trató como una variable ficticia: 1 para mujeres y 0 para hombres, 1 para individuos más jóvenes (menos de 24 años) y 0 para otros, 1 para estudiantes universitarios y 0 para otros, y 1 para individuos con estado SE bajo (1 y 2) y 0 para los demás.

¹ El estatus SE en Colombia va de 1 a 6: 1 representa el nivel de ingreso más bajo y 6 el nivel más alto. Los niveles socioeconómicos 5 y 6 subsidian a las personas de menores ingresos, pertenecientes a los niveles 1 y 2. Por lo general, las personas de ingreso medio se categorizan en los niveles 3 y 4, mientras que las personas más ricas de la población se categorizan en los niveles 5 y 6 (Cantillo-García et al., 2019).

En la segunda sección, se preguntó a los encuestados sobre el origen de sus viajes, sus alternativas disponibles, modo elegido y los principales atributos de cada modo disponible: tiempo de viaje (min), tiempo de acceso (min) y costo (pesos colombianos, COP²).

En la tercera sección, medimos los niveles de satisfacción asociados con el uso de bicicletas (Paulssen *et al.*, 2014). En esta etapa, presentamos seis afirmaciones diferentes (ver Tabla 2-2) con que las personas tenían que estar de acuerdo o en desacuerdo, calificándolas en una escala Likert de cinco puntos (1 representa desacuerdo total y 5 acuerdo total). Finalmente, la última sección contenía el experimento PD que solo se aplicó a usuarios del transporte público.

Tabla 2-2. Niveles de satisfacción hacia la bicicleta e indicadores perceptuales

Afirmaciones	Indicadores perceptuales
Al andar en bicicleta, puedo moverme fácilmente incluso con congestión	Congestión
El ciclismo contribuye a un estilo de vida saludable	Salud
El ciclismo genera ahorros económicos	Ahorros
Andar en bicicleta en Barranquilla es peligroso	Peligro
Al andar en bicicleta, me siento incómodo por posibles robos	Robo
Al andar en bicicleta, me siento incómodo por la posibilidad de un accidente	Accidente

Utilizamos un diseño eficiente con dos bloques, donde los encuestados tenían que elegir entre usar bus y bicicleta en nueve situaciones hipotéticas de elección (Bliemer *et al.*, 2008; Rose y Bliemer, 2009), ver ejemplo en Figura 2-1.

Ponderando cada uno de las características de estos dos medios de transporte, elija el que prefiera en este caso:								
3		Tiempo de Viaje (en el vehículo)	Tiempo de Acceso (caminata + espera)	Costo Pasaje	Ocupación del Bus	Presencia de Ciclovía	Ducha y lockers (en el destino)	Costo Estacionamiento Bicicletas
	Bus/ Transmetro	8	6	\$ 1.600	De pie			
	Bicicleta	15				Si	No	\$ 500

Figura 2-1. Ejemplo de situación de elección encuesta PD de Barranquilla

² Al momento de la encuesta, 1 US \$ 1/4 2800 COP.

Los atributos y sus niveles (tres en cada caso) se definieron como resultado de discusiones en dos grupos focales (para estudiantes y personal), y de nuestra revisión de literatura, como sigue:

(a) *Costo del bus*: tarifa actual (informada) y dos aumentos del 12,5% cada uno, para un aumento total del 25% en comparación con el primer nivel.

(b) *Costo de la bicicleta*: por usar el estacionamiento de bicicletas en el campus: sin pago, 500 COP/día o 1.000 COP/día.

(c) *Tiempo de viaje en transporte público*: considerando solo el tiempo a bordo (min), calculado sobre la base de un viaje de 3 km con tres velocidades de bus diferentes: 18, 23 y 36 km / h.

(d) *Tiempo de viaje en bicicleta*: calculado asumiendo velocidades de bicicleta de 10, 12 y 18 km / h para la misma longitud de viaje.

(e) *Tiempo de acceso al transporte público*: calculado como la suma de los tiempos de espera y caminata expresados en min. El nivel de referencia fue de 4 min, y los otros dos niveles consideraron incrementos sucesivos del 25%.

(f) *Comodidad en el transporte público*: se mostraron tres imágenes diferentes a los encuestados: una de un autobús casi vacío, otra de un autobús con la posibilidad de sentarse en algún punto y finalmente una de un autobús claramente abarrotado (Figura 2-2).

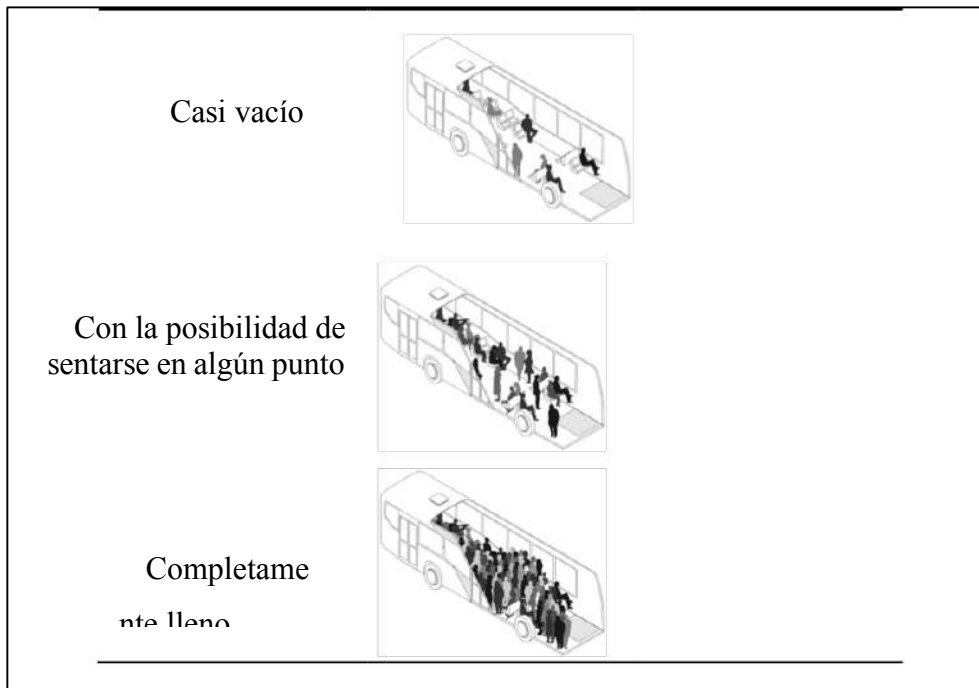


Figura 2-2. Representación del nivel hacinamiento en encuesta de Barranquilla, basado en Batarce *et al.* (2015)

(g) *Infraestructura para bicicletas*. Las tres variables estudiadas fueron: un carril para bicicletas separado del resto del tráfico (solo por líneas pintadas), la presencia de estacionamientos para bicicletas en el campus y la disponibilidad de duchas/casilleros. Estos se trataron como variables ficticias (dos niveles cada una), 1 representa la existencia de la instalación y 0 su ausencia. Además, en el caso de estacionamientos de bicicletas, su existencia determinaba el costo de la alternativa bicicleta (es decir, cuando no estaba disponible, el costo era cero).

A partir de los resultados obtenidos con este instrumento, que funcionó como un piloto para el diseñado en la ciudad de Santiago, se decidieron los siguientes cambios:

- El diseño de los escenarios de elección sería pivotado a partir de los datos del viaje reportado por el individuo. Es decir, cada persona tendría valores distintos, basándose en las características de su viaje.
- Realizar un grupo focal con psicólogos expertos en instrumentos cualitativos y encuesta de preferencias, con el fin de testear el instrumento y su comprensión a la hora de responder.

- La encuesta se presentaría a distintos tipos de usuarios: automóvil, transporte público (bus y metro), taxi y taxi colectivo. No sólo para usuarios de bus como en el caso anterior.
- Incluir el tipo de ciclovía, para conocer la preferencia de los individuos; esto es, no solo medir la importancia de contar con una, si no, de qué tipo es preferida por los potenciales usuarios. Lo mismo para tipo de estacionamiento de bicicletas.
- Además, de las variables latentes y de nivel de servicio de los modos, incorporar variables del entorno construido dentro de la modelación, tanto para explicar la elección como los factores latentes a estudiar.

El formulario final de la encuesta se presenta en el Anexo 1.

2.4 Diseño preliminar del instrumento aplicado en Santiago

A partir de la revisión bibliográfica y de los resultados obtenidos en la encuesta aplicada en la ciudad de Barranquilla, se diseñó un instrumento preliminar que constaba de cuatro secciones principales:

1. Información socioeconómica del individuo. Preguntas como: edad, género, ocupación, nivel de estudio, disponibilidad de vehículos motorizados, disponibilidad de bicicleta, tamaño del hogar, ingreso personal.
2. Información sobre el viaje. Se especificaba al encuestado que debía responder estas preguntas sobre un viaje habitual al estudio o al trabajo, en la hora punta mañana, se preguntaba: origen, destino, hora de inicio del viaje, hora de llegada al destino, modo(s) de transporte usado(s), etapas del viaje, frecuencia del viaje, y atributos de nivel de servicio cómo costo del viaje, tiempo de acceso y transbordos.
3. Indicadores psicométricos para medir variables latentes. Estos indicadores se dividieron en tres grupos: (i) Actitudes pro ambiental y pro ciclista, preguntas asociadas al medio ambiente y el uso de modos activos; (ii) Percepciones

asociadas al uso de la bicicleta (positivas y negativas); (iii) Percepciones de cambios de comportamiento.

4. Encuesta de preferencias declaradas (PD). Se enfrentaba el modo usado con la bicicleta en distintas situaciones de elección para el viaje reportado en la parte 2.

2.5 Grupo focal

El instrumento preliminar se testeó en un grupo focal realizado por un equipo de expertos psicólogos. El objetivo principal de estas entrevistas consistió en explorar si las variables que se buscaba estudiar eran consideradas importantes a la hora de elegir bicicleta. Posteriormente se realizó una prueba de comprensión de las preguntas del instrumento y del tiempo promedio de respuesta.

Para abordar estos elementos se utilizó un enfoque de tipo cualitativo, que considera el análisis de *cómo las personas experimentan sus vidas y cómo interpretan esas experiencias* (Foddy, 1993). Las personas seleccionadas correspondían a usuarios de otros modos de transporte (diferente a bicicleta) y el tema específico lo constituían los factores que inciden en que no utilicen bicicleta como modo de transporte para sus viajes habituales en Santiago. Se contó con la asistencia de ocho personas, cuyas principales características sociodemográficas se presentan en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Características sociodemográficas de participantes al grupo focal

Sexo	Hombres (4), mujeres (4)
Actividad	Profesionales (2), Administrativos (2), Trabajadores de los servicios y vendedores (4).
Edad	Menor de 30 años (2), entre 30 y 39 años (3), entre 40 y 49 años (2), 50 años o más (1)
Lugar de residencia	Santiago Centro (2), Peñalolén (1), Ñuñoa (1), Maipú (1), San Miguel (1), La Pintana (1), Las Condes (1)

Entre los resultados relevantes de este grupo focal se destaca que todos los entrevistados tenían acceso a una bicicleta, y todos sabían andar en bicicleta, a pesar que algunos no la utilizaban hace mucho tiempo. Por otro lado, aunque sabían de los sistemas de bicicletas

públicas de la ciudad, manifestaron no conocer cómo funcionaban, por lo tanto, ninguno había usado estos servicios.

Aquellos usuarios de bicicleta (dos personas) solo realizaban viajes cortos (de menos de 2 km) y preferían hacerlo en vías alejadas del tráfico motorizado. Los participantes asociaban la bicicleta con experiencias y sensaciones positivas, tales como libertad y tranquilidad. Esto podría relacionarse a que su uso de bicicleta estaba ligado a actividades que se realizaban en el tiempo libre, para viajes puntuales o para hacer ejercicio. Respecto del uso de bicicleta en el entorno más cercano, algunos participantes mencionaron tener parientes, amigos o conocidos que la utilizaban; sin embargo, en ninguno de los casos correspondía a un miembro de su mismo hogar.

En cuanto al interrogante de por qué no usaban habitualmente bicicleta, entre los atributos considerados no relevantes se encontraban el costo y la comodidad. Por otro lado, el riesgo que supone ser víctima de un atraco, era relevante, junto con la necesidad de transportar niños. Entre los atributos más relevantes a la hora de elegir o no la bicicleta, se encontraba el riesgo asociado a sufrir un accidente por falta de ciclovías, junto la percepción de inseguridad al tener que compartir la vía con vehículos motorizados, la falta de estacionamientos seguros para dejar su bicicleta en el lugar del destino, y la inexistencia de duchas y un lugar cómodo en el destino para cambiarse de ropa. Este último aspecto, estaba fuertemente asociado a las personas que trabajaban en oficina y que sentían la necesidad de cambiar su ropa después de usar la bicicleta, como parte de su presentación personal.

Al consultar a los participantes bajo qué condiciones usarían la bicicleta se aludió a cambios mayores como la provisión de más ciclovías, educación vial extensiva - tanto para el nuevo ciclista como para los conductores de vehículos motorizado- e incluso, la existencia de incentivos para utilizar bicicleta en la ciudad.

Otro tema importante explorado en este grupo focal fue el concepto de habitualidad al modo actual, donde manifestaron que efectivamente se sentían habituados a viajar en el modo usual y que ellos percibían que se habían adecuado y acomodado a ese modo. Sabían cómo utilizarlo, conocían los tiempos, horarios y espacios.

Sobre el concepto mismo de hábito, los entrevistados lo definían directamente como “una costumbre”, “algo que hacen todos los días” y “una rutina”. Pero, en sus discursos, se pudo ver, de manera un poco más indirecta, que también comprendían el hábito del viaje relacionado con algo que conocen, entienden y/o han asimilado. Asimismo, el hábito aparecía como un comportamiento que se desarrollaba casi automáticamente, o de manera inconsciente. Al ser consultados, todos los entrevistados respondieron afirmativamente a la pregunta sobre si algunas veces hacían su trayecto sin pensarlo, indicando que les pasaba todos los días; incluso, que tendían a repetir su trayecto, por error, cuando iban a un lugar diferente al habitual; esto también ha sido reportado en la literatura (Verplanken y Orbell, 2003).

Finalmente, se les presentó el formulario de la encuesta PD, con el fin de que lo respondieran; esto permitió estimar los tiempos de respuesta, y evaluar la comprensión de las preguntas y del experimento. Se pudo concluir que el tiempo promedio de respuesta era de 17 min, que algunos de los indicadores psicométricos no se entendían, y que el experimento PD les parecía largo (en ese momento tenía nueve situaciones de elección por individuo).

2.6 Indicadores psicométricos

Como resultado del grupo focal y de la revisión bibliográfica sobre actitudes y percepciones asociadas a la bicicleta, se construyó un grupo de frases que debían ser respondidas en una escala Likert de 5 puntos. Esta parte de la encuesta se presentó a todos los encuestados que pasaran el filtro de si sabían andar en bicicleta, sin distinguir que tipo de modo de transporte usaban. El primer grupo de frases se creó pensando en medir las actitudes hacia los modos de transporte motorizados y su impacto en el medio ambiente.

En la Figura 2-3 se presentan las preguntas y la escala en la cual se contestó cada una (Li *et al.*, 2013; Motoaki y Daziano, 2017).

*A continuación, se presentan una serie de frases sobre los medios de transporte y su percepción de los mismos.
Califique cada frase en una escala del 1 al 5, donde 1 es “Muy en desacuerdo” y 5 es Muy de acuerdo”*

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo, ni de acuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
Un mayor uso de transporte público podría mejorar la calidad del aire en Santiago	☐	☐	☐	☐	☐
El uso del auto es la mayor causa de contaminación del aire en zonas urbanas	☐	☐	☐	☐	☐
Estoy dispuesto a cambiar de modo de transporte si con eso ayudo a mejorar el medio ambiente	☐	☐	☐	☐	☐
Prefiero usar vehículos motorizados en mis viajes porque me canso menos	☐	☐	☐	☐	☐
No me importaría pagar más por mi viaje, si eso contribuye a mejorar el medio ambiente	☐	☐	☐	☐	☐
Prefiero usar auto/metro/bus en lugar de caminar o ir en bicicleta en días muy fríos o lluviosos	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 2-3. Indicadores actitudinales de uso de modos de transporte motorizado

El siguiente grupo de indicadores de percepción estaba enfocado a estudiar los incentivos que animarían a usar bicicleta y las barreras que desalentaban su uso. En la Figura 2-4 se muestra el listado de nueve frases preguntadas en la misma escala anterior.

Si piensa en su viaje cotidiano al trabajo/estudio, ¿Qué lo anima o lo animaría a hacer este viaje en bicicleta?					
	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo, ni de acuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
Pistas exclusivas para bicicletas en todo mi recorrido	☐	☐	☐	☐	☐
Reducción de la velocidad máxima del tráfico motorizado	☐	☐	☐	☐	☐
Bici-estacionamientos más cercanos a mi lugar de trabajo/estudio	☐	☐	☐	☐	☐
Bici-estacionamientos con vigilancia o cubiertos	☐	☐	☐	☐	☐
Disponibilidad de duchas/lockers en mi lugar de trabajo/estudio	☐	☐	☐	☐	☐
Poder llevar mi bicicleta en el bus o metro	☐	☐	☐	☐	☐
Ver a más ciclistas en las calles	☐	☐	☐	☐	☐
Sentirme en mejor forma gracias a que me muevo en bicicleta	☐	☐	☐	☐	☐
Vivir más cerca de mi lugar de trabajo/estudio	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 2-4. Indicadores de percepción como incentivos para usar la bicicleta

Estas frases se pensaron teniendo en cuenta algunas apreciaciones obtenidas del grupo focal, que estaban muy acordes con estudios revisados en la literatura (Gatersleben y Appleton, 2007; Akar y Clifton, 2009; Heinen *et al.*, 2011; Maldonado-Hinarejos *et al.*, 2014; Habib *et al.*, 2014). Se consultó un listado de nueve barreras o desincentivos, tal como se muestra en la Figura 2-5.

<i>Si piensa en su viaje cotidiano al trabajo/estudio, ¿Qué le impide/impediría hacer este viaje en bicicleta?</i>					
	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo, ni de acuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
Vivo muy lejos	☐	☐	☐	☐	☐
Necesitaría cambiarme de ropa	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de estacionamientos seguros para mi bicicleta	☐	☐	☐	☐	☐
Me preocupa la posibilidad de sufrir un accidente	☐	☐	☐	☐	☐
Me preocupa la posibilidad de que me asalten	☐	☐	☐	☐	☐
Me preocupa tener un desperfecto técnico y no saber qué hacer	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de ciclovías en mi ruta habitual	☐	☐	☐	☐	☐
Tengo problemas de salud	☐	☐	☐	☐	☐
Tengo que llevar niños o carga	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 2-5. Indicadores de percepción como barreras hacia el uso de la bicicleta

La habitualidad asociada al uso del modo de transporte en el mismo contexto diario, se estudió aplicando la subescala del Self-Report Habit Index (SRHI) ya mencionada, según lo presentado en la Tabla 2-1. La traducción de cada una de estas frases no fue sencilla ni tampoco literal; de hecho, se necesitó varias pruebas para lograr que se entendiera cada una y se respondiera conscientemente.

En el grupo focal se probó un cuestionario adicional con preguntas basadas en la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen (1991), teniendo en cuenta las intenciones, normas subjetivas y control percibido en el estudio del comportamiento (Triandis, 1977; de Bruijn

et al., 2005; Milakis, 2015). Sin embargo, el cuestionario era muy extenso, y se buscó dejar sólo las preguntas que serían usadas luego en la modelación.

2.7 Diseño de encuesta definitiva para Santiago

Como resultado del grupo focal y de la revisión bibliográfica previa, se realizó ajustes a todo el instrumento, incluyendo el diseño de la encuesta PD y los indicadores psicométricos, con el fin de reducir el tiempo de respuesta y mejorar la comprensión del mismo. Teniendo en cuenta que la encuesta sería respondida en línea, se diseñó de tal forma que con un grupo de preguntas filtro, se guiara al encuestado hasta un experimento de PD realista y de fácil comprensión.

La primera pregunta filtro era si la persona sabía andar en bicicleta; ésta se encontraba en la primera parte de la encuesta, dentro de las preguntas sobre el individuo. Si se respondía de forma negativa, se acababa la encuesta y se agradecía al encuestado por su interés en participar. Si respondía de forma positiva, se pasaba a la sección de información del viaje, que se describe en forma detallada a continuación.

2.7.1 Información del viaje

Esta sección estaba dividida en varias partes, que cumplían un rol específico en el diseño completo de la encuesta. Es importante resaltar que, al ser una encuesta pivoteada en la información reportada por el individuo, se necesitó diseñar un flujo interno que permitiera distintas respuestas posibles y filtros para su correcta finalización. A continuación, se describe cada sección y su propósito.

Sección 1. Origen, destino y tiempo de viaje

En esta sección se pedía al encuestado ubicar el origen y destino de su viaje reportado en un mapa de Google (Figura 2-6). Podía ser una esquina o lugar cercano, en caso de no querer reportar la dirección exacta. Estas primeras preguntas permitían recoger las coordenadas del viaje.

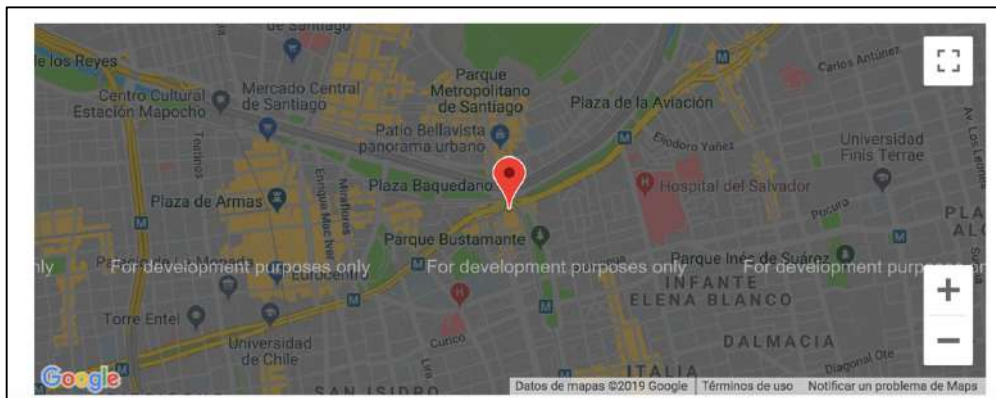


Figura 2-6. Representación gráfica según mapa Google para ubicar origen y destino

Luego, se preguntaba la hora que salió de su casa y la hora que llegó a su destino. Se preguntó de esta forma teniendo en cuenta que una persona que va a su trabajo o estudio, debe cumplir ciertos horarios y tiene más claro esas horas que los tiempos de viaje y espera que suelen ser más subjetivos. Con esta diferencia horaria, se obtenía el tiempo total de viaje que fue posteriormente usado en el diseño de la encuesta PD.

Sección 2. Modo(s) de transporte y atributos del viaje

Se preguntó cuántos modos de transporte diferentes usó en el viaje, con el fin de conocer las etapas del mismo y seleccionar la encuesta PD asociada al modo usado. Se especificaba que los cambios de línea de metro no se consideraban (en este caso) cambio de modo, ni se consideraba una etapa de viaje a las caminatas de acceso o egreso menores de siete cuadras.

Dependiendo de la respuesta, a continuación, se mostró un listado de los modos de transporte posible para cada etapa: auto como chofer, auto como acompañante, bus, metro, taxi, taxi colectivo, moto, bicicleta, caminata, otro. Si respondía auto o taxi, se preguntaba si transitaba por autopista o vías locales. Para todos los modos motorizados, menos metro, se pedía elegir entre tres niveles de congestión promedio durante toda su ruta: (i) vía con pocos vehículos, puede transitar a velocidad máxima permitida (sin congestión); (ii) vía con vehículos delante y tránsito lento a velocidad baja a media (congestión media); (iii) vía con muchos vehículos, tránsito muy lento y a velocidad muy baja (congestión alta). Con base en las dos características antes mencionadas, se construyó una tabla de velocidades promedio

de viaje según modo de transporte, que se utilizó para calcular la distancia promedio del viaje (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Velocidad promedio (km/h) del viaje según modo de transporte

	Auto/Taxi (Autopista)	Auto/Taxi (Vías locales)	Bus	Metro
Sin congestión	60	25	18	
Congestión media	45	20	15	30
Congestión alta	30	15	12	

Se hizo preguntas sobre los atributos del viaje, que dependían del modo(s) elegido. En la Tabla 2-5 se presentan los distintos atributos por modo de transporte, que fueron usados posteriormente en el diseño de la encuesta de PD.

Tabla 2-5. Atributos de nivel de servicio por modo

	Auto	Acompañante	Bus	Metro	Taxi	Moto	Caminata
Cuadras de acceso y egreso	X	X	X	X	X	X	X
Pago estacionamiento	X	X				X	
Tiempo espera			X	X	X		
Tarifa o costo viaje			X	X	X		
Servicio (Ruta)			X	X	X		
Estación Ingreso/Egreso				X			
Cambio línea				X			
Viaja acompañado	X					X	X
Parada intermedia	X	X			X	X	X

Finalmente, si la persona era usuaria de auto, auto acompañante, bus, metro, taxi o caminata (en combinación con transporte público), se preguntaba si estaba dispuesto a realizar ese viaje en bicicleta con tres posibles respuestas: No, Tal vez, o Sí. Aquellos que contestaban No, se remitían directo a los indicadores psicométricos (junto con las personas

que respondían usar modos distintos a los antes nombrados); pero si respondían Tal vez o Sí, pasaban a la encuesta PD cuyo diseño estaba pivoteado en las respuestas anteriores.

Adicionalmente, se preguntó al encuestado si tenía disponible bicicleta para realizar el viaje; de lo contrario, se proponía el uso de un servicio de bicicletas públicas, cómo Bikesantiago o Bici Las Condes, que se estaban empezando a usar con frecuencia en la ciudad.

2.7.2 Diseño encuesta de preferencias declaradas

Con base en la revisión de literatura sobre diseño de encuestas PD, se eligió un diseño eficiente etiquetado y pivoteado en las respuestas reveladas por los encuestados (Caussade *et al.*, 2005; Train y Wilson, 2007; Rose y Bliemer, 2006; Rose y Bliemer, 2009).

Como primer paso en la creación del diseño experimental, se especificó como modelo a estimar un modelo logit multinomial, y también los atributos de cada alternativa. Cómo el encuestado se enfrentaría a situaciones de elección binarias, es decir, entre su modo actual y bicicleta, se necesitaba un diseño experimental para cada modo de transporte enfrentado con bicicleta propia o bicicleta pública, esto es, un total ocho diseños experimentales distintos.

Los atributos para el experimento y sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- (a) *Tiempo total de viaje en el modo actual* (tres niveles): tiempo actual (reportado) y dos incrementos de 20% cada uno.
- (b) *Tiempo total de viaje en bicicleta* (tres niveles): estimado como la distancia media del viaje dividida por tres posibles velocidades de circulación: 12 km/h, 15 km/h y 18 km/h.
- (c) *Tiempo de espera en transporte público* (tres niveles): tiempo actual (reportado) y dos incrementos de 15% cada uno.
- (d) *Cuadras caminadas para acceder (o hasta el destino) al modo* (tres niveles): valor reportado y dos incrementos de 1 cuadra cada uno.
- (e) *Tarifa del viaje en transporte público* (tres niveles): valor reportado y dos incrementos de 20% cada uno.

- (f) *Nivel de hacinamiento en el transporte público* (tres niveles): dependiendo la densidad de pasajeros por m^2 , los tres niveles presentados fueron: 2 personas/ m^2 , 4 personas/ m^2 , y 6 personas/ m^2 , que se interpretaría como vacío, lleno, y muy lleno, respectivamente (Tirachini *et al.*, 2017).

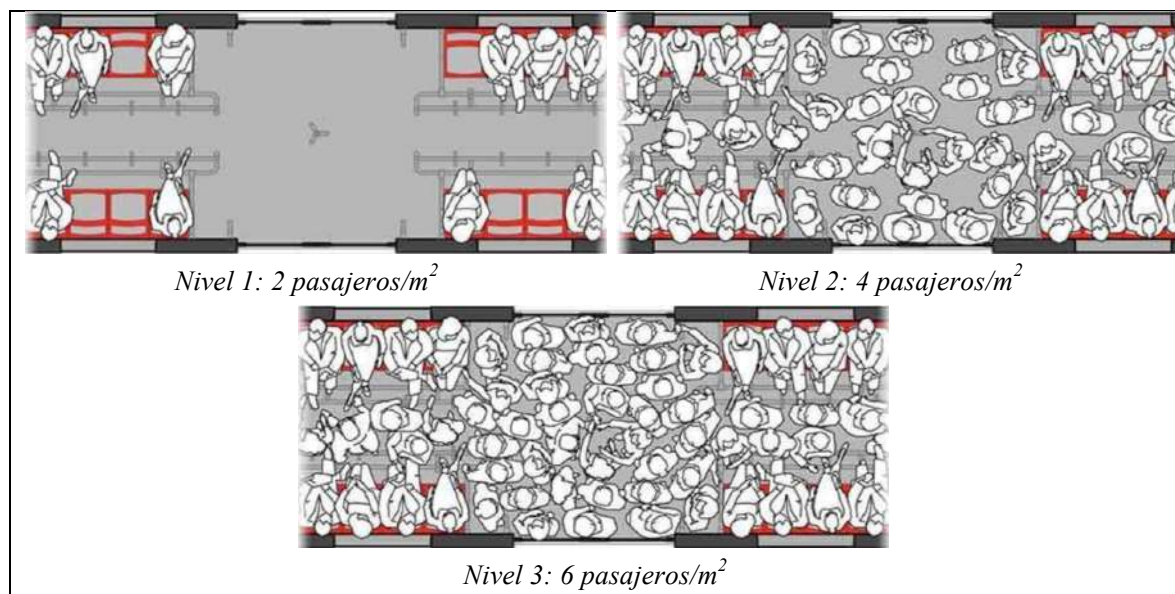


Figura 2-7. Niveles de hacinamiento, basado en Tirachini *et al.* (2017)

- (g) *Costo del viaje en auto* (tres niveles): valor calculado según la distancia del viaje sumado al costo reportado de estacionamiento (valor actual) y dos incrementos de 20% cada uno. El valor por kilómetro usado en esta encuesta es de Ch\$145/km, el cual fue calculado con base en la metodología desarrollada por DICTUC (2017) sobre tasación de vehículos que calcula un costo global anual del uso de auto que tiene en cuenta costos de tenencia, depreciación, mantención y bencina. Se usó un promedio de estos costos para distintos tipos de vehículo, suponiendo que recorre cerca de 23 mil kilómetros al año.
- (h) *Tipo de ciclovía* (cuatro niveles): se presentaban figuras de las cuatro opciones: (i) ninguna, esto es, compartiendo la calle con los demás vehículos, (ii) ciclovía sobre la vereda, (iii) ciclovía pintada en la calle, y (iv) ciclovía segregada en la calle (ver Figura 2-8). Tratada como una variable ficticia.

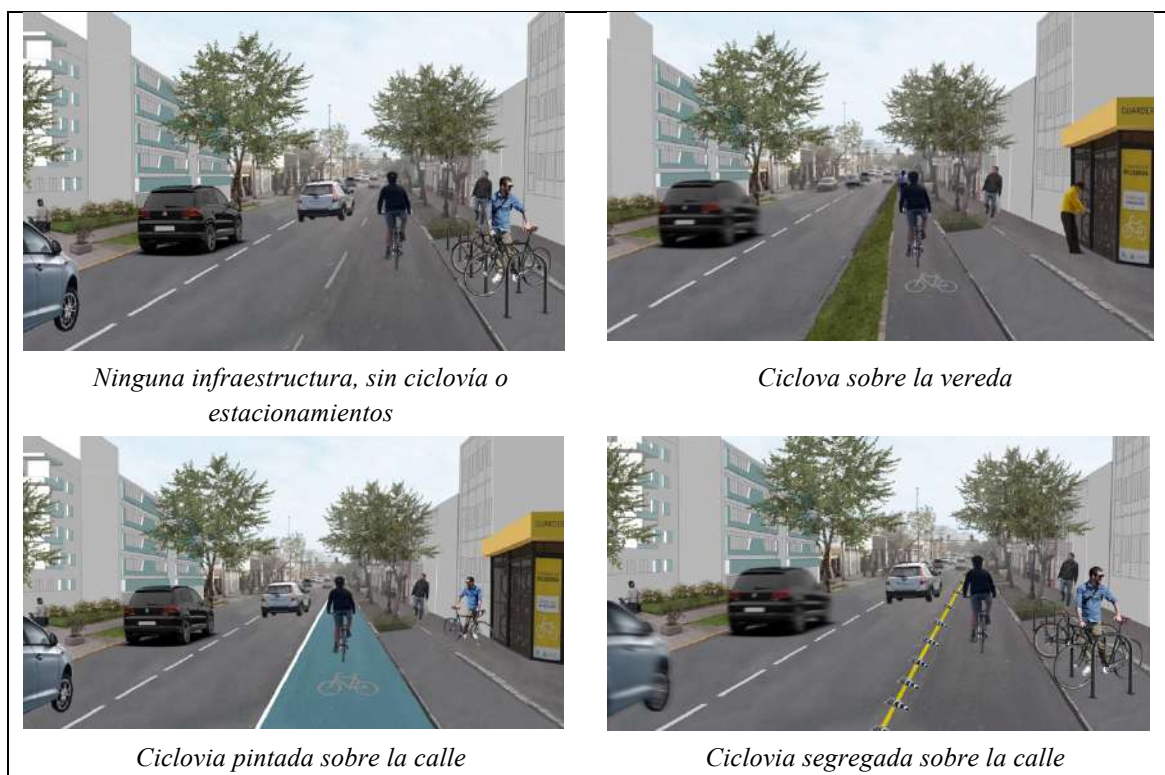


Figura 2-8. Cuatro tipos de ciclovía, basado en Rossetti et al. (2018)

- (i) *Tipo de estacionamiento para bicicleta propia* (tres niveles): se mostraban figuras de las tres opciones: (i) ninguno, esto es, debería usar su propio candado y asegurar la bicicleta en cualquier lugar, (ii) estacionamiento tipo jaula, y (iii) estacionamiento tipo jaula con un guardia de seguridad (Figura 2-9). Tratada como variable ficticia.



Figura 2-9. Tipos de estacionamiento para bicicleta presentados en el experimento PD

- (j) *Costo del estacionamiento de bicicleta propia* (dos niveles), solo en el caso de estacionamientos tipo jaula: Ch\$300/día o Ch\$500/día; cero en los otros casos.

(k) *Costo de plan de bicicleta pública* (tres niveles), pago de plan mensual de Ch\$12.000, plan semestral de Ch\$54.000 o plan anual de Ch\$72.000, que correspondería a Ch\$400/día, Ch\$300/día o Ch\$200/día, respectivamente.

Con base en estos atributos y sus respectivos niveles, se decidió realizar un diseño de tres bloques con seis situaciones de elección para bus y metro, y de dos bloques con seis situaciones de elección para el resto de los modos, con el fin de garantizar los suficientes grados de libertad para estimar los modelos (Rose y Bliemer, 2009).

Para el modo de transporte auto acompañante se usó el mismo diseño de auto chofer teniendo en cuenta que se estimarían parámetros genéricos para los atributos de estos dos modos. En el caso de caminata-bus se usó el diseño para bus, y en el caso de caminata-metro se usó el diseño para metro, al igual que para la combinación entre bus y metro (suponiendo que este era el modo principal y el bus el modo de acceso).

Los parámetros iniciales para cada diseño se basaron en investigaciones similares realizadas en Santiago (Ortúzar *et al.*, 2000; MTT, 2011; Tirachini *et al.*, 2017; Oliva *et al.*, 2018; Rossetti *et al.*, 2018) y el valor medio de cada atributo se tomó de la Encuesta Origen Destino del 2012 (SECTRA, 2015).

2.8 Implementación de la encuesta

Para aplicar la encuesta se usó el software Qualtrics, que permitió programar - a través de javascript - los distintos diseños de encuesta y crear un flujo adecuado dependiendo de las respuestas de cada individuo.

Según la descripción presentada anteriormente, se realizó el siguiente flujo:

1. Se calculaba el tiempo de viaje total, restando la hora de llegada de la hora de salida reportadas por el encuestado.
2. Al tiempo total se restaban las cuadras caminadas de acceso y de egreso, según una velocidad promedio de 5 km/h del Highway Capacity Manual (TRB, 2010) y una longitud de cuadra de 125 metros; el tiempo de espera reportado, permitía finalmente estimar el tiempo de viaje en vehículo, que se usaría en el diseño de este atributo.

3. Con base en las velocidades medias del viaje de la Tabla 2-2, se estimaba la distancia promedio del viaje. Esta dependía de si la persona usaba o no autopista (auto y taxi) y del tipo de congestión que había reportado.
4. Con el valor de la distancia, se estimaba el costo del viaje para auto, y el tiempo de viaje para bicicleta. Por ejemplo, si el tiempo total de viaje reportado era de 40 min y había usado bus con un nivel de congestión media, la distancia del viaje era de 10 km. A partir de este valor, se obtenían los tres posibles niveles de tiempo de viaje de bicicleta: 50 min (12 km/h), 40 min (15 km/h) y 33 min (18 km/h). En el caso de auto, la distancia del viaje se multiplicaba por \$145/km y se sumaba el costo de estacionamiento si era reportado por el individuo, para obtener el costo total del viaje.
5. Con los valores de los atributos reportados y los estimados con la metodología anterior, junto al diseño para cada modo de transporte, se calculaban los valores de los atributos en cada situación de elección.

El software permitió presentar las preguntas de forma aleatoria y controlar que cada bloque se presentara las mismas veces, con el fin de obtener lo más cercano al diseño completo. En la Figura 2-10 se presenta un ejemplo de situación de elección entre metro y bicicleta propia.

Escoja la alternativa que prefiera:

Metro		Me da lo mismo	Bicicleta	
Tiempo de viaje	12 minutos		Tiempo de viaje	27 minutos
Costo del viaje (aproximado)	\$ 210		Tipo de infraestructura	Ninguna
Cuadras para acceder al metro + cuadras para llegar a su trabajo/estudio	2 cuadras(s)		Costo de estacionamiento	\$200/diarios
Tiempo de espera	5 minutos		Distancia al estacionamiento	0 cuadra(s)
Ocupación	Muy Lleno		Tipo de estacionamiento	Estacionamiento cerrado (tipo jaula) CON guardia

Figura 2-10. Ejemplo presentación a los encuestados de una situación de elección

Al inicio de la encuesta se mostraban las figuras de tipo de ciclovía y tipo de estacionamiento de bicicleta; sin embargo, durante el experimento el encuestado tenía la opción de ver de nuevo las figuras si no recordaba o no tenía clara cuál opción se presentaba.

2.9 Pruebas piloto

Con el fin de testear que el flujo de la encuesta y el diseño interno del experimento de PD funcionara correctamente, se realizó una primera prueba piloto dentro de los estudiantes del Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística de la universidad, donde se recogieron un total de 30 encuestas. En esta primera prueba se logró detectar inconsistencias en la presentación de los atributos del modo elegido, en el cálculo interno del tiempo de viaje de bicicleta en el experimento PD, así como diferencias entre el lenguaje adaptado a Chile.

Se realizaron las correcciones con base en las observaciones previas y se lanzó una segunda prueba piloto en redes sociales, para conocer la percepción de la encuesta por parte de personas no familiarizadas con este tipo de experimento. Se logró capturar 82 encuestas, que permitieron estimar modelos simples y con efecto panel, para corroborar consistencia en la estimación de parámetros (esto es, signo esperado, relación entre tiempos de viaje y de acceso, y significancia estadística).

Se comprobó que el signo de los parámetros correspondía al esperado, aunque algunos tenían una significancia menor al 70%. Esto se atribuyó a la poca variabilidad de los datos en una muestra tan pequeña. A partir de estos resultados, se realizó ajustes en el diseño del experimento para bus y metro, donde la variable nivel de ocupación, que inicialmente se había diseñado como una variable continua, se cambió por una variable ficticia con tres niveles. Con los cambios y estos ajustes, finalmente se programó el lanzamiento de la encuesta definitiva.

El formulario final de la encuesta se presenta como Anexo 2 de este documento.

3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE BICICLETAS EN UN ENTORNO AGRESIVO

3.1 Introducción

Desde hace varios años, en muchas ciudades latinoamericanas el desarrollo de la infraestructura vial y las políticas de movilidad se han centrado en el transporte motorizado, es decir, principalmente los automóviles privados y los sistemas de transporte público, dejando a los peatones y ciclistas relegados a un rol terciario. Peor aún, los usuarios de automóviles solían mostrar un comportamiento agresivo hacia los usuarios de modos no motorizados, incluida la invasión de ciclovías y veredas. Todas estas condiciones han desalentado el uso de modos de transporte activos y han hecho que sus potenciales usuarios los perciban como peligrosos a pesar de sus obvias ventajas en términos de costo, sostenibilidad y salud.

Afortunadamente, las tendencias recientes hacia la promoción de la bicicleta como un modo de transporte alternativo y sostenible y su integración con otros modos disponibles son alentadoras (Akar *et al.*, 2013; Rybarczyk y Gallagher, 2014), y algunas ciudades de América Latina (por ejemplo, Bogotá, Santiago y Río de Janeiro) ahora están invirtiendo en la construcción de instalaciones más adecuadas para ciclistas (Sagaris y Ortúzar, 2015; Rodríguez-Valencia *et al.*, 2019). Por lo tanto, el ciclismo se está convirtiendo en una tendencia mundial, no solo como una práctica de estilo de vida saludable, sino también como un modo de transporte más sostenible.

En ciudades con tasas de congestión de tráfico relativamente altas, los viajes diarios en bicicleta de menos de 10 km son normalmente más rápidos que si se realizaran en automóvil (Cervero *et al.*, 2009). En parte por esta razón, el número de viajes diarios en bicicleta en varias ciudades de América Latina ha aumentado de alrededor del 1% en los años 90 a más del 5% en los últimos años (Ortúzar *et al.*, 2000; Cherry y Cervero, 2006; Gutierrez *et al.*, 2020). Además, estudios recientes también han demostrado que las personas que usan bicicletas para sus desplazamientos diarios son más saludables que las que no las usan, o que las usan solo ocasionalmente (de Hartog *et al.*, 2010; Forsyth y Oakes, 2014).

Los objetivos de este capítulo fueron dobles. Primero, examinar la demanda potencial de viajes en bicicleta por parte de miembros de una comunidad universitaria en su viaje diario en Barranquilla, Colombia, una ciudad que se caracteriza por tener un ambiente agresivo para el ciclismo (es decir, caluroso, húmedo, sin infraestructura ciclista adecuada y con agresividad de conductores de autos y motocicletas que enfrentan una congestión severa). En segundo lugar, proponer políticas específicas para fomentar el uso de la bicicleta que puedan ser de aplicación en otras ciudades de características similares. Para estos propósitos, estimamos modelos de elección binaria que involucran dos variables latentes: conveniencia e inseguridad, además de los atributos clásicos de niveles de servicio del viaje. La primera variable latente involucró las percepciones sobre los beneficios para la salud y los ahorros de costos asociados con el uso de una bicicleta. A su vez, la inseguridad se relacionó tanto con la probabilidad de un robo como con la posibilidad de tener un accidente al andar en bicicleta. Los modelos probados incluyeron una estructura logit mixto de parámetros aleatorios y un modelo logit mixto híbrido.

3.2 Ciclismo en un entorno agresivo: el caso de Barranquilla

En este capítulo, ilustramos primero por qué consideramos que Barranquilla representa un entorno agresivo para los ciclistas, a través de un resumen del sistema de transporte de la ciudad. Luego describimos los datos recopilados para nuestro estudio con cierto detalle.

3.2.1 Sistema de transporte e información demográfica

Barranquilla es la cuarta ciudad más grande de Colombia, con aproximadamente 1,2 millones de habitantes (DANE, 2005). La ciudad en sí es el núcleo principal de un Área Metropolitana que incluye otros cuatro municipios: Malambo, Galapa, Soledad y Puerto Colombia, con un total de aproximadamente 2,0 millones de habitantes. La mayoría de los centros de empleo y universidades se concentran en la ciudad de Barranquilla, por lo que es el principal destino de los viajes durante la hora punta de la mañana.

En un día hábil normal se realizan alrededor de 2,2 millones de viajes, de los cuales el 44% son en transporte público (principalmente buses viejos y mal mantenidos de varios tamaños, aunque la ciudad cuenta con un sistema Bus Rapid Transit - BRT-, pero este es

utilizado por solo el 2,2% del total de viajes diarios). Adicionalmente, existe una variedad de servicios de transporte informal, entre los que el moto-taxi (ver Figura 3-1), el bici-taxi y el taxi compartido (no regulado) representan el 7,4% del total de viajes diarios (Alcaldía de Barranquilla, 2012).



Figura 3-1. Moto-taxis circulando en municipio de Soledad. (Fuente: El Heraldo, 2018)

El número de viajes en bicicleta representa casi el 2% de los viajes diarios (Universidad del Norte, 2018). La ciudad cuenta con una red bastante nueva de 14 km de carriles de bicicleta concentrados en dos ubicaciones: (i) Riomar, un área residencial y de parques, que fomenta solo el uso recreativo de las bicicletas, y (ii) el área Histórica Centro-Norte, tiene una pequeña red de ciclovías que conecta un centro comercial, varias estaciones de BRT y algunas instituciones educativas (ver Figura 3-2). No existen otras instalaciones para ciclistas, y es importante enfatizar que la escasa infraestructura ciclista existente no constituye una red continua que coincida con los patrones de viaje origen-destino (OD) en la ciudad (Cantillo *et al.*, 2019).

Además, las condiciones meteorológicas de la ciudad no son especialmente aptas para la práctica de la bicicleta debido a la elevada temperatura media durante el día (28 °C), llegando hasta un máximo de 32° C, casi todo el año. La ciudad también tiene una humedad relativa promedio alta (alrededor del 80%) y dos temporadas de fuertes lluvias que afectan la movilidad; de hecho, en algunos días estas condiciones pueden incluso paralizar el transporte motorizado hasta que deje de llover (IDEAM, 2010).

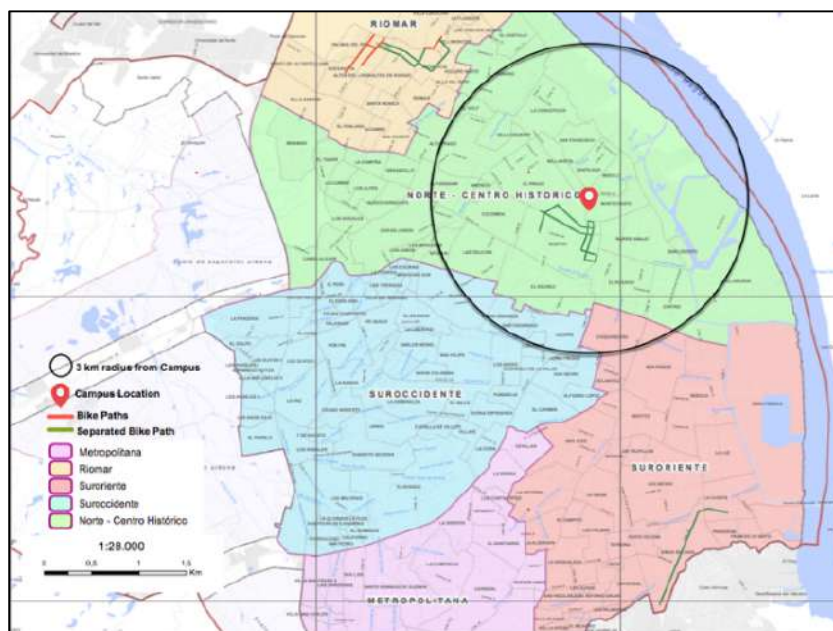


Figura 3-2. Mapa de infraestructura ciclista en Barranquilla (Fuente: POT, 2014)

Durante 2017, Barranquilla experimentó unos 6.000 accidentes de tráfico (Agencia Nacional de Seguridad Nacional, 2018), causando 110 muertos y cerca de 1.200 víctimas lesionadas (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2018). De estas estadísticas, seis de las personas fallecidas y 85 de los heridos eran usuarios de bicicletas. Los ciclistas de la ciudad no solo deben competir por el espacio en las carreteras con los automóviles y buses, sino también con las motocicletas por el espacio en los escasos carriles para bicicletas, que son constantemente invadidos por ellos.

Los ciclistas también experimentan problemas de seguridad en la ciudad. Los robos y asaltos frecuentes perpetrados principalmente por delincuentes en motocicletas hacen que los usuarios del modo activo se sientan inseguros. La seguridad es una de las principales preocupaciones de los ciudadanos de Barranquilla (Universidad del Norte, 2018).

En resumen, el comportamiento de los conductores de vehículos motorizados, la falta de instalaciones para ciclistas, las condiciones climáticas desfavorables y la alta siniestralidad, junto con la falta de educación vial por parte de los usuarios motorizados, crea un entorno tan agresivo en la ciudad que incluso las comunidades escolares y universitarias no eligen bicicletas para sus desplazamientos diarios.

3.2.2 Recopilación de datos

La encuesta se aplicó durante una semana laboral típica, entre las 7 am y las 8 pm, para capturar a los estudiantes y al personal durante su tiempo de trabajo. En total, 205 personas respondieron la encuesta, pero después de la limpieza de datos, terminamos con 181 formularios utilizables.

La distribución de los individuos y sus características socioeconómicas se presenta en la Tabla 3-1. Como puede verse, los encuestados están igualmente representados por género. La distribución del ingreso, definida por el estrato SE del individuo, muestra que los individuos de ingresos medios comprenden casi el 50% de la muestra. Finalmente, considerando que la mayoría de los encuestados son estudiantes, no sorprende que el 69% tenga menos de 23 años; esto también puede explicar por qué solo el 19% tiene el nivel de ingresos más alto.

Tabla 3-1. Características socioeconómicas de la muestra

Variable	Muestra (%)	Variable	Muestra (%)
<i>Género</i>		<i>Ingreso</i>	
Femenino	50	Bajo	37
Masculino	50	Medio	44
<i>Edad</i>		Alto	19
<21	40	<i>Propósito viaje</i>	
21-23	29	Estudio	57
24-30	20	Trabajo	43
>30	11	<i>Modo transporte</i>	
<i>Nivel educación</i>		Transporte público	59%
Básica	16	Auto	18%
Técnica o Tecnológica	12	Taxi	6%
Profesional	57	Bicicleta	2%
Postgrado	15	Caminata	7%
		Otro	8%

Según la información obtenida de las administraciones de las universidades, alrededor del 60% de los estudiantes pertenecen al estrato SE bajo. Esto incluye estudiantes que residen en localidades cercanas a la ciudad de Barranquilla, pero que viven cerca de los campus

como internos durante la semana. La mayoría de los viajes a los campus se realizan en transporte público (59%), el 18% de los viajes se realizan en automóvil, el 6% en taxi, el 6% en motocicleta, el 2% son una combinación de transporte público y otros modos, el 7% son caminatas y solo el 2% usa bicicleta. Como menos del 18% de los estudiantes viaja en automóvil privado (como consecuencia de la falta de estacionamientos disponibles para los estudiantes dentro y alrededor de los campus), la encuesta solo consideró el transporte público como una alternativa a la bicicleta.

La Figura 3-3 muestra el porcentaje de respuestas para cada indicador. Los indicadores asociados con la *conveniencia* (congestión, salud y ahorro) se calificaron más alto, con más del 80% de los encuestados indicando un alto nivel de acuerdo. Los otros indicadores tuvieron una distribución más uniforme.

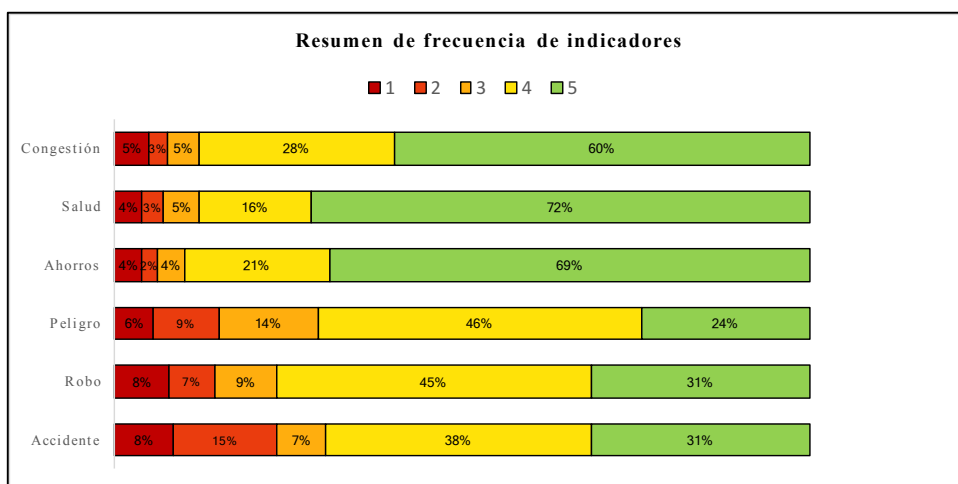


Figura 3-3. Porcentaje de respuestas para cada indicador de variables latentes

3.3 Resultados e implicaciones de la estimación del modelo

3.3.1 Resultados del modelo

Se especificaron diferentes estructuras de Logit Mixto (ML) para construir dos modelos de línea de base sin considerar las variables latentes (VL). El primer modelo de línea de base (Modelo de Panel ML en la Tabla 3-3) incluyó un componente de error para considerar el efecto de pseudo-panel asociado con el hecho de que las nueve respuestas declaradas por un individuo dado no son independientes entre sí (Ortúzar y Willumsen, 2011). El segundo

modelo de referencia (Modelo ML RP en la Tabla 3-3) incluyó un parámetro aleatorio para la variable de tiempo de viaje para capturar la heterogeneidad aleatoria del gusto.

Luego, siguiendo el marco del modelo descrito anteriormente, se estimó un modelo híbrido de elección discreta (HDC en la Tabla 3-3) utilizando el método simultáneo para asegurar parámetros consistentes e insesgados asociados con la VL (Bahamonde-Birke y Ortúzar, 2014). La especificación de cada LV se derivó, como es habitual, de un Análisis de Componentes Principales (PCA) de los indicadores perceptuales. Este análisis permitió identificar dos componentes principales con un valor propio mayor que uno, lo que podría explicar el 72% de la varianza. La primera VL se denominó *conveniencia* y se correlacionó con los indicadores perceptuales: *ahorro*, *salud* y *congestión*. La segunda VL, *inseguridad*, se asoció con *robo*, *accidente* y *peligro* (Tabla 3-2). Entonces, el modelo HDC tenía dos ecuaciones de medición con tres indicadores para cada variable latente, y se utilizó un modelo logit ordinal para representar el componente de medición del modelo MIMIC (Daly, *et al.*, 2012). Este enfoque reconoce la naturaleza ordinal de los indicadores observados.

Tabla 3-2. Matriz factorial del PCA con rotación oblicua

Indicadores perceptuales	Inseguridad	Conveniencia
Ahorros	-0.037	-0.480
Salud	0.027	-0.494
Congestión	-0.067	-0.522
Robo	0.507	-0.043
Accidente	0.486	-0.008
Peligro	0.524	-0.027

El siguiente paso involucró la construcción de un modelo de Múltiples Causas Múltiples de Indicadores (MIMIC) y su estimación simultánea con el componente del modelo de elección discreta (ver Figura 3-4). Durante las búsquedas de especificaciones, se propusieron varios modelos HDC considerando varias especificaciones de utilidad y diferentes estructuras del modelo MIMIC. Por ejemplo, en las ecuaciones estructurales intentamos incorporar características socioeconómicas de los individuos y/o atributos de los modos, pero finalmente solo se incluyeron como variables explicativas las primeras (es decir, las únicas significativas en los modelos estimados).

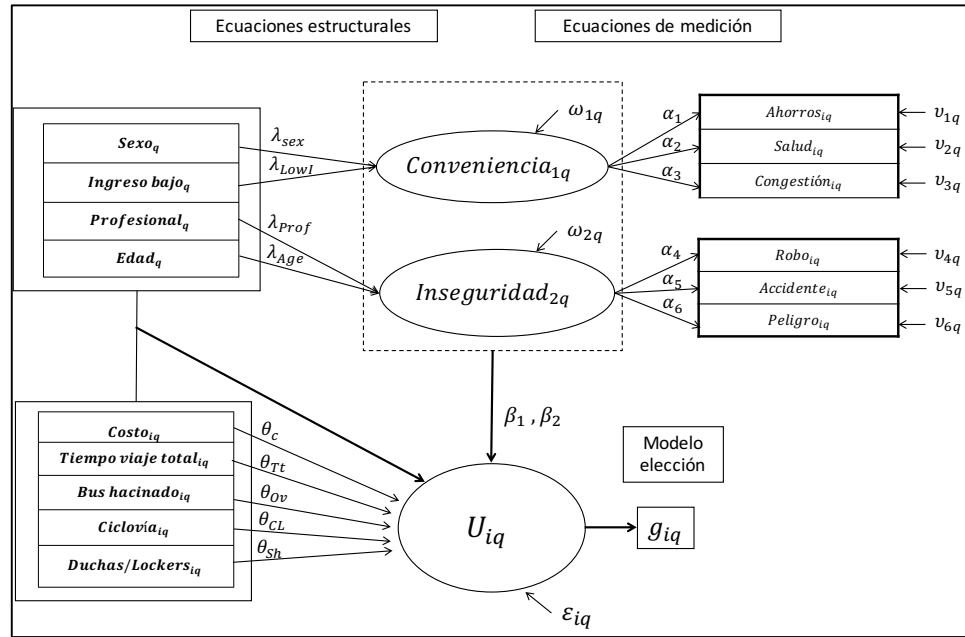


Figura 3-4. Diagrama del modelo híbrido de elección discreta

Finalmente, se eligió el modelo que presentaba mejor consistencia microeconómica y estadística, el cual tenía la siguiente estructura:

$$\begin{aligned}
 U_{bicicleta} = & (\theta_{TV} + \theta_{T_P} \cdot Profesional) \cdot TiempoViaje + (\theta_{Costo} + \theta_{C_{In}} \cdot Ingreso\ alto) \cdot Costo \\
 & + (\theta_{ducha} + \theta_{D_{Edad}} \cdot Joven + \theta_{D_{Fem}} \cdot Femenino) \cdot Ducha \\
 & + \theta_{Ciclovía} \cdot Ciclovía + \beta_{Ins} \cdot Inseguridad + \beta_{Conv} \cdot Conveniencia + \varepsilon_{bici} \\
 U_{bus} = & \theta_{Bus} + \theta_{TV} \cdot TiempoViaje + \theta_{Costo} \cdot Costo + \theta_{Confort} \cdot Muy\ Lleno + \varepsilon_{bus}
 \end{aligned} \quad (8)$$

Las dos alternativas incluidas en el modelo consideraron los atributos del nivel de servicio, el nivel socioeconómico, las variables de las instalaciones para bicicletas y las dos VL (*conveniencia e inseguridad*), cada uno medido por tres indicadores.

El género, la edad, el nivel de estudios y el nivel de ingreso fueron las únicas variables socioeconómicas significativas que quedaron en las ecuaciones estructurales. Decidimos estimar un parámetro para el tiempo de viaje total, es decir, agregar el tiempo de viaje y el tiempo de acceso porque no eran significativamente diferentes entre sí (el valor del costo se dividió por 100 para fines de modelación).

La Tabla 3-3 muestra los parámetros estimados para los modelos ML y HDC (entre paréntesis, se presentan test t robustos).

Tabla 3-3. Atributos relevantes en el modelo logit mixto y el modelo híbrido

Atributo	Alternativa	Modelo ML	Modelo ML	Modelo HDC
		Panel	RP	
		Parámetro (test-t)	Parámetro (test-t)	Parámetro (test-t)
Bus Constante	1	1.305 (2.48)	1.982 (4.51)	1.226 (2.75)
θ_{Tv} (Tiempo viaje)	1,2	-0.069 (-4.62)	-0.072 (-5.29)	-0.062 (-4.00)
θ_{TT} (Tiempo Viaje_Profesional)	2	-0.054 (-2.79)	----	-0.065 (-2.93)
σ_{TT}	2	----	-0.118 (- 10.58)	----
θ_C (Costo)	1,2	-0.085 (-5.44)	-0.079 (-5.28)	-0.094 (-6.40)
θ_{C_LI} (Costo_Ingreso Bajo)	1	-0.048 (-1.86)	-0.049 (-2.20)	----
θ_{ML} (Muy Lleno)	1	-1.214 (-7.18)	-1.208 (-7.33)	-1.129 (-6.97)
θ_{DUCHA} (Ducha)	2	0.885 (3.76)	1.026 (4.30)	0.771 (3.21)
θ_{D_EDAD} (Ducha_Joven)	2	-0.486 (-1.80)	-0.526 (-2.05)	-0.365 (-1.38)
θ_{D_Mujer} (Ducha_Mujer)	2	-0.524 (-2.03)	-0.569 (-2.21)	-0.515 (-1.92)
θ_{CL} (Ciclovía)	2	0.755 (5.17)	0.811 (5.50)	0.702 (4.89)
β_{Conv} (Conveniencia: Z_1)	2	----		1.593 (7.57)
β_{Inseg} (Inseguridad: Z_2)	2	----	----	-0.831 (-2.68)
μ (Efecto panel)		1.812 (10.73)	----	----
<i>Log-verosimilitud modelo elección</i>		-814.46	-821.56	-810.65
$\bar{\rho}^2$		0.202	0.196	0.207
<i>AIC</i>		1650.92	1663.12	1643.3
<i>Número de individuos</i>		181	181	181
<i>Número de observaciones</i>		1629	1629	1629

En todos los casos, los signos de los parámetros son consistentes con la teoría microeconómica (Ortúzar y Willumsen, 2011) y la mayoría son significativos al nivel de confianza del 90% ($t > 1.64$), excepto por el parámetro de un término de interacción (θ_{D_Mujer} (Ducha_Mujer)) en el modelo HDC. Sin embargo, decidimos mantenerlo en el modelo HDC para comparar la log-verosimilitud entre todos los modelos de elección. Curiosamente, el ajuste del modelo del modelo ML Panel fue mejor que el del modelo ML RP, pero aún más bajo que el del modelo HDC; esto está en línea con estudios previos en el contexto

latinoamericano (Arellana, 2012). Los tres términos de error incluidos en el modelo HDC parecen ayudar a capturar este efecto. En cuanto a la bondad de ajuste del modelo, la Tabla 3-3 presenta el rho-cuadrado corregido y el Criterio de Información de Akaike (Akaike, 1980). Con el valor de estos dos índices, podemos inferir que el modelo HDC tiene una mejor bondad de ajuste que el modelo ML Panel, y este, a su vez, tiene una mejor bondad de ajuste que el modelo ML RP.

La Tabla 3-4 muestra que el modelo HDC también tiene fuertes ecuaciones estructurales, ya que los atributos observables: género, edad, nivel educativo y nivel de ingresos, son buenos predictores de las variables latentes *conveniencia* e *inseguridad*, tienen el signo esperado y la mayoría de los test t indican niveles de confianza superiores al 90%.

Tabla 3-4. Atributos relevantes del modelo MIMIC

Atributo	Modelo MIMIC
	Parámetro (test-t)
$\lambda_{F,Z1}$ (Femenino, Z1)	-0.152 (-1.14)
$\lambda_{LI,Z1}$ (Ingreso Bajo, Z1)	0.627 (3.34)
$\lambda_{Y,Z2}$ (Joven, Z2)	0.373 (2.41)
$\lambda_{U,Z2}$ (Profesional, Z2)	-0.312 (-1.81)
α_S (Ahorros: Z1)	2.652 (5.14)
α_H (Salud: Z1)	3.300 (4.24)
α_C (Congestión: Z1)	3.836 (3.57)
α_{Ac} (Accidente: Z2)	2.622 (5.59)
α_{Rob} (Robo: Z2)	3.309 (4.45)
α_D (Peligro: Z2)	2.023 (6.19)

El modelo HDC sugiere que las personas con un nivel educativo alto (es decir, profesionales con un título universitario) pesan el tiempo de viaje en bicicleta casi el doble que el resto de la muestra. Los valores subjetivos de tiempo (VST), definidos como la tasa marginal de sustitución entre tiempo y costo (Gaudry *et al.*, 1989), para usuarios de autobuses y usuarios de bicicletas sin título profesional son alrededor de 66 COP/min (0,02 USD/min), que está en línea con el VST estimado para los usuarios del transporte público en Colombia (Ramos *et al.*, 2017). Mientras tanto, el VST para usuarios de bicicletas con título profesional ronda los 135 COP/min (0.04 USD/min).

La elasticidad de la demanda agregada, calculada mediante la técnica de enumeración muestral (Ben Akiva y Lerman, 1985), fue alrededor de -0,7. Este valor indica que las personas son muy sensibles al costo. En Barranquilla, los estudiantes no tienen tarifa preferencial para el uso del transporte público; por tanto, desde el punto de vista del ahorro, la bicicleta es un medio de transporte atractivo.

Como era de esperar, el efecto de viajar en un bus muy lleno es negativo para la utilidad del transporte público y es un atributo importante a la hora de elegir este modo. Por otro lado, tener carriles para bicicletas y duchas/casilleros tiene un efecto positivo en la utilidad de las bicicletas (Handy *et al.*, 2014). Esperábamos que la presencia de ciclovías mejoraría la percepción de seguridad de los usuarios; sin embargo, probablemente este no fue el caso porque los ciclistas no cuentan con suficientes instalaciones que los protejan de los vehículos motorizados en toda la ciudad, lo que significa que los usuarios no los perciben como seguros. Los usuarios de bicicletas deben competir por el espacio en la vía y, en caso de un accidente menor, la bicicleta puede resultar totalmente dañada y el ciclista puede sufrir lesiones graves, en comparación con ir en bus, por ejemplo, donde el accidente debe ser mayor para producir lesiones graves.

Además, tener duchas/casilleros en el campus es menos importante para los jóvenes que para las personas mayores de 24 años, probablemente porque en su mayoría son estudiantes (un empleado típico normalmente necesitaría cambiarse de ropa sudada antes de comenzar un día de trabajo). De hecho, durante la encuesta, escuchamos a algunas personas decir que tener una ducha/casillero podría ser importante para ellos debido a la posibilidad de tomar una ducha y cambiarse de ropa después de su viaje. Recordemos que las temperaturas en la ciudad contribuyen a terminar siempre el viaje transpirando, lo que podría incomodar a algunos usuarios de la bicicleta. Sin embargo, requeriría que agreguen más tiempo para completar el viaje y podría significar llegar tarde al campus o tener que salir de casa antes.

La importancia de la variable latente *inseguridad* (Z_2), refleja el miedo a que le roben la bicicleta o las pertenencias individuales en la ruta. Es una variable importante considerando que la tasa de robos en la ciudad fue de alrededor de 625 por cada 100.000 habitantes en 2017, y que el 31% de los ciudadanos se sentían inseguros al caminar por las calles de la

ciudad (Universidad del Norte, 2018). Como podemos ver en la Tabla 3-4, los estudiantes jóvenes (edad <23 años) tienen una mayor percepción de inseguridad desalentando su uso de la bicicleta. Por otro lado, las personas mayores y profesionales son menos sensibles a los problemas de inseguridad en la ciudad. Aunque esto puede parecer contradictorio, podría deberse a que esas personas están familiarizadas con los problemas de seguridad en el área. La experiencia juega un papel importante en la formación de percepciones y actitudes, en línea con investigaciones previas en la ciudad (Arellana *et al.*, 2021).

A diferencia de la variable *inseguridad*, una mayor percepción de la variable de *conveniencia* debería incentivar el uso de la bicicleta debido a su efecto significativo en el modelo HDC. Para las personas de bajos ingresos, utilizar una bicicleta es más conveniente que para las personas de ingresos medios y altos. Se espera el resultado anterior, ya que el uso de la bicicleta implica un ahorro en los gastos mensuales (en comparación con el pago de la tarifa diaria del bus), y esto se ve reforzado por el hecho de que los estudiantes no tienen tarifa preferencial en Barranquilla. Adicionalmente, la posibilidad de viajar libremente en bicicleta es atractiva en una ciudad donde ha habido una congestión creciente en los últimos años, y donde actualmente los automovilistas pasan un promedio de 40 horas al año en congestión vehicular (INRIX, 2018). Finalmente, se perciben como importantes las contribuciones a la salud que se pueden generar al utilizar la bicicleta todos los días (Deenihan y Caulfield, 2014; Doorley *et al.*, 2016); esto es interesante en un país con un reciente aumento en las tasas de obesidad y donde más del 50% de las personas padecen actualmente esta condición (Ministerio de Salud, 2015).

El modelo también sugiere que las mujeres encuentran menos conveniente el uso de la bicicleta. La literatura sobre el papel del género en el uso de la bicicleta, generalmente menciona que las mujeres prefieren caminos separados a los carriles para bicicletas (Garrard *et al.*, 2008; Waintrub *et al.*, 2016; Frater y Kingham, 2018; Mitra y Nash, 2019; Bonham y Wilson 2012); sin embargo, nuestro modelo no apoyó esta afirmación.

3.3.2 Implicaciones para políticas públicas

Fomentar el uso de la bicicleta en entornos agresivos requeriría la implementación de políticas y estrategias contundentes en cuanto a la provisión de infraestructura e instalaciones adecuadas para la bicicleta, que a su vez mejoren la percepción de conveniencia de los potenciales usuarios de la bicicleta y también logren una mejora en la percepción de sus seguridad y protección.

Un primer conjunto de estrategias que se puede derivar de nuestro análisis, involucra el diseño de políticas de incentivos para hacer la bicicleta más atractiva y conveniente para los usuarios potenciales. Estas políticas deben incluir la construcción de carriles exclusivos para bicicletas y la provisión de instalaciones como duchas, casilleros y estacionamientos gratuitos para ciclistas en los principales destinos. Además, creemos que estas políticas también podrían influir en la percepción de inseguridad, ya que los carriles exclusivos para bicicletas deberían ayudar a disminuir las tasas de accidentes con bicicletas en la ciudad. Además, creemos que el diseño de ciertas instalaciones debe considerar las condiciones climáticas de la ciudad; por ejemplo, la planificación de la infraestructura debe considerar la provisión de sombra, fuentes para beber agua y lugares de descanso seguros. Finalmente, este primer conjunto de políticas podría ir acompañado de la integración de la infraestructura de bicicletas a la red de transporte público, para promover la movilidad sostenible en modo mixto en la ciudad y favorecer los viajes de larga distancia en transporte público en lugar de en automóvil.

Se podría desarrollar un segundo conjunto de estrategias para influir en la percepción de inseguridad en el uso de bicicletas en la ciudad. En definitiva, se podrían considerar medidas duras asociadas a la provisión de cámaras de vigilancia, la mejora de la iluminación durante las horas nocturnas, la presencia de agentes de seguridad o policiales y la disponibilidad de botones de pánico a lo largo de la infraestructura de bicicletas. Sin embargo, medidas blandas como una alta densidad y desarrollos de uso mixto de suelo en los alrededores de la infraestructura para bicicletas también podrían favorecer mayores flujos peatonales que de hecho podrían brindar un mayor control social para fortalecer la percepción de seguridad (Greene y Ortúzar, 2019). En cuanto a la percepción de inseguridad, medidas duras que

impliquen la provisión de carriles exclusivos para bicicletas, como se discutió anteriormente, pero junto con el suministro de señalización adecuada de tráfico y alternativas de cruce seguro en intersecciones, también podrían promover el uso de la bicicleta. Las medidas blandas hacia la inseguridad deben considerar campañas de educación tanto para ciclistas como para conductores de vehículos de motor, para promover un comportamiento de conducción más seguro.

Un tercer conjunto de estrategias implica destacar los factores que hacen de la bicicleta un modo de transporte conveniente y sostenible. Las campañas educativas y publicitarias que se centren en los beneficios del uso de la bicicleta para la salud y el medio ambiente en los viajes universitarios podrían ser una opción en este sentido. Numerosos estudios demuestran los beneficios para la salud asociados al uso de la bicicleta como principal medio de transporte (Deenihan y Caulfield, 2014; Raustorpa y Koglin, 2019), al incorporar la actividad física diaria en las rutinas de quienes no practican ningún deporte o ejercicio físico. En este sentido, el ciclismo podría ser un paso importante para prevenir enfermedades cardiovasculares y obesidad, e incluso mejorar los niveles de colesterol, diabetes o presión arterial (Huy *et al.*, 2008; Oja *et al.*, 2011). Además, otros estudios demuestran que viajar en bicicleta es más respetuoso con el medio ambiente que viajar en cualquier vehículo motorizado (Mrkajic *et al.*, 2015; Jain y Tiwari, 2016; Espinosa *et al.*, 2018). Particularmente, las campañas mencionadas podrían reforzar el mensaje de que la ciudad de Barranquilla y su región aledaña tienen el menor porcentaje de cumplimiento mínimo de actividad física diaria (entre transporte y tiempo libre), con un 46% frente al promedio de Colombia que es 56%. A nivel país, el exceso de peso se ha incrementado alrededor de un 6% en los últimos 10 años, junto con un aumento del tiempo frente a las pantallas en la adolescencia y la edad adulta, reduciendo el tiempo para actividades al aire libre y deportes. Los tiempos de actividad física diaria podrían mejorarse adoptando una bicicleta para desplazarse (ICBF, 2015). Finalmente, en cuanto al impacto ambiental del uso de bicicletas en el contexto de Barranquilla, las campañas podrían socializar el hecho de que según la Agencia Europea de Medio Ambiente (2014), un autobús emite aproximadamente 68/gr/km/pasajero de CO₂. Por tanto, si aplicamos nuestro modelo a la población de 25.000 individuos entre las dos universidades, y considerando que aproximadamente el 68% de ellos

estarían dispuestos a viajar en bicicleta, se podría conseguir una reducción de alrededor de 1 ton/km de CO₂ por día.

Adicionalmente, proponemos campañas educativas y de incentivo para el uso diario de la bicicleta en toda la comunidad universitaria, como (i) la creación de ciclovías recreativas los fines de semana como las *Ciclovías recreativa* en Bogotá (Cervero *et al.*, 2009) o *CicloRecreovías* en Santiago de Chile. (Mora *et al.*, 2018), pero dirigido a estudiantes, personal y profesores de las dos universidades; (ii) reiniciar un sistema de alquiler de bicicletas en el campus subsidiado por la administración universitaria; y, por último, (iii) diseñar incentivos para trabajadores y estudiantes que utilicen programas como Días en bicicleta al trabajo (Rose y Marfurt, 2007), donde los viajeros pueden acceder a desayunos gratuitos, obsequios o desafíos para los viajeros que los animan a elegir modos de transporte activos para viajes hacia y desde el trabajo, con la posibilidad de ganar un atractivo premio (Castillo y Moreno, 2018).

3.4 Conclusiones

Exploramos cómo el entorno de una ciudad puede afectar la elección del modo de transporte, enfocándonos en el uso de la bicicleta, para los desplazamientos diarios de dos comunidades universitarias en la ciudad de Barranquilla, Colombia. Estimamos un modelo híbrido de elección binaria que nos permitió examinar la importancia de las variables socioeconómicas del individuo, el nivel de servicio del viaje, la infraestructura para bicicletas y los factores no medibles que pueden alentar/desalentar el uso de la bicicleta como un modo de transporte sostenible. Nuestros resultados sugieren que la elección de desplazamientos en bicicleta depende no solo de los atributos del nivel de servicio, sino también de la percepción de seguridad en la ruta y la percepción de la conveniencia de andar en bicicleta.

Nuestros resultados apoyan la hipótesis planteada sobre la influencia de la percepción de un entorno agresivo en la elección del modo de transporte diario. Por ejemplo, la importancia de tener duchas para cambiarse de ropa antes de empezar a trabajar puede estar relacionada con las altas temperaturas y la humedad de la ciudad, que pueden provocar malestar por la

transpiración. El estudio también destaca la importancia de proporcionar una infraestructura adecuada y segura (por ejemplo, carriles para bicicletas y estacionamientos), y de diseñar políticas para influir en las percepciones de inseguridad y de la conveniencia de usar la bicicleta como un modo de transporte sostenible y saludable para viajes diarios a los campus universitarios. Los administradores universitarios pueden desarrollar políticas que fomenten el uso de bicicletas por parte de la comunidad universitaria, pero también las autoridades locales pueden fomentarlas.

Una limitación de nuestro estudio es que no consideramos a los usuarios de automóviles o motocicletas en nuestra muestra, ambos modos claramente más dañinos para el medio ambiente que el autobús. Por lo tanto, la investigación futura podría involucrar la estimación de modelos más complejos, incorporando otros modos, así como más variables latentes y atributos del entorno construido, para ayudar a diseñar medidas políticas más personalizadas en la ciudad. También podría ser interesante incluir parámetros asociados directamente con el clima de la ciudad (como temperatura, hora del día en que se realizó el viaje, entre otros), para explorar su efecto en la elección del uso de la bicicleta. Finalmente, cuantificar los beneficios medioambientales conseguidos por el aumento del uso de la bicicleta y la reducción del uso de todo tipo de transporte motorizado es otra línea para enriquecer el análisis.

4. ROL DEL HÁBITO Y EL ENTORNO CONSTRUIDO EN LA DISPOSICIÓN A VIAJAR EN BICICLETA

4.1 Introducción

El uso de la bicicleta para los viajes diarios ha cobrado un interés creciente en los últimos años. Las ventajas de utilizar la bicicleta en lugar del automóvil, como son el ahorro económico, el ahorro de tiempo (especialmente en ciudades muy congestionadas), la mejora de la salud (como consecuencia de un aumento de la actividad física diaria), entre otras, hacen de la bicicleta una opción cada vez más atractiva para viajes urbanos. A pesar de estas ventajas, la mayoría de los viajes en las ciudades de América Latina se realizan en modos motorizados, aunque algunas ciudades muestran una tendencia creciente en el uso de la bicicleta. Por ejemplo, Bogotá es la ciudad con mayor porcentaje de viajes en bicicleta con casi un 7% (Alcaldía de Bogotá, 2019), seguida de Santiago de Chile 4% en 2012 (SECTRA, 2015) pero con un fuerte incremento, mientras que Buenos Aires y Río de Janeiro tiene alrededor del 3% de sus viajes en bicicleta. El resto de las capitales de América Latina tienen porcentajes inferiores al 2% a 2015 (Ríos *et al.*, 2015) y no existen estadísticas oficiales disponibles para su situación actual.

(i) Cambios en la infraestructura ciclo-inclusiva dentro de la ciudad durante los últimos cinco años (Sagaris y Ortúzar, 2015), incluyendo más kilómetros de ciclovías (aunque de calidad cuestionable), estacionamiento de bicicletas en áreas centrales de la ciudad, y la introducción de servicios de bicicletas públicas (compartidas), entre otros;

Para el caso de Santiago, si bien el 4% del total de viajes por día (en 2012) puede parecer una cantidad bastante pequeña, sigue siendo un número significativo de viajes (alrededor de 750.000), prácticamente igual a los que se realizan en automóvil por las autopistas urbanas con peaje dentro de la ciudad en el mismo año. Por otro lado, el número de viajes en bicicleta se duplicó entre 2001 y 2012, haciendo de la bicicleta el modo de transporte de mayor crecimiento en ese período (Muñoz *et al.*, 2016c). Finalmente, un informe reciente de una empresa que contabiliza los viajes en bicicleta por ciclovías en varios países del mundo, destaca a Chile como uno de los países que ha experimentado el mayor incremento en el

número de ciclistas entre 2017-2018 (Eco-Counter, 2019). Esto último es coherente con algunas estimaciones preliminares que indican que el ciclismo representa actualmente alrededor del 8% de los viajes diarios en Santiago (Ministerio de Medio Ambiente, 2018). Este aumento podría ser el resultado de varios factores, que incluyen:

(ii) Aumento de la congestión vehicular (debido principalmente al mayor uso del automóvil), aunque, según la última encuesta de viajes (SECTRA, 2015), más de la mitad de todos los viajes en automóvil tienen una longitud inferior a 5 km, una distancia casi perfecta para recorrer en bicicleta.

(iii) Hacinamiento en el transporte público, principalmente en los servicios de Metro, durante las horas punta (Batarce *et al.*, 2016; Tirachini *et al.*, 2017);

(iv) Ubicación de la mayoría de los centros de trabajo (es decir, destinos de viaje durante la punta mañana) a lo largo de aproximadamente 9 km de la avenida principal de la ciudad (conocida como Alameda-Providencia), lo que hace de Santiago una ciudad relativamente monocéntrica (Suazo-Vecino *et al.*, 2020); y

(v) Crecimiento de los servicios de comida a domicilio en motocicletas y bicicletas, que entre las cuatro aplicaciones que se utilizan actualmente en Santiago, emplean a más de 3.000 conductores de reparto, de los cuales un número importante son inmigrantes (Riveros, 2018).

Aunque atractivo por muchas razones, el cambio hacia modos de transporte activos como la bicicleta es complejo desde una perspectiva individual (de Vos *et al.*, 2019). Las bicicletas están más expuestas a los elementos, se perciben como más vulnerables a los accidentes de tráfico y requieren un grado nada despreciable de esfuerzo físico. Estas son barreras aparentes para atraer nuevos usuarios (Fernández-Heredia *et al.*, 2014; Handy *et al.*, 2014) pero aún más fuertes en ciudades altamente motorizadas que pueden ser hostiles a los modos no motorizados (Loo y Tsui, 2010; Loo *et al.*, 2019). Este último es el caso de la mayoría de las ciudades latinoamericanas, aunque algunas de ellas (como Santiago) han podido incrementar el número de viajes en bicicleta, a pesar de las condiciones relativamente malas. Comprender por qué los usuarios se cambian a la bicicleta en esas condiciones es relevante

para proponer políticas públicas, especialmente en las ciudades donde la infraestructura para bicicletas a menudo llega tarde y con un estándar lejos de los observados en ciudades más amigables con el ciclismo.

En este capítulo, exploramos la hipótesis de que el desarrollo de las condiciones adecuadas es necesario, pero no suficiente para que los usuarios del transporte motorizado pasen al uso de la bicicleta. En cambio, también debe existir la voluntad de al menos explorar esta alternativa y romper el hábito asociado con el uso de los modos de transporte actuales (Ogilvie *et al.*, 2004; Cantillo *et al.*, 2007). A medida que la formación de hábitos se refuerza con el tiempo, especialmente dentro de un contexto de estabilidad general (Gardner, 2009), los viajes diarios relacionados con el trabajo (realizados en momentos similares todos los días laborales) tienden a ser considerados comportamientos habituales (Cherchi y Cirillo, 2014; Cherchi *et al.*, 2017). En este contexto, el modo de transporte utilizado a diario tiende a convertirse en la alternativa más atractiva, requiriendo nada más que un proceso automático de toma de decisiones (Verplanken *et al.*, 1997; de Bruijn *et al.*, 2009). Por lo tanto, la voluntad de explorar alternativas puede medirse por diferentes niveles de factibilidad percibida de viajar en bicicleta. Esta disposición (o falta de ella) podría verse afectada por factores personales, perceptivos o actitudinales, junto con los relacionados con el entorno construido y del propio viaje (Sottile *et al.*, 2019; Janke y Handy, 2019; Stefansdottir *et al.*, 2019).

Realizamos una encuesta en Santiago de Chile, donde preguntamos a los encuestados sobre su viaje actual para trabajar o estudiar, y su disposición para hacerlo en bicicleta (entre otras preguntas). Usamos 805 respuestas de usuarios actuales que no usan bicicleta para estimar un modelo de elección híbrida para la disposición a viajar en bicicleta, en función del entorno construido y los atributos socioeconómicos, así como tres variables latentes: una relacionada con la espontaneidad/hábito, otra relacionada a la seguridad percibida del ciclismo y el último relacionado con la relevancia percibida de las instalaciones relacionadas con el ciclismo. Nuestra investigación contribuye a la literatura explorando el papel que juegan los hábitos de movilidad actuales en la voluntad de explorar el ciclismo como una opción.

4.2 Metodología

La metodología y el diseño del instrumento se presenta en el capítulo 2, a manera de resumen en la Figura 4-1 se presenta un diagrama de flujo de la metodología usada en este capítulo.

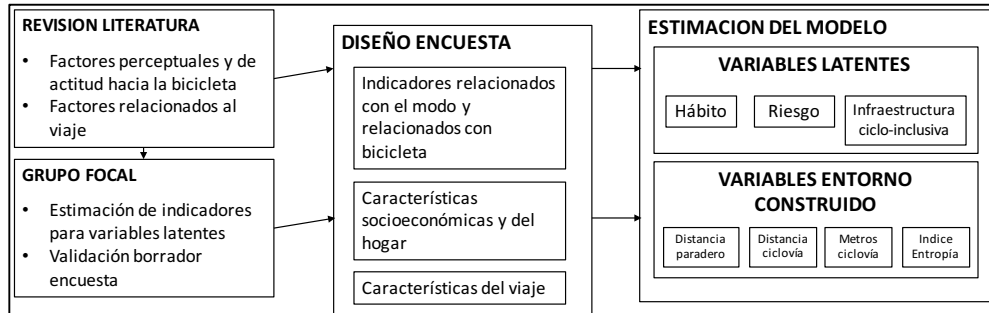


Figura 4-1. Diagrama de flujo metodológico

4.3 Caso de estudio: Santiago

Santiago es la capital de Chile y tenía aproximadamente 6,5 millones de habitantes en 2017. Se divide en 32 municipalidades con presupuestos independientes y autonomía administrativa. Los hogares de mayores ingresos (fuertemente correlacionados con la educación superior) tienden a ubicarse en las áreas noreste de la ciudad (ver Figura 4-2).

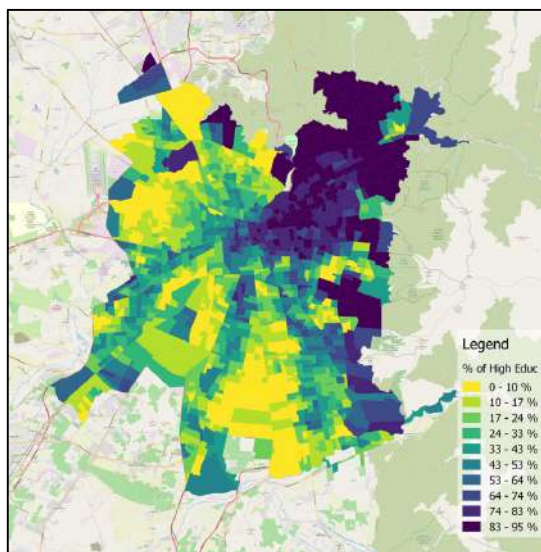


Figura 4-2. Porcentaje de hogares con jefe de hogar con educación superior
Fuente: elaboración propia con datos del INE (2017)

Estas áreas también concentran una parte esencial de las oportunidades laborales (ver Figura 4-3), haciendo de Santiago una ciudad algo monocéntrica, pero con un centro que se extiende hacia el este, a lo largo del eje Alameda-Providencia-Apoquindo (Suazo-Vecino *et al.*, 2020). La densidad residencial sigue de cerca la distribución espacial de la densidad de trabajo.

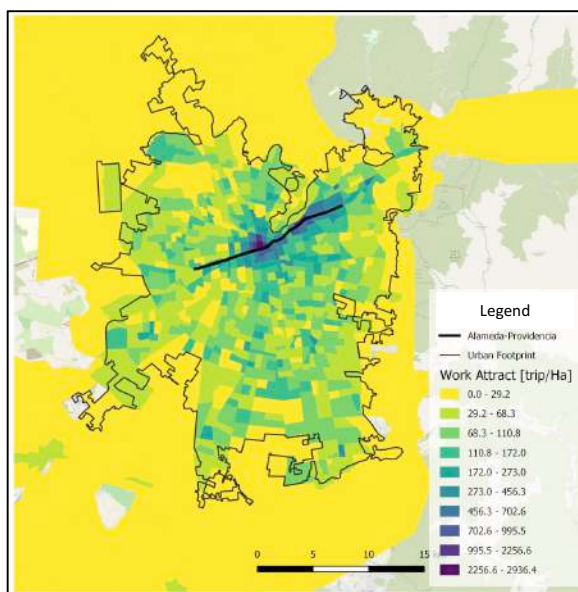


Figura 4-3. Densidad de puestos de trabajo (viajes atraídos/ha con propósito trabajo)

Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2017)

Según la última encuesta de movilidad de Santiago (SECTRA, 2015), en 2012, el 4% de los 18 millones de viajes diarios totales se realizaron en bicicleta, el 27% en automóvil, el 28% en transporte público, el 34% a pie y el 6% utilizó otros modos de transporte. La bicicleta ha sido el modo de crecimiento más rápido en la ciudad, con una participación modal uniforme en todos los niveles de ingresos (ver Figura 4-4).

Santiago tenía aproximadamente 350 km de ciclovías para 2018, un valor bastante bajo considerando su extensión y participación modal de bicicletas. Tiene tres sistemas de bicicletas públicas: uno sin sistema de acople y dos con base en estación, con la mayoría de las estaciones ubicadas en el área de mayores ingresos.

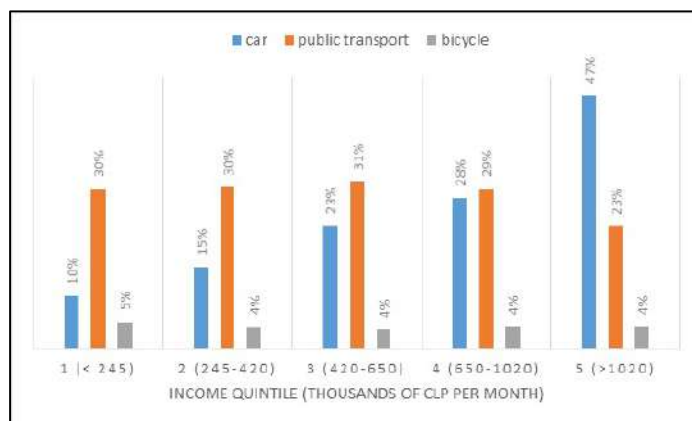


Figura 4-4. Partición modal por quintil de ingreso en 2012
Fuente: Elaboración propia con datos de SECTRA (2015)

4.4 Análisis de Datos

De 1,432 formularios de encuesta recibidos, 1,398 fueron completados por personas de 18 años o más. De estos, el 47% de los encuestados eran mujeres, el 47% había completado la educación universitaria y el 40% también había obtenido un título de posgrado. En cuanto a la ocupación, el 13% de la muestra eran estudiantes y el 87% trabajadores. Aunque la muestra tenía un alto nivel de educación, los niveles de ingresos mensuales variaban considerablemente. El 10% declaró ingresos por debajo del salario mínimo legal (USD 463), el 11% tenía ingresos 1-2 veces superiores al salario mínimo, el 15% ganó 2-3 veces el salario mínimo y el 58% declaró ingresos tres veces o más que el salario mínimo (solo el 6% de los encuestados se negó a responder a esta pregunta).

Del total de la muestra, 77% tuvo viajes que involucraron solo una etapa, 20% involucraron dos y 3% involucraron tres o más (cada etapa representa un cambio de vehículo o modo de transporte). Aproximadamente el 2% de la muestra (34 personas) declaró no saber andar en bicicleta; por lo que solo informaron las características de sus viajes diarios y luego procedieron a responder los indicadores psicométricos.

La Figura 4-5 muestra la distribución geográfica de los orígenes (azul) y destinos (verde) de los viajes declarados en la encuesta. Como se esperaba, la mayor concentración de destinos se encuentra a lo largo del eje Alameda-Providencia-Apoquindo, que representa un

eje central de centros de negocios y oficinas en la ciudad. Nuestra principal preocupación fue el riesgo de no lograr una distribución espacial suficientemente variada de los viajes, dada la forma en que contactamos con la población de la muestra (el 27% de las respuestas provinieron de personas contactadas a través de las redes sociales); sin embargo, las imágenes muestran que la encuesta capturó a los encuestados de una parte significativa de la ciudad.

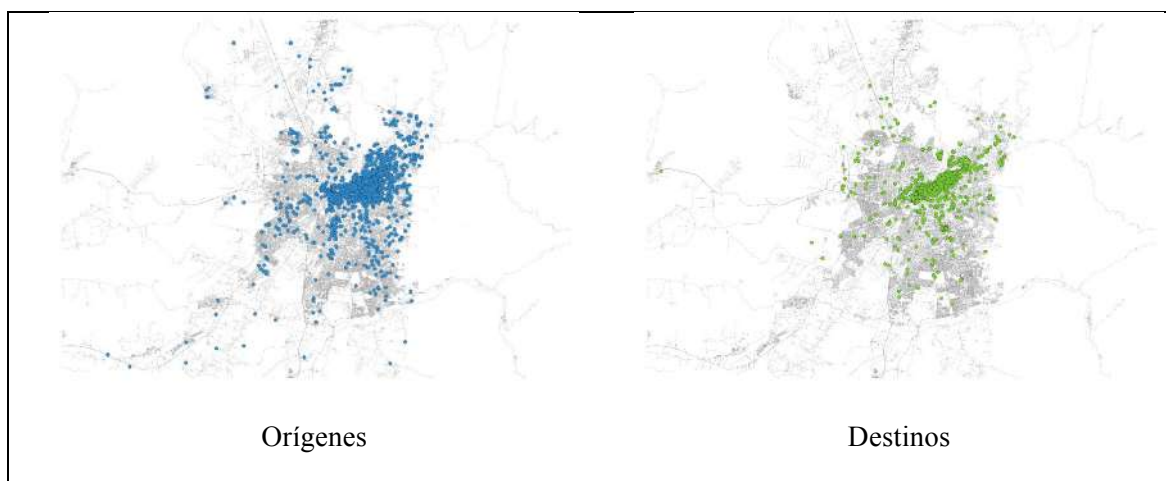


Figura 4-5. Origen y destino de viajes diarios al trabajo/estudio de encuestados

Como datos adicionales de interés se incluyen que el 28% de la muestra hizo sus viajes en automóvil, ya sea como conductor o acompañante, el 26% usó bicicleta, el 30% usó Metro, bus o una combinación de ambos, y el 8% caminó hasta su destino. El resto utiliza motos, taxi o taxi compartido (cada uno en porcentajes inferiores al 2%). Esta distribución de partición modal es similar a la observada en la ciudad para el automóvil y el transporte público, pero la bicicleta y la caminata están muy sobre y sub-representados, respectivamente. Los viajes analizados fueron frecuentes: el 67% de la muestra realizó sus viajes cinco o más veces por semana.

Estimamos varias variables que describen el entorno construido dentro de un radio de 500 metros alrededor de cada punto, con base en datos del Servicio de Impuestos Internos de Chile, el Ministerio de Transporte y las coordenadas obtenidas para el origen y destino de todos los viajes, como se muestra en la Tabla 4-1. Descripción de variables del entorno construido. Este tamaño de búfer ya había demostrado ser adecuado para medir la influencia del entorno construido en el comportamiento de los ciclistas (Oliva *et al.*, 2018).

Tabla 4-1. Descripción de variables del entorno construido

Variables del entorno	Media
Distancia euclidiana (km)	7.5
Índice de entropía en el origen	0.36
Índice de entropía en el destino	0.52
Metros lineales de ciclovía en el origen (m)	631
Metros lineales de ciclovía en el destino (m)	551
Distancia al Metro en el origen (m)	1492
Distancia al Metro en el destino (m)	842
Distancia al eje Alameda-Providencia desde el origen (m)	4521
Distancia al eje Alameda-Providencia desde el destino (m)	3535
Número de paraderos de buses en el origen	15
Distancia a ciclovía más cercana del origen (m)	747
Distancia a ciclovía más cercana del destino (m)	610

El eje Alameda-Providencia, que corre de poniente a oriente, es el más importante de la ciudad; y concentra la mayor densidad de puestos de trabajo en la urbe. Esto convierte a su entorno en el mayor concentrador de destinos de viaje obligado en hora punta mañana. La variable Índice de Entropía (IE) se estimó a partir de la formulación de Zegras (2010) para Santiago, considerando distintos usos de suelo (Oliva *et al.*, 2018):

$$IE = 1 - \left[\frac{\left| \frac{v}{T} - \frac{1}{6} \right| + \left| \frac{c}{T} - \frac{1}{6} \right| + \left| \frac{t}{T} - \frac{1}{6} \right| + \left| \frac{i}{T} - \frac{1}{6} \right| + \left| \frac{e}{T} - \frac{1}{6} \right| + \left| \frac{o}{T} - \frac{1}{6} \right|}{\frac{5}{3}} \right] \quad (9)$$

donde v representa los m^2 de uso habitacional, c de comercio, t de oficinas, i de industria, e para educación, y o para otros usos. T es la suma de todas las superficies consideradas. Si el índice es cercano a 1, significa que hay una gran variedad de usos de suelo.

Se preguntó a los encuestados que informaron haber usado un automóvil, bus, metro, taxi o cualquier combinación de estos (805 personas, excluyendo a los que habían informado no saber cómo andar en bicicleta) si estarían dispuestos a realizar estos viajes en bicicleta. De estos participantes, el 39% respondió negativamente, el 40% respondió “tal vez” (o depende) y el 21% respondió que estarían dispuestos a cambiarse y usar una bicicleta para el viaje. Los modelos presentados en la siguiente sección se estimaron utilizando esta submuestra.

4.5 Estimación de modelos

Para modelar la disposición a usar una bicicleta para el viaje en consideración, estimamos modelos logit ordinales. Las alternativas de elección fueron: **Sí**, usaría una bicicleta; **Tal vez** (depende), y **No**, no usaría bicicleta. Los atributos asociados con la función de utilidad incluyeron características sociodemográficas individuales, variables relacionadas con el entorno construido (tanto en el origen como en el destino del viaje) y las características principales del viaje (además de las variables latentes descritas a continuación). La Tabla 4-2 describe las variables que terminaron siendo significativas en los modelos estimados.

Tabla 4-2. Descripción de variables usadas en los modelos

	Media	Dev. Std.	N
<i>Socio-demográficas</i>			
Mujer (1.0)	0.47	0.49	378
Edad (años)	37.13	10.45	---
Ingreso bajo (1.0): $I < \text{USD } 663^3$	0.21	0.41	173
Ingreso medio (1.0): $\text{USD } 663 < I < \text{USD } 1456$	0.19	0.39	154
Número de automóviles en el hogar	1.54	1.11	---
Número de bicicletas en el hogar	1.97	1.45	---
Tamaño del hogar	3.29	1.27	---
Niños en el hogar (1.0)	0.68	0.46	549
<i>Características del viaje</i>			
Distancia del viaje (km)	9.46	7.69	---
Frecuencia del viaje (días a la semana donde el viaje se realiza de la misma forma)	4.4	1.03	---
Usuario de automóvil (1.0)	0.46	0.49	373
<i>Variables de entorno construido</i>			
Ingreso medio de la zona de residencia, (miles de CLP\$)	500.6	271.7	---
Número de estaciones de metro en el buffer (500 m)	0.33	0.59	---
Índice de entropía en el destino	0.52	0.15	---
Longitud de ciclovías pasando por el buffer (500 m)	0.54	0.64	---

Como la muestra incluía dos tipos de usuarios claramente identificados, las personas que poseían una bicicleta y las que no (pero que estarían dispuestas a utilizar un servicio público de bicicletas para su viaje), pensamos que los parámetros del modelo podrían variar según el usuario. Por tanto, estimamos diferentes modelos para cada tipo de usuario, además de un modelo con una variable ficticia asociada a tener o no una bicicleta. Sin embargo, no encontramos una diferencia significativa. Por lo tanto, solo presentamos aquí dos modelos

³ 1 USD es equivalente aproximadamente a CLP\$ 680 a la fecha de la aplicación de la encuesta.

para todos los usuarios: (i) un modelo logit ordinal simple (LOS), utilizado como referencia, y (ii) un modelo logit ordinal híbrido (LOH) con las variables latentes descritas a continuación.

4.5.1 Modelo logit ordinal simple (LOS)

Los resultados del modelo LOS (Tabla 4-3) muestran que la edad se correlaciona con una menor disposición a cambiarse a la bicicleta. De la misma manera, ser mujer, tener un hogar más numeroso, un viaje más largo y ser usuario de automóvil reduce la probabilidad de estar dispuesto a cambiarse. Estos resultados se esperaban ya que los hogares más grandes con niños eligen su modo de transporte influenciados por la complejidad de sus viajes (por ejemplo, llevar a sus hijos a la escuela en automóvil y luego continuar hacia el trabajo).

Tabla 4-3. Resultados de estimación del modelo ordinal simple

Parámetros	Modelo LOS Valor (t-test)
θ_{Edad} (Edad)	-0.027 (-3.77)
θ_{Autos} (Número de autos)	-0.140 (-1.84)
θ_F (Femenino)	-0.335 (-2.43)
θ_{BK} (Número de bicicletas)	0.191 (3.45)
θ_{HS} (Tamaño del hogar)	-0.104 (-1.63)
θ_{UA} (Usuarios de auto)	-0.676 (-4.25)
θ_D (Distancia del viaje)	-0.078 (-5.66)
θ_{ING} (Ingreso medio zona residencia)	-0.095 (-3.33)
θ_{ML} (Longitud ciclovía origen)	0.180 (1.50)
θ_E (Índice Entropía Destino)	-1.034 (-2.13)
<i>Log-Verosimilitud final</i>	-785.67
<i>Tamaño de la muestra</i>	805

Además, como aplicamos la encuesta a personas que no estaban acostumbradas a andar en bicicleta, cuanto más largo era el viaje, más difícil les resultaba percibir la distancia del viaje como una distancia en bicicleta factible o razonable. Este último era especialmente el caso si no tenían experiencia o carecían de la capacidad física necesaria para hacer un viaje relativamente largo en bicicleta. Por otro lado, las personas que tienen más bicicletas en casa

tienen más probabilidades de estar familiarizadas con el uso de una y, por lo tanto, están más abiertas a cambiar y usar bicicletas para sus viajes al trabajo/estudio. Exploramos si existían diferencias de comportamiento entre estudiantes y trabajadores, pero no encontramos resultados significativos al respecto.

Algunas variables del entorno social y construido también son significativas. Es menos probable que las personas que viven en zonas de la ciudad con mayores ingresos estén dispuestas a cambiar. El uso mixto del suelo en el destino afecta negativamente la disposición a usar la bicicleta, resultado consistente con los hallazgos de Oliva *et al.*, (2018), donde el índice de entropía apareció como un factor que se correlacionó con una menor frecuencia de ciclismo. Esto último probablemente se deba a que el índice de entropía más alto se encuentra en las zonas centrales de Santiago, donde es posible encontrar buenas alternativas de transporte público (metro y bus).

La presencia de infraestructura para bicicletas (longitud de las ciclovías dentro de una zona de influencia de 500 metros alrededor del origen del viaje) muestra un efecto positivo, pero no muy significativo. Mantuvimos esta variable en el modelo LOS por su relevancia en términos de política pública y para fines de comparación con el modelo LOH que se muestra a continuación.

4.5.2 Análisis de componentes principales (PCA)

Antes de estimar el modelo híbrido de elección discreta (LOH), realizamos un análisis exploratorio de componentes principales (PCA) con rotación oblicua. No conocíamos a priori los constructos latentes a considerar, salvo el hábito que se basó en las preguntas diseñadas especialmente para este fin. Terminamos con ocho componentes principales (es decir, con un valor propio superior a 1) que, en conjunto, explican casi el 60% de la varianza de los datos. Al realizar una rotación oblicua y evaluar la confiabilidad de los constructos (α de Cronbach) finalmente se identificaron tres variables latentes: *hábito* ($\alpha = 0,86$), *riesgo* ($\alpha = 0,74$) e *instalaciones para bicicletas* ($\alpha = 0,78$). Cabe resaltar que estos concuerdan estrechamente con las opiniones expresadas por los participantes del grupo focal, como se describe anteriormente.

La Tabla 4-4 resume las preguntas formuladas para cada indicador psicométrico y la variable latente desarrollada a partir de este análisis. Las tres variables latentes pueden definirse como perceptivas (es decir, consideran las características de la alternativa de transporte). Por ejemplo, el *hábito* está asociado con el modo que utiliza actualmente el individuo, mientras que el *riesgo* y la *infraestructura ciclo-inclusiva* están relacionadas con las percepciones sobre el uso de la bicicleta.

Tabla 4-4. Satisfacción hacia uso de bicicleta e indicadores de percepción

Afirmaciones	Indicadores	Variable Latente (α)
¿Qué le anima o animaría a realizar este viaje en bicicleta?		
Pistas exclusivas para bicicletas en todo mi recorrido	Vías exclusivas bici (P1)	Infraestructura cicloinclusiva (0.78)
Bici-estacionamientos más cercanos a mi lugar de trabajo/estudio	Estacionamiento cercano (P3)	
Bici-estacionamientos con vigilancia o cubiertos	Estacionamiento seguro (P4)	
Disponibilidad de duchas/lockers en mi lugar de trabajo/estudio	Duchas y lockers (P5)	
¿Qué le impide o impediría de hacer este viaje en bicicleta?		
Me preocupa la posibilidad de sufrir un accidente	Accidente (B4)	Riesgo (0.74)
Me preocupa la posibilidad de que me asalten	Robo (B5)	
Me preocupa tener un desperfecto técnico y no saber qué hacer	Daño bicicleta(B6)	
Usar mi “Modo Actual”, en mi viaje diario al trabajo o al estudio, es algo que:		
Hago automáticamente	Automático (A1)	Hábito (0.86)
Hago sin pensar	Sin pensar (A2)	
Comienzo a hacer sin darme cuenta que ya lo estoy haciendo	Sin darme cuenta (A3)	
Hago sin tener que recordarlo conscientemente	Sin recordar (A4)	

La Figura 4-6 resume los porcentajes de respuesta para cada indicador. En el caso del hábito, la automaticidad de esta variable muestra una mayor tasa de valoraciones positivas (Gardner 2009). Es decir, los encuestados tienen un mayor nivel de acuerdo con la frase que indica que usar su modo actual es automático.

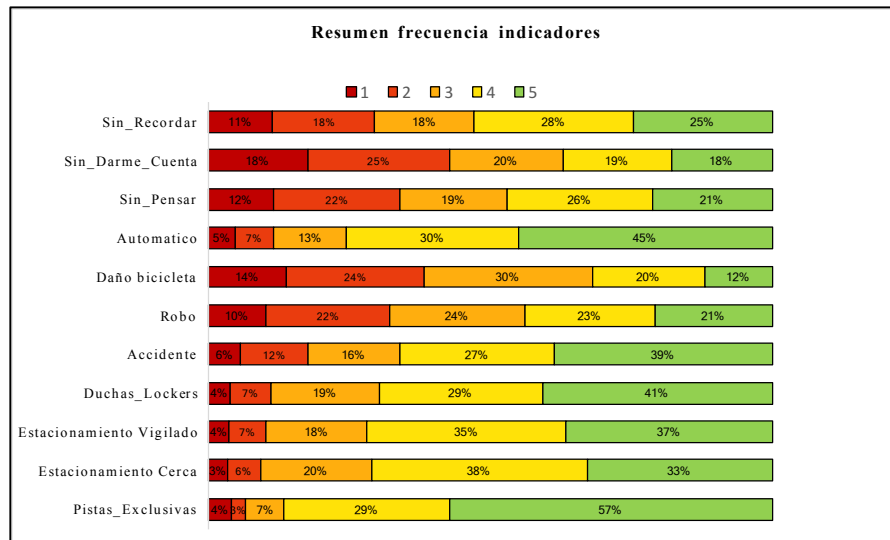


Figura 4-6. Frecuencia de indicadores para hábito y percepciones

Por otro lado, la disponibilidad de carriles exclusivos para bicicleta a lo largo de toda la ruta recorrida por el encuestado es el indicador con mayor porcentaje de respuestas positivas (es decir, más del 80% de los encuestados estuvo de acuerdo con la idea de que contar con dicha infraestructura era un incentivo para usar una bicicleta). Para el resto de indicadores, existe un mayor grado de variabilidad entre las respuestas. Sin embargo, hay una clara tendencia de acuerdo con las declaraciones relacionadas con otras instalaciones que incentivarían el uso de la bicicleta. El miedo a los accidentes parece ser la principal razón para evitar la bicicleta; esto es coherente con la idea general de la importancia de la infraestructura para bicicletas, probablemente debido a la mejora en la seguridad percibida que brindan.

4.5.3 Modelo logit ordinal híbrido (LOH)

Para facilitar la interpretación de estos resultados, en el modelo LOH se trabajó con la variable latente espontaneidad (definida como el inverso del hábito), la cual se especificó como una variación sistemática asociada a la duración del viaje. Sin embargo, nuestras búsquedas de especificaciones terminaron con *riesgo* e *infraestructura ciclo-inclusiva* integradas directamente en la función de utilidad.

La Figura 4-7 presenta la estructura final del modelo híbrido (obsérvese que los parámetros correspondientes a las ecuaciones de medición, se presentan en la Tabla 4-6).

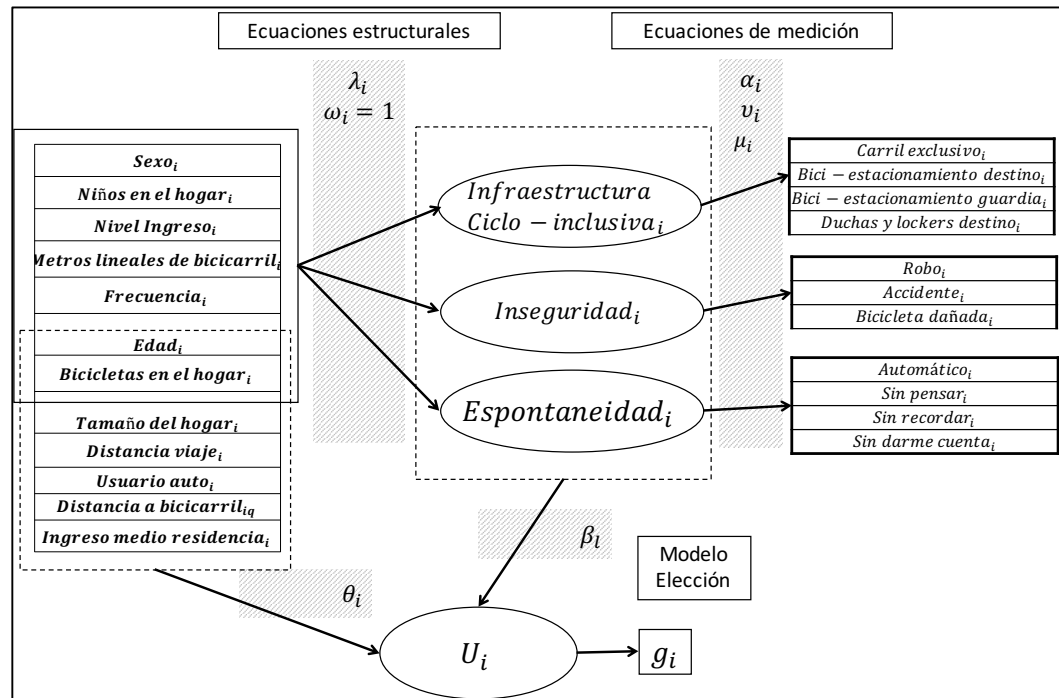


Figura 4-7. Especificación del modelo híbrido de elección discreta

Los parámetros de los atributos en la función de utilidad son generalmente consistentes con los del modelo LOS de referencia (Tabla 4-5); por ejemplo, los participantes mayores están menos dispuestos a cambiarse a bicicleta, al igual que las personas que usan auto. Sin embargo, la incorporación de las tres variables latentes permitió un análisis más profundo de algunos atributos críticos que inciden en la disposición a utilizar bicicleta, mediante la inclusión de parámetros que no están en la función de utilidad del modelo pero que forman parte de las ecuaciones estructurales de las variables latentes (Tabla 4-6).

Por ejemplo, dos variables que aparecieron en el modelo LOS de referencia perdieron significancia (género y metros de ciclovías en origen) y no aparecieron directamente en la función de utilidad de LOH. Sin embargo, al formar parte de la ecuación estructural de la variable riesgo, su impacto se conserva en el modelo (ver Tabla 4-6).

Tabla 4-5. Resultados de estimación del modelo logit ordinal híbrido

Parámetros	Modelo LOH Valor (t-test)
θ_{Edad} (Edad)	-0.027 (-2.58)
θ_{Autos} (Número de autos)	----
θ_F (Femenino)	----
θ_{BK} (Número de bicicletas)	0.103 (1.15)
θ_{HS} (Tamaño del hogar)	-0.132 (-1.52)
θ_{UA} (Usuarios de auto)	-0.948 (-3.65)
θ_D (Distancia del viaje)	-0.086 (-2.33)
θ_{ING} (Ingreso medio zona residencia)	-0.132 (-3.00)
θ_{ML} (Longitud ciclovía origen)	----
θ_E (Índice Entropía Destino)	-1.295 (-1.80)
β_1 (Espontaneidad: Z_1)	0.093 (3.00)
$\lambda_{frecuencia}$ (Frecuencia)	-0.157 (-4.51)
$\lambda_{Niños}$ (Niños hogar)	-0.158 (-1.84)
λ_{Autos} (Número de autos)	-0.045 (-1.26)
λ_{Metro} (Número estaciones metro origen)	-0.100 (-1.54)
β_2 (Riesgo: Z_2)	-0.876 (-1.92)
λ_{Mujer} (Femenino)	0.578 (7.18)
λ_{BK} (No. de bicicletas)	-0.085 (-3.02)
λ_{Edad} (Edad)	0.009 (2.39)
λ_{ML} (Longitud ciclovía origen)	-0.129 (-2.11)
β_3 (Infraestructura cicloinclusiva: Z_3)	1.122 (1.38)
λ_{Autos} (No. de autos)	-0.111 (-3.06)
λ_{BK} (No. de bicicletas)	0.103 (3.59)
λ_{IBajo} (Ingreso Bajo)	0.314 (3.26)
λ_{Medio} (Ingreso Medio)	0.476 (4.00)
Log-Verosimilitud final	-776.76
Tamaño de la muestra	805

Además, lo anterior proporciona una perspectiva interesante en términos de política pública, al sugerir que las mujeres tienen menos probabilidades de andar en bicicleta debido a la inseguridad percibida (no solo en términos de riesgo sino también en términos de sentirse

menos capaces de resolver cualquier falla mecánica) que por otras razones (Abasahl *et al.*, 2018); esto es algo que podríamos mejorar con campañas educativas bien diseñadas. Del mismo modo, el papel de la longitud de las ciclovías cercanas aumenta su importancia, pero ahora se incluye a través de la variable latente riesgo, lo que indica que la importancia de proporcionar una red bien conectada de infraestructura ciclista tiene que ver principalmente con el aumento de la seguridad percibida que genera.

Tabla 4-6. Parámetros de las ecuaciones de medición del modelo LOH

Atributo	Modelo MIMIC
	Valor (t-test)
β_{Esp} (Espontaneidad: Z_1)	0.093 (3.00)
α_{a1} (Automático)	-1.691 (-13.78)
α_{a2} (Sin pensar)	-3.795 (-14.18)
α_{a3} (Sin darme cuenta)	-4.304 (-13.20)
α_{a4} (Sin recordar)	-3.357 (-14.87)
β_{Sec} (Riesgo: Z_2)	-0.876 (-1.92)
α_{b1} (Accidente)	1.954 (11.13)
α_{b2} (Robo)	2.704 (9.01)
α_{b3} (Daño bicicleta)	1.469 (12.54)
β_{Ciclof} (Infraestructura Ciclo: Z_3)	1.122 (1.38)
α_{p1} (Vías exclusivas bici)	1.386 (11.80)
α_{p2} (Estacionamiento cercano)	3.703 (10.40)
α_{p3} (Estacionamiento seguro)	3.795 (9.97)
α_{p4} (Duchas y lockers)	1.306 (12.42)

Los resultados de este modelo nos permiten concluir que la espontaneidad tiene un efecto significativo: cuanto más espontáneo es el individuo (es decir, menos habituado a su modo de transporte actual), mayor es la disposición a cambiarse a la bicicleta. Las personas con niños son menos espontáneas a la hora de elegir el modo de transporte, ya que probablemente tengan una rutina diaria más estructurada, que a menudo consiste en llevar a los niños a la escuela y luego ir al trabajo. La disponibilidad de automóvil y metro cerca de la ubicación residencial se correlaciona con una menor espontaneidad (es decir, un mayor hábito). Esto último podría deberse a que las personas se acostumbran a estos modos cuando son de fácil acceso, aunque también podría deberse a las opciones residenciales de las personas más orientadas a los hábitos. Estos hallazgos también son consistentes con los resultados de la

investigación pionera de Ortúzar *et al.*, (2000), que muestra que muchas personas estarían dispuestas a usar una bicicleta como primera etapa de un viaje largo si la parada de bus o la estación de metro más cercana está lejos del origen del viaje. En una tendencia similar, cuanto mayor es la frecuencia del viaje, menor es el grado de espontaneidad (es decir, a medida que los individuos están acostumbrados a utilizar una alternativa específica, su comportamiento se vuelve automático). Tenga en cuenta que el uso de la frecuencia de los viajes como variable explicativa es poco común ya que, generalmente lo usamos como un indicador de hábito/espontaneidad (Cherchi *et al.*, 2013). Sin embargo, creemos que la relación causal (y la dirección) entre el hábito y la frecuencia de los viajes aún no se comprende bien y, como tal, utilizar la frecuencia como variable explicativa es una hipótesis de comportamiento válida.

Finalmente, en el caso de la variable latente *infraestructura ciclo-inclusiva*, cuanto mayor es el número de automóviles en casa, menor es la relevancia de dichas instalaciones para los encuestados. Por otro lado, las personas con niveles de ingresos bajos y medios y un mayor número de bicicletas en casa tienen más probabilidades de encontrar estas instalaciones relevantes. La variable latente ingresa a la utilidad con un parámetro positivo. Por lo tanto, la disponibilidad de instalaciones que incluyan bicicletas (como carriles para bicicletas protegidos, áreas de estacionamiento seguras para bicicletas y la disponibilidad de duchas y casilleros en el punto de destino) parece ser importante en términos de alentar a las personas a considerar cambiarse a la bicicleta. Estos resultados contradicen los de estudios previos sobre el tema en Chile, que sugirieron que los ciclistas no asignan valor a elementos como duchas y casilleros en el destino (Waintrub *et al.*, 2018). Sin embargo, en nuestro caso, las respuestas utilizadas para la estimación provinieron de personas que no viajaban en bicicleta y, por lo tanto, creían que podrían necesitar ducharse y cambiarse de ropa después del viaje. En la práctica, es poco probable que los ciclistas frecuentes en Santiago lo necesiten gracias al clima seco de la ciudad, a diferencia de lo que suele ocurrir en áreas urbanas con clima más húmedo (Wardman *et al.*, 2007; de Geus *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2021).

4.5.4 Una aplicación rápida del modelo

Aplicamos el modelo de elección de LOH a una muestra de 4.546 observaciones de la última Encuesta de Movilidad en Santiago (SECTRA, 2015). Estas observaciones, cuando se expanden, representan aproximadamente 680.000 viajes (40% de todos los viajes matutinos en horas punta de un día laboral típico). Nos enfocamos en viajes que exhibían características similares a las de nuestra muestra de estimación; es decir, viajes en hora punta de la mañana, con fines de trabajo y estudio, realizados en transporte público o en automóvil, y por personas con una distribución de ingresos, nivel de educación y modo de transporte elegido similar a la muestra de estimación. Sin embargo, variables como la duración del viaje son más altas para esta submuestra que el promedio de la población.

Con estos datos, se estimó la probabilidad agregada de elegir las tres alternativas (es decir, **No**, **Quizás** y **Sí**, consideraría cambiarme a bicicleta) utilizando enumeración muestral (Ortúzar y Willumsen, 2011, Capítulo 9). Obtuvimos que el 32% de las personas no estaría dispuesto a realizar el viaje en bicicleta, el 41% quizás estaría dispuesto a hacerlo y el 21% estaría dispuesto a cambiar a este modo de transporte. Esto último significa que, en 2012, alrededor de 142,800 viajes diarios serían posibles viajes en bicicleta, un número significativo equivalente a todos los viajes en bicicleta en el período punta de la mañana de un día típico en el mismo período.

La Figura 4-8 mapea estas probabilidades para cada municipalidad de Santiago. Tenga en cuenta que las personas que viven en comunas más alejadas del centro de la ciudad tienden a tener una menor probabilidad de estar dispuestos a cambiar a la bicicleta. Este resultado probablemente se deba a la concentración de empleos y establecimientos educativos a lo largo del eje Alameda-Providencia-Apoquindo y una mayor presencia de ciclovías en las áreas más ricas. Otras zonas que aparecen en azul tienden a estar cerca de algunos de los subcentros (mucho más pequeños en escala) de Santiago.

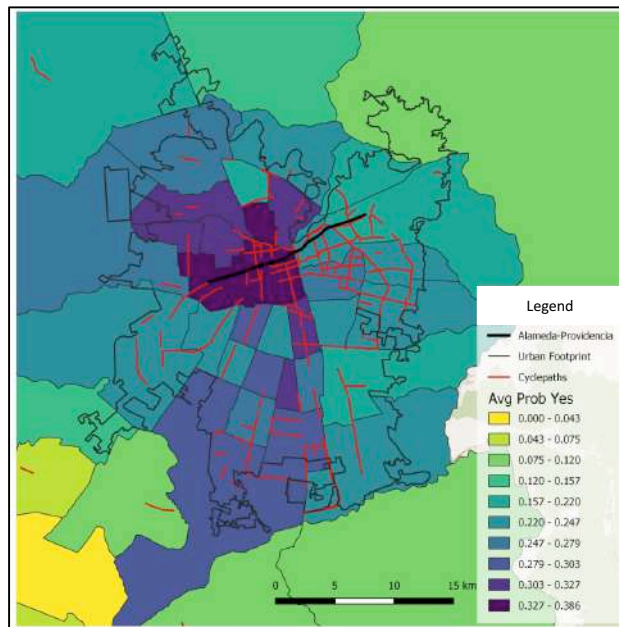


Figura 4-8. Distribución de probabilidades de “Sí” por municipalidad en Santiago

Con los mismos datos, estimamos elasticidades agregadas para dos variables de nuestro modelo que podrían modificarse mediante inversiones en infraestructura y políticas públicas: longitud de las ciclovías ($E_{yes} = 0.025$) y duración del viaje ($E_{yes} = -0.467$). Si bien el número y la longitud de las ciclovías es claramente una decisión de los funcionarios y planificadores de la ciudad, la duración de los viajes podría modificarse (a largo plazo) si, por ejemplo, las regulaciones e incentivos de uso del suelo inducen una estructura de ciudad más policéntrica, reduciendo la distancia media entre orígenes y destinos.

Considerando los valores promedio de estas variables, un aumento marginal del 1% en el número de viajes dispuestos a cambiar a bicicleta requeriría (*ceteris paribus*) aumentar la longitud promedio de la ciclovía de 385 a 539 metros o reducir la duración promedio del viaje de 9,1 a 8,8 km.

4.6 Discusión

Exploramos el papel del hábito, las percepciones y el entorno construido en la disposición de cambiarse a la bicicleta en los viajes diarios al trabajo. En particular, nos centramos en los efectos potenciales de las siguientes variables: el hábito o la inercia asociada con el uso del modo de transporte actual, la percepción de riesgo hacia el uso de la bicicleta (miedo al

robo, tener un accidente o un mal funcionamiento mecánico) y la disponibilidad de instalaciones como carriles para bicicletas y áreas de estacionamiento de bicicletas. La población objetivo incluyó personas que no usan bicicleta para desplazarse en Santiago en la actualidad. Se trata principalmente de trabajadores de oficina y estudiantes (mayores de 18) que viajan durante la hora punta de la mañana en transporte público (metro o bus) o en automóvil (ya sea como conductor o pasajero), y que potencialmente pueden convertirse en usuarios de bicicletas.

Para estimar la disposición a cambiar al uso de la bicicleta, considerando las variables mencionadas anteriormente, calibramos un modelo híbrido de elección con respuestas ordinales que se incluyeron tanto en las ecuaciones de elección como en las de medición. Los participantes de la encuesta tuvieron que elegir entre responder No, Quizás o Sí, a la pregunta de si cambiarían de su modo de transporte actual a la bicicleta para su viaje diario. Además, aplicamos el modelo a una muestra de observaciones de la Encuesta de Movilidad de Santiago 2012.

Nuestros resultados muestran que la disposición a cambiar al uso de la bicicleta se ve afectada principalmente por la duración del viaje y la longitud de las ciclovías cercanas al origen del viaje, además de las características individuales como el sexo, la edad y la cantidad de automóviles en casa. Más allá de estas variables, los resultados sugieren que las variables latentes de actitud y percepción también afectan la disposición a cambiar de modo. Por ejemplo, la espontaneidad (es decir, lo opuesto al hábito) de los individuos aumenta la probabilidad de que estén dispuestos a viajar en bicicleta. Esta espontaneidad, sin embargo, no se correlaciona con ninguna variable que pueda ser modificada por las autoridades (las personas con hábito de vivir cerca de las estaciones de Metro se explican más probablemente por la elección de ubicación que por un fenómeno causal). Romper hábitos no es, por tanto, una tarea sencilla y, aparentemente, no se puede conseguir modificando el entorno construido. Sin embargo, existen formas de inducir cambios en este sentido que se relacionan mayoritariamente con la aplicación de incentivos y campañas educativas, con foco en personas más jóvenes y/o aprovechando importantes “cambios de vida” (mudanza, cambio de trabajo o incluso de carácter económico o crisis climática), que puede inducir a las personas a revisar sus hábitos (Department for Transport, 2011).

De hecho, Santiago vivió recientemente una serie de manifestaciones y estallidos sociales que, entre otras consecuencias, afectaron el funcionamiento del sistema de transporte público. Varias estaciones de Metro fueron atacadas y cerradas durante largos períodos de tiempo. Esto desencadenó un aumento significativo en el ciclismo, especialmente durante las horas punta, donde las mediciones en ciclovías clave mostraron hasta un 100% de aumento en el flujo (Gotschlich, 2019). Si bien los ataques a las estaciones de metro son ciertamente indeseables, la interrupción resultante crea una oportunidad para romper hábitos y (algo forzosamente) exponer a las personas a alternativas nuevas, previamente ignoradas, para sus desplazamientos diarios. Este tipo de interrupción del sistema ya ha demostrado ser un impulsor de cambios en los patrones de movilidad que pueden beneficiar a las personas y mejorar el rendimiento general del sistema de transporte (Larcom *et al.*, 2017).

La disponibilidad de instalaciones para bicicletas (es decir, estacionamiento apropiado, duchas, carriles para bicicletas protegidos a lo largo de toda la ruta) afecta positivamente la disposición para viajar en bicicleta. Sin embargo, dado que esta es una percepción de los no usuarios de bicicletas, es posible que algunos de estos elementos se vuelvan menos relevantes una vez que el individuo se convierta en un viajero frecuente en bicicleta. En el caso de Santiago, esto ya se ha confirmado con respecto a las duchas (Waintrub *et al.*, 2018) y las ciclovías protegidas a nivel de veredas (Rossetti *et al.*, 2018; Rossetti *et al.*, 2019).

La percepción de riesgo puede crear una barrera a la hora de decidir si trasladarse en bicicleta, que aumenta con la edad y afecta más a las mujeres. Tener más bicicletas en casa, probablemente un indicador de la experiencia en bicicleta, se correlaciona con una menor preocupación por la seguridad. Las ciclovías más largas disponibles cerca del origen del viaje disminuyen la percepción de riesgo, aumentando al mismo tiempo la disposición a desplazarse en bicicleta. Esto es consistente con lo reportado en varios estudios en la literatura y confirma la importancia de proporcionar una infraestructura abundante y bien conectada para fomentar el ciclismo.

Al aplicar el modelo a los datos de una gran encuesta de viajes, estimamos que, en 2012, podría haber más de 100,000 viajeros que probablemente estarían dispuestos a viajar en bicicleta. Una pregunta relevante aquí es: ¿Qué faltaba para lograr este cambio? Si bien el

fuerte aumento de la bicicleta en Santiago sugiere que una parte importante de esos viajes potenciales eventualmente se convirtieron en desplazamientos en bicicleta, hay varios eslabones faltantes que impiden nuevos aumentos en la bicicleta en la ciudad. Por lo tanto, con base en los resultados de nuestro modelo y nuestro análisis, las mejores políticas que se pueden sugerir son:

1. Construir más infraestructura ciclista y de mejor calidad, de acuerdo con los estándares internacionales y formando una red bien conectada;
2. Proporcionar instalaciones seguras para aparcar bicicletas en las zonas de la ciudad que atraen la mayoría de los viajes;
3. Generar normativas e incentivos de uso del suelo que induzcan (en el largo plazo) la formación de subcentros y una ciudad más compacta, para reducir la duración de los viajes.

Lo más probable es que, más allá de la duración del viaje, la principal barrera para el ciclismo hoy en Santiago sea la falta de una red de ciclovías de alta calidad y bien conectada. La calidad de las ciclovías es una variable que, lamentablemente, no pudo ser considerada en este trabajo, pero será explorada en futuras investigaciones gracias a la inclusión de diferentes tipos de infraestructura ciclista en el experimento de elección declarada que fue parte de nuestra encuesta. Con estos datos, pretendemos modelar la elección del modo entre la bicicleta y el modo de transporte actual del encuestado.

Finalmente, otra posible explicación para el potencial sin explotar de lo anterior es, como se mencionó anteriormente, el fuerte hábito desarrollado por muchos viajeros. Debido a esto y a los hallazgos discutidos anteriormente, parece que proporcionar la infraestructura y las condiciones adecuadas para el ciclismo es necesario, pero no suficiente, para inducir un aumento significativo en los desplazamientos en bicicleta. El papel del hábito, y cómo romperlo, para permitir la adopción de patrones de movilidad más sostenibles, es entonces una cuestión clave para futuras investigaciones.

5. DISPOSICIÓN DE CAMBIAR VIAJES OBLIGADOS A BICICLETA: ROL DEL HÁBITO, LAS PERCEPCIONES Y EL ENTORNO CONSTRUIDO

5.1 Introducción

En la última década se ha comprobado, que en ciudades altamente congestionadas, la bicicleta es un modo de transporte que ofrece grandes ventajas sobre los modos tradicionales, tales como, menores tiempos de viaje (Hamilton y Wichman, 2017; Rodríguez-Valencia *et al.*, 2021), mejoras en la salud física y mental de los usuarios (Oja *et al.*, 2011; Teschke *et al.*, 2012; Mueller *et al.*, 2015), ahorros económicos por menores costos y beneficios sociales como cero emisión o ruidos, entre otras (Pucher y Buehler, 2012).

Entre los factores que han influido en el crecimiento de los viajes en bicicleta, se han examinado variables subjetivas, como actitudes y percepciones, que contribuyen a explicar la intención o uso de la bicicleta por parte de distintos tipos de usuarios (Dill *et al.*, 2014; Maldonado-Hinarejos *et al.*, 2014; Paige Willis *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2016). En cuanto a las actitudes, se ha encontrado que individuos con una actitud pro-ambiental, por ejemplo, encuentran más atractiva a la bicicleta y que esto puede ser determinante en explicar un cambio hacia este modo (Handy *et al.*, 2006; Heinen *et al.*, 2011; Fernández-Heredia *et al.*, 2016; Maldonado-Hinarejos *et al.*, 2014; Clark *et al.*, 2021).

Por otro lado, se ha encontrado que una fuerte barrera para elegir la bicicleta, es la percepción del riesgo que este modo conlleva. Las personas que perciben una ruta en bicicleta como insegura (por ejemplo, por compartir el espacio vial con vehículos motorizados, tener miedo por su seguridad personal, o incluso que les roben la bicicleta), son menos propensas a usar bicicleta en su viaje (Titze *et al.*, 2008; Winters *et al.*, 2011). Otra barrera importante es la distancia del viaje. Por ejemplo, Heinen *et al.*, (2011) encontraron que, en viajes al trabajo, la distancia era un factor decisivo a la hora de elegir bicicleta y que las actitudes hacia este modo tendían a ser más positivas en usuarios más regulares. Winters *et al.*, (2011) y Titze *et al.*, (2007), concluyen que los viajes de menos de 5 km son atractivos para la bicicleta, sobre todo en el caso de ciclistas no frecuentes. De hecho, en el contexto de Santiago, Karner y Sagaris (2016), proponen usar una distancia de

5 km como *rule of thumb*. Otras investigaciones han encontrado umbrales de distancia más pequeños, como viajes entre 2 y 4 km (Keijer y Rietveld, 2000; Akar y Clifton, 2009; Mandic *et al.*, 2020) o mayores, de hasta 10 km (Heinen *et al.*, 2011).

Como incentivos para elegir usar bicicleta en viajes habituales se pueden destacar variables del entorno construido, cómo disponer de infraestructura ciclo-inclusiva en buen estado, la existencia de dispositivos que permitan disminuir la velocidad de vehículos motorizados, rutas directas entre pares origen-destino, estacionamientos de bicicleta seguros, y duchas y lockers en el destino (Akar y Clifton, 2009; Kamargianni y Polydoropoulou, 2013; Habib *et al.*, 2014; Gutierrez *et al.*, 2020; Márquez *et al.*, 2021). También afecta una composición del uso de suelo que induzca un mayor uso de la bicicleta, como usos de suelo mixtos, áreas verdes y mayor densidad de comercio, (Titze *et al.*, 2008; Cervero *et al.*, 2009; Handy *et al.*, 2010; Winters *et al.*, 2010; Oliva *et al.*, 2018).

Sin embargo, estudios en el área de la psicología y del comportamiento humano, resaltan que medidas, blandas o duras, para incentivar cambios de uso, no son realmente efectivas si no van acompañadas de detonantes que incentiven previamente un cambio en los hábitos individuales (Wood *et al.*, 2005; Verplanken y Wood, 2006; Verplanken *et al.*, 2008; Janke y Handy, 2019). Por otro lado, muchos estudios han demostrado la relación entre el hábito asociado a usar bicicleta y una mayor continuidad en su uso, así como en una actitud positiva hacia la misma (Heinen *et al.*, 2011; Gatersleben y Haddad 2010; Ducheyne *et al.* 2012).

En este capítulo, mostramos que variables intangibles - como la percepción de inseguridad hacia la bicicleta y el hábito asociado al modo de transporte usado - pueden efectivamente afectar la demanda potencial por usar bicicleta en una ciudad de gran tamaño. A diferencia de investigaciones anteriores, en este artículo logramos incorporar atributos del viaje entre las variables que explican la fuerza del hábito, y variables del entorno construido entre los factores que explican la percepción de inseguridad. Esto posibilita analizar el efecto de estos elementos intangibles en el diseño de políticas para incentivar el uso de la bicicleta.

5.2 Principales resultados de la encuesta

La toma de datos finalizó con un total de 1.398 encuestas completadas por parte de individuos mayores de 18 años que realizaban viajes en la hora punta mañana a su trabajo o estudio (27% de los cuales eran académicos o administrativos de la Pontificia Universidad de Chile). De este total, 28% viajaba actualmente en bici, 9% caminaba y 5,4% usaba modos diferentes que automóvil o transporte público (o alguna combinación con estos modos). Así, de acuerdo a la metodología explicada anteriormente, sólo 57,6% (805 personas) resultaba elegible para responder la tercera etapa de la encuesta, esto es, si estaban dispuestos a cambiarse a bicicleta en su viaje reportado. De este subtotal, 327 respondieron **No** estar dispuestos, 175 que **Sí** estarían dispuestos y 303 que **Tal vez** estarían dispuestos a cambiarse a la bicicleta, dando como resultado una muestra inicial de 478 individuos para la encuesta de PD.

Tabla 5-1. Estadísticas de la muestra de modelación

	Categoría	Porcentaje (%)
Género	Hombre	59
	Mujer	41
Ingreso	< USD 463	19
	Entre USD 463 y USD 926	27
	Entre USD 926 y USD 1852	28
	> USD 1852	26
Autos en el hogar	0	23
	1	72
	2 o más	5
Tamaño del hogar	1 a 2 personas	36
	3 a 4 personas	47
	5 o más personas	17
Disponen bicicleta	Si	76
	No	23
Modo de transporte usado	Auto chofer	26
	Auto acompañante	5
	Bus	15
	Metro	27
	Combinación bus - metro	27

Tras un acucioso proceso de depuración⁴, finalmente el experimento de PD se aplicó a una muestra de 375 individuos, que respondieron seis situaciones de elección cada uno; en la Tabla 5-1 se presenta un resumen de las principales características de esta muestra.

5.3 Resultados de la modelación

Con el fin de modelar la elección entre el modo reportado y bicicleta en un viaje habitual en la hora punta de la mañana, estimamos modelos con seis alternativas de elección: auto-chofer, auto-acompañante, bus, metro, combinación bus-metro, y bicicleta, pero en que solo dos estaban disponibles para cada individuo: su modo actual y la bicicleta.

La búsqueda de la mejor especificación empezó con la estimación de modelos logit multinomial (MNL), con el fin de encontrar parámetros iniciales para cada atributo. Posteriormente, se estimó un modelo logit mixto, incluyendo un componente de error para capturar el efecto pseudo-panel asociado con que las seis respuestas dadas por cada individuo no son independientes entre sí (Ortúzar y Willumsen, 2011, Cap 8).

A partir de estos modelos base, finalmente se estimó un modelo híbrido de elección discreta (HDC) incluyendo dos variables latentes. La primera llamada *hábito*, asociada al modo de transporte usado, fue medida en base a los indicadores de automaticidad descritos anteriormente; y la segunda relacionada con la percepción de *inseguridad* hacia la bicicleta, que se asocia a la posibilidad de tener un *accidente*, sufrir un *robo* o experimentar alguna *falla mecánica* en la bicicleta y no saber cómo resolverla. La especificación de estas variables latentes se derivó de un análisis de componentes principales (PCA), en que a través de estas dos variables latentes se logró explicar cerca de 67% de la varianza de los datos.

El modelo HDC se estimó utilizando el enfoque de estimación simultánea, con el fin de garantizar parámetros consistentes e insesgados (Bahamonde-Birke y Ortúzar, 2014). Es

⁴ Este consideró los siguientes criterios de eliminación: (i) individuos potencialmente lexicográficos (Sælensminde, 2006; Hess et al., 2010), vale decir, que siempre elegían la alternativa más rápida o la más barata (49 individuos); (ii) individuos con tiempos de viaje superiores a 90 min (porque era improbable que pudieran usar bicicleta, 14 individuos); (iii) individuos con costos de viaje superiores a CLP 20,000, pues si se comparaban con los CLP 300/CLP 500 de costo de la bicicleta, distorsionaban el parámetro del costo (cinco personas); (iv) individuos con tiempos de viaje negativos o cero (debido a errores en la estimación de la distancia y tiempo de viaje al programar la encuesta en la plataforma, 35 personas).

decir, el modelo de Múltiple Indicador Múltiple Causa (MIMIC) asociado a las ecuaciones de medición y a las ecuaciones estructurales, y el modelo de elección discreta, se estimaron simultáneamente.

Después de probar distintas especificaciones de las funciones de utilidad modal, presentamos a continuación la estructura que mostró mejor consistencia estadística y microeconómica:

$$\begin{aligned}
 U_{Auto} &= \theta_{auto} + \theta_{TAuto} \cdot TiempoViaje_A + \theta_{costoM} \cdot Costo_A \\
 &\quad + \beta_1 \cdot Habito \\
 U_{Acomp} &= \theta_{acomp} + \theta_{TAuto} \cdot TiempoViaje_{Acomp} + \theta_{costoM} \cdot Costo_{Acomp} \\
 &\quad + \beta_1 \cdot Habito \\
 U_{Bus} &= \theta_{bus} + \theta_{TTPublico} \cdot TiempoViaje_B + \theta_{costoM} \cdot Costo_B \\
 &\quad + \theta_{Acceso} \cdot TiempoAcceso_B + \theta_{Lleno} \cdot Lleno_B \\
 &\quad + \theta_{MuyLleno} \cdot MuyLleno_B + \theta_{Paradas} \cdot Nro.Paradas_B \\
 &\quad + \theta_{Alameda} \cdot DistanciaAlamedaDest_B + \beta_1 \cdot Habito \\
 U_{Metro} &= \theta_{metro} + \theta_{TTPublico} \cdot TiempoViaje_M + \theta_{costoM} \cdot Costo_M \\
 &\quad + \theta_{Acceso} \cdot TiempoAcceso_M + \theta_{Lleno} \cdot Lleno_M \\
 &\quad + \theta_{MuyLleno} \cdot MuyLleno_M + \theta_{Dist} \cdot DistanciaMetroDest_B \\
 &\quad + \beta_1 \cdot Habito \\
 U_{BusMetro} &= \theta_{BM} + \theta_{TTPublico} \cdot TiempoViaje_{BM} + \theta_{costoM} \cdot Costo_{BM} \\
 &\quad + \theta_{Acceso} \cdot TiempoAcceso_{BM} + \theta_{Lleno} \cdot Lleno_{BM} \\
 &\quad + \theta_{MuyLleno} \cdot MuyLleno_{BM} + \theta_{Dist} \cdot DistanciaMetroDest_{BM} \\
 &\quad + \beta_1 \cdot Habito \\
 U_{Bicicleta} &= (\theta_{TBici} + \theta_V \cdot Vereda + \theta_P \cdot Pintada + \theta_S \cdot Separada) \\
 &\quad \cdot TiempoViaje_{BK} \\
 &\quad + \theta_{costoBK} \cdot Costo_{BK} + \theta_J \cdot Jaula + \theta_{Caminata} \cdot Caminata \\
 &\quad + \theta_{ML} \cdot MlCiclovíaD + \theta_{Dist} \cdot Distancia > 3,5 \\
 &\quad + \theta_{BiciPublica} \cdot BiciPublica + \beta_2 \cdot Inseguridad
 \end{aligned} \tag{10}$$

A partir de la distancia del viaje se crearon tres variables ficticias usadas en los modelos:

- (i) Distancia > 3.5 : toma el valor de 1 para viajes de más de 3.5 km longitud y 0 en otro caso. Variable usada en la función de utilidad de la bicicleta.
- (ii) Distancia < 2 km: toma el valor de 1 para viajes de menos de 2 km de longitud y 0 en otro caso. Variable usada en la ecuación estructural del hábito.
- (iii) Distancia entre 2 y 5 km: toma el valor de 1 para viajes entre 2 y 5 km de longitud y 0 en otro caso. Variable usada en la ecuación estructural del hábito.

Otra variable usada para explicar el *hábito* fue la frecuencia, medida cómo las veces a la semana que la persona realizaba el viaje en el mismo modo y a la misma hora. Por otra parte, se creó otra variable ficticia (bicicleta pública), que toma el valor de 1 para quienes no tienen disponible bicicleta y declararon estar dispuestos a usar bicicleta pública.

En las funciones de utilidad consideramos atributos de nivel de servicio, variables del entorno construido y las dos variables latentes, *hábito* e *inseguridad*, cada una con tres indicadores. La Tabla 5-2 muestra los parámetros estimados para el modelo HDC. Los signos de los parámetros son consistentes con la teoría microeconómica y, además, la mayoría son significativos a más del 90% de confianza; las constantes específicas de las alternativas (ASC) de los modos auto acompañante, Bus-Metro no resultaron significativamente distintas de la ASC de bicicleta, que fue tomada como referencia.

Se estimó parámetros específicos del tiempo de viaje para grupos de modos, es decir, para auto, transporte público y bicicleta. De esta forma, se puede ver que los usuarios de auto penalizan más el tiempo que los otros dos grupos. En transporte público, el parámetro del tiempo de acceso es cerca de 1.6 veces mayor que el del tiempo de viaje (i.e., consistente con experiencias anteriores); esto es, los usuarios penalizan más la espera que el tiempo a bordo del vehículo. Lo mismo ocurre con el tiempo de caminata de la bicicleta, que es más penalizado que el tiempo de viaje.

En transporte público los usuarios se sienten más incómodos a medida que aumenta la densidad de pasajeros dentro del vehículo (i.e., nivel de hacinamiento), es decir, al pasar el hacinamiento de 2 a 4 pasajero/m² y de 4 a 6 pasajeros/m².

Tabla 5-2. Atributos relevantes del modelo modelo híbrido de elección discreta

Parámetros	En la utilidad de	Modelo HDC
		Coefficiente (t-ratio)
θ_A (ASC)	Auto-chofer	0.449 (2.50)
θ_{AC} (ASC)	Auto-acompañante	-----
θ_B (ASC)	Bus	-1.180 (-2.81)
θ_M (ASC)	Metro	0.150 (1.18)
θ_{BM} (ASC)	Bus-Metro	-----
θ_{Bk} (ASC)	Bicicleta	-----
θ_{CostoM} (Costo Motorizados) ⁵	Auto/Transporte público	-0.145 (-3.67)
$\theta_{CostoBike}$ (Costo Bicicleta)	Bicicleta	-1.731 (-1.93)
θ_{TVA} (Tiempo viaje)	Auto	-0.036 (-7.89)
θ_{TP} (Tiempo viaje)	Transporte público	-0.007 (-1.99)
θ_{TA} (Tiempo acceso)	Transporte público	-0.038 (-3.63)
θ_{LL} (Ocupación, 4 pass/m ²)	Transporte público	-0.212 (-1.58)
θ_{MLL} (Ocupación, 6 pass/m ²)	Transporte público	-0.698 (-4.93)
θ_{TBK} (Tiempo viaje)	Bicicleta	-0.029 (-10.19)
θ_v (En la vereda)	Bicicleta	0.010 (4.37)
θ_p (Pintada)	Bicicleta	0.012 (4.87)
θ_s (Separada)	Bicicleta	0.015 (6.33)
θ_j (Jaula)	Bicicleta	0.578 (2.34)
θ_{TCBK} (Tiempo caminata)	Bicicleta	-0.075 (-1.81)
θ_{BK} (Bicicleta pública)	Bicicleta	0.675 (2.26)
θ_{DM} (Distancia Metro destino)	Metro	-0.302 (-3.75)
θ_{DA} (Distancia Alameda destino)	Bus	-0.115 (-2.93)
$\theta_{Paradas}$ (N° Paraderos)	Bus	0.062 (2.58)
θ_{MLD} (Longitud ciclovía destino)	Bicicleta	0.253 (3.34)
θ_{Dist} (Distancia > 3.5 km)	Bicicleta	-0.293 (-3.13)
β_1 (Hábito: Z ₁)	Todos menos bicicleta	0.073 (1.55)
β_2 (Inseguridad: Z ₂)	Bicicleta	-0.075 (-1.81)
ρ^2		0.099
AIC		2941.6
BIC		3200.7
Tamaño de muestra		375

Lo anterior es interesante, dada la mayor relevancia que ha pasado a tener este atributo tras el fenómeno del COVID-19, donde el distanciamiento al interior de vehículos de

⁵ Costo expresado en miles de pesos chilenos

transporte público se ha convertido en un tema clave (Arellana *et al.*, 2020; de Vos, 2020; Dong *et al.*, 2021). Por otro lado, el Metro correctamente pierde atractivo a medida que sus estaciones se encuentran más lejos del lugar de destino, y el bus resulta más atractivo a medida que hay más paraderos de acceso en el entorno del origen y cuando la localización del destino es más cercana al eje central de la ciudad (Alameda-Providencia); esto era de esperar, ya que por este eje circulan muchas rutas de buses que vienen desde distintas comunas de la ciudad, incluso recorriendo grandes distancias.

Siguiendo a Oliva *et al.* (2018), en la utilidad de la bicicleta incluimos los metros lineales de ciclovía disponibles en un buffer de 500 m alrededor del punto de destino. Además, incorporamos la distancia del viaje como una variable ficticia que toma el valor 1 si el viaje es de más de 3.5 km y 0 en otro caso; de acuerdo a nuestros datos y a los GF, para viajes mayores a este umbral la bicicleta pierde atractivo; esto es también consistente con la pionera investigación de Ortúzar *et al.* (2000), donde se encontró que para viajes cortos (dentro de una misma municipalidad), la bicicleta era muy atractiva.

Aunque es común encontrar valores para la distancia de viaje en bicicleta promedio de 5 km (Hamidi y Zhao, 2020; Ogryzek *et al.*, 2020), nuestro umbral es similar a algunos valores reportados en la literatura (Keijer y Rietveld, 2000; Kuhnimhof *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2018). Además, se debe recordar que esta encuesta se realizó a no usuarios de bicicleta, por lo tanto, para personas que no están acostumbradas a usarla en sus viajes habituales, 3.5 km parece una distancia promedio adecuada para decidir cambiarse a bicicleta.

Finalmente, analizando las variables de infraestructura ciclista, como el tipo de estacionamiento y el tipo de ciclovía, el modelo permite inferir que en comparación a no tener un lugar seguro donde dejar estacionada la bicicleta (i.e., dejarla con un candado en cualquier parte), el contar con jaulas o estacionamientos seguros es preferible, lo que es consistente con la literatura (Chen *et al.*, 2017; Jonkerena y Kager, 2020). Por otro lado, en cuanto al tipo de ciclovía, el modelo sugiere que los potenciales usuarios de bicicleta prefieren que la infraestructura esté en la vía, pero segregada del tráfico, sobre las otras opciones. Tener una ciclovía en la vereda es la opción menos preferida, y esto es contrario a lo encontrado en una investigación realizada por Rossetti *et al.* (2019) para usuarios de

bicicleta en Santiago, utilizando imágenes similares a las usadas en esta investigación. Esto puede deberse, al menos en parte, a que en los últimos años ha crecido mucho la cantidad de ciclistas en la ciudad y su circulación por veredas ha recibido fuertes críticas, en la prensa y plataformas públicas, por parte de peatones y ciclistas avezados.

El signo positivo de la variable latente *hábito* es consistente; mientras más habituada está la persona a su modo usual, mayor es la utilidad asociada a ese modo. Por un lado, hay una menor carga cognitiva al no tener que pensar o debatir qué modo elegir y, por otro, un simple detonante (hora del viaje y/o destino-propósito) causa que el modo se elija automáticamente (Gardner, 2009; Orbell y Verplanken 2015).

En la Tabla 5-3 se presentan los resultados correspondientes al modelo MIMIC que fue estimado en forma conjunta con el modelo HDC. A diferencia de estudios previos que han analizado el rol del hábito en la elección de modo, en nuestro modelo la longitud del viaje juega un rol relevante. La distancia del viaje, como variable explicativa del hábito, permite inferir que a medida que el viaje es más corto (desde 5 a 2 km) menor resulta el hábito asociado al modo de transporte elegido. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que entre más corto el viaje, probablemente más modos disponibles tiene el individuo para realizarlo, incluyendo la caminata para viajes de 2 km o menos.

Por otro lado, entre más frecuente es el viaje (días a la semana en que se realiza el mismo viaje) y más personas hay en el hogar, más habituado está el individuo a su modo de transporte usual. La frecuencia puede explicar de alguna forma la naturaleza repetitiva del comportamiento, mientras que del tamaño del hogar se puede deducir que las decisiones del viaje pueden depender de varios miembros de la familia.

Con el fin de usar estos resultados en la recomendación de políticas públicas pro bicicleta, es interesante analizar la variable *inseguridad*. El efecto de las variables sociodemográficas, permite concluir que: (i) en el caso de adultos jóvenes, entre 25 y 46 años, existe menor percepción de inseguridad al usar la bicicleta comparado con un rango etario mayor; (ii) las mujeres se sienten más inseguras al usar la bicicleta que los hombres, y esta puede ser la razón porque aparecen menos dispuestas a usar bicicleta en distintas investigaciones en este

campo (Krizek et al., 2005; Garrard *et al.*, 2008; Pucher y Buehler, 2012; Akar *et al.*, 2013; Abasahl *et al.*, 2018; Gutiérrez *et al.*, 2020); (iii) aquellas personas con más bicicletas en el hogar, tienen una menor percepción de inseguridad, probablemente porque están familiarizadas con su uso.

Tabla 5-3. Resultados de la estimación del modelo MIMIC

Parámetros	Z1: Hábito Valor (t-test)	Z2: Inseguridad Valor (t-test)
<i>Ecuación estructural</i>		
$\lambda_{\text{Tamaño}}$ (Número personas hogar)	0.075 (1.83)	-----
λ_F (Frecuencia)	0.166 (3.02)	-----
λ_{DIST2} (Distancia viaje menor a 2 km)	-0.804 (-3.02)	-----
λ_{DIST5} (Distancia viaje entre 2 y 5 km)	-0.133 (-1.12)	-----
λ_{Sex} (Mujer)	-----	0.818 (5.76)
λ_{Edad} (Edad ≤ 25 años)	-----	-0.484 (-2.010)
λ_{Edad} (Edad entre 26 y 46 años)	-----	-0.460 (-2.47)
λ_{Bk} (Número de bicicletas hogar)	-----	-0.258 (-4.57)
λ_{ML} (Metros lineales ciclovía origen)	-----	-0.193 (-1.86)
$\lambda_{\text{DistCiclovía}}$ (Distancia ciclovía origen)	-----	0.095 (1.59)
λ_{Dist} (Distancia viaje)	-----	0.024 (1.53)
$\lambda_{\text{Entropía}}$ (Índice entropía destino)	-----	0.807 (1.78)
<i>Ecuación de medición</i>		
α_A (Automático)	1.672 (9.34)	-----
α_{SR} (Sin recordar)	2.508 (10.02)	-----
α_{SDC} (Sin darme cuenta)	5.787 (4.27)	-----
α_{ACC} (Probabilidad accidente)	-----	1.442 (6.48)
α_{ACC} (Probabilidad robo)	-----	1.588 (6.97)
α_{ACC} (Falla técnica bicicleta)	-----	1.572 (7.88)

Las variables del entorno construido incorporadas en la ecuación estructural de la percepción de *inseguridad*, permiten inferir que: (i) la disponibilidad de vías segregadas disminuye esta percepción, y (ii) la percepción de inseguridad aumenta con la lejanía desde el origen, como consecuencia de tener que compartir más tiempo la vía con vehículos motorizados y estar más expuesto a sufrir un accidente.

Finalmente, una conclusión importante de este modelo es que la distancia de viaje es, también, una variable decisiva en la explicación de ambas variables latentes. Los viajes

cortos en bicicleta son más atractivos, disminuye la percepción de inseguridad (menos tiempo de exposición), y aumenta la posibilidad de que un viaje habitual en el modo motorizado se cambie a bicicleta.

5.4 Discusión e implicaciones de políticas

En este capítulo exploramos el efecto de las percepciones sobre la demanda potencial de uso de la bicicleta para los viajes cotidianos en la hora punta de la mañana en la ciudad de Santiago. Nuestro modelo HDC incorporó variables asociadas al entorno, tanto en el origen como en el destino del viaje, en un radio de 500 m alrededor de cada punto. Estas variables se incluyeron tanto en las funciones de utilidad de los distintos modos como en las ecuaciones estructurales de las variables latentes.

En la elección del transporte público, uno de los atributos más importantes fue el nivel de hacinamiento en el interior de los vehículos, destacando que a medida que aumentaba la densidad de pasajeros por m^2 , también aumentaba la incomodidad, disminuyendo el atractivo del modo. Así, en el contexto de la pandemia actual (COVID-19) y la necesidad de mantener la distancia para evitar la propagación del virus, la bicicleta se convierte en una alternativa muy atractiva para los viajes regulares. Además, permite un nivel de ejercicio que puede mejorar el estado físico y mental de las personas que han estado recluidas durante mucho tiempo debido a la pandemia.

A partir de nuestro modelo, es posible inferir que quienes actualmente no usan bicicletas tendrían más probabilidades de usarlas para viajes de menos de 3,5 km. Además, la distancia juega un papel importante en la percepción de *inseguridad* (los viajes más largos se perciben como más inseguros). Además, en viajes más largos, el hábito asociado con el modo actual es mayor. Si bien esta es una variable difícil de alterar en el corto plazo a través de políticas públicas, la potencial reubicación de residencias y/o actividades, producto de la pandemia, presenta una oportunidad en este sentido que podría aprovecharse a través del rediseño de planes de regulación y mayor cuidado en la ubicación adecuada de las viviendas sociales (Valenzuela-Levi *et al.*, 2021).

Nuestro modelo muestra claramente que al tener más metros de ciclovías y a una distancia menor del origen, disminuye la percepción de *inseguridad* de los usuarios. De hecho, si se propusiera que las personas tuvieran al menos un kilómetro de ciclovía en su origen y su destino, y dentro de los 500 metros de cada punto, el modelo predeciría un aumento del 6% en la probabilidad de usar bicicleta. Esto es importante, ya que en Santiago (como en muchas otras grandes ciudades latinoamericanas) lamentablemente existe una notoria inequidad en términos de acceso a infraestructura ciclista amigable por comunas, según nivel de ingresos (Sagaris *et al.*, 2020; Mora *et al.*, 2021). Además, las distancias de viaje son mayores en las comunas más pobres, ya que las personas deben realizar viajes más largos para llegar a sus lugares de trabajo o estudio, lo que dificulta la elección de la bicicleta (Sagaris *et al.*, 2017).

Pasando ahora a analizar el efecto del *hábito*, observemos primero que el hábito se desarrolla con la frecuencia de uso de un modo de transporte y es una variable que afecta la decisión de usar el modo. Esto es más significativo en el caso de automóvil-conductor y automóvil-pasajero en nuestro modelo, ya que estos dos modos tenían solo dos variables adicionales en la función de utilidad, y un ASC fuerte y significativo.

Analizando dos escenarios posibles de cambio de hábito como consecuencia de la pandemia y cómo podría afectar la disposición a cambiarse a bicicleta tenemos:

- (a) Si el trabajo que se realizaba presencial 4 o 5 veces a la semana, pasara a ser menos frecuente (2 o 3 veces/semana), el hábito para estas personas podría disminuir o romperse y, en ese caso, la probabilidad de elegir bicicleta de acuerdo al modelo aumentaría en 1,5%;
- (b) Si aquellos individuos con longitud de viaje entre 5 y 10 km, realizaran viajes de la mitad de longitud, la variable distancia que - explica hábito, inseguridad y parte de la elección de la bicicleta - se vería modificada; con esto, el el hábito y la percepción de inseguridad disminuirían y la probabilidad de usar bicicleta aumentaría en 1,7%.

En la Figura 5-1 se puede ver que los destinos de viaje de nuestra muestra están concentrados relativamente cerca del eje Alameda-Providencia, mientras que los orígenes se encuentran más dispersos en relación a este eje. La figura también muestra, a nivel de

macrozona, las diferencias de ingreso de acuerdo al origen de los viajeros⁶. Con esta agrupación, estimamos los promedios de atributos que se muestran en la Tabla 5-4.

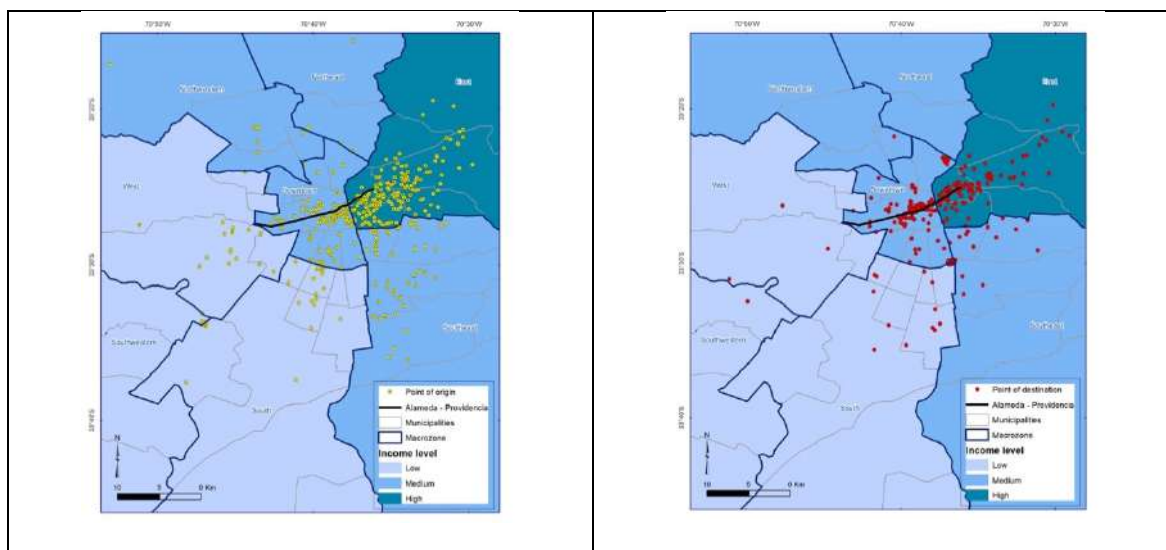


Figura 5-1. Origen y destino de viajes al trabajo/estudio en muestra de modelación

Es interesante notar qué, aunque la muestra no es representativa de la población de Santiago, este resultado es similar al de Mora *et al.* (2021), quien encontró que las comunas de mayor nivel de ingreso tenían el mayor número de ciclovías disponibles en Santiago. Con nuestros datos, es posible inferir que las personas que viven en los municipios de menores ingresos realizan viajes aproximadamente 1,7 veces más largos que los de los habitantes de los municipios de altos ingresos.

Tabla 5-4. Valores medios según nivel de ingreso en la comuna de origen

Nivel de ingreso (macrozona)	Largo del viaje (m)	Largo de ciclovías en buffer 500 m (m)	Distancia a ciclovía más cercana en buffer 500 m (m)
Bajo (Poniente, Sur, Suroriente extensión)	11 628	142	1 536
Medio (Norte, Centro, Sur poniente)	7 067	638	636
Alto (Oriente)	6 660	764	579

⁶ Las macrozonas mostradas guardan bastante similitud con las utilizadas en la Encuesta Origen Destino 2012, (SECTRA 2015), que es la última disponible para Santiago.

Por otro lado, en promedio, en las comunas de bajos ingresos la distancia a la ciclovía más cercana puede ser aproximadamente tres veces más larga que en una comuna de altos ingresos, lo que confirma la inequidad en términos de infraestructura amigable para el ciclismo en la ciudad.

Con base en estos datos, si se propusiera una política en la que la longitud, la calidad y la densidad de las ciclovías en toda la ciudad fueran similares, por ejemplo, que todos tuvieran al menos 750 m de ciclovías en las proximidades de su origen y destino, además al tenerlos a una distancia máxima de 500 m, la probabilidad de utilizar una bicicleta aumentaría un 2,5% según nuestro modelo.

5.5 Conclusiones

Este capítulo tuvo como objetivo mostrar que la disposición a utilizar la bicicleta para desplazarse al trabajo o al estudio depende no solo del viaje y de las características del individuo, sino también de factores no medibles como las actitudes y percepciones. El hábito asociado al medio de transporte utilizado en los viajes diarios al trabajo o al estudio juega un papel importante en la decisión, y tanto las características del viaje como del hogar del individuo sirven como variables explicativas de este fenómeno. Los resultados de nuestro modelo nos permiten inferir que, para viajes cortos, de menos de 5 km, el hábito tiende a ser menos influyente en la elección del modo; por lo tanto, estos viajes pueden ser susceptibles de cambios o volverse menos habituales.

Como era de esperar, la percepción de inseguridad al utilizar la bicicleta desalienta su uso. Los resultados de nuestro modelo indican que las personas que cuentan con una infraestructura más amigable hacia la bicicleta en su entorno, tienen una mayor percepción de seguridad. Una vez más la distancia, como variable explicativa de este factor, permite deducir que cuanto más largo es el viaje, más inseguro se percibe, ya que está expuesto al tráfico o a la posibilidad de un robo por períodos de tiempo más prolongados.

Además de las dos variables latentes descritas anteriormente, la elección de la bicicleta se ve afectada por variables de nivel de servicio como el tiempo y el costo del viaje, la disponibilidad de estacionamiento, el tipo de ciclovía disponible y la longitud del carril bici

disponible cerca del origen. Además, para viajes de más de 3,5 km, los desplazamientos en bicicleta son significativamente menos atractivos para los miembros de nuestra muestra, que no son usuarios habituales de este modo.

Es importante resaltar que, para incentivar el uso de la bicicleta, sería necesario una disponibilidad más equitativa de infraestructura. Esto es particularmente relevante para comunas de menores ingresos, para que sus habitantes puedan acceder a esta modalidad en las mismas condiciones que en comunas de mayores ingresos. Además de la disponibilidad de infraestructura para fomentar diferentes patrones de viaje, también se necesitan medidas de cambio de comportamiento para romper el hábito asociado con los modos actuales y reducir la percepción de inseguridad hacia el ciclismo.

Finalmente, como continuación de esta investigación, en trabajos futuros queremos estudiar si ha habido cambios en los patrones de viaje en los últimos años como consecuencia de los problemas sociales que trajo la pandemia de COVID-19, a través de nuevos contactos con los encuestados que participaron en esta encuesta.

6. CONCLUSIONES

El principal objetivo de esta tesis fue estudiar los factores que pueden determinar la elección potencial de la bicicleta y generar una aproximación sobre qué características medibles y no medibles llevarían a aumentar la disposición a cambiarse desde su modo de transporte actual en un viaje obligado al trabajo o al estudio. La decisión de elegir dos ciudades en distintos países, como Barranquilla y Santiago, obedece a dos razones. Primero, son ciudades Latinoamericanas donde las políticas de transporte (y la infraestructura) han estado fuertemente orientadas hacia el transporte motorizado, lo que las convierte en ciudades ideales para estudiar el efecto de factores latentes y medibles en la elección de bicicleta. En segundo lugar, son ciudades donde la mayoría de la infraestructura para los ciclistas se encuentra ubicada en zonas de ingreso más alto, permitiendo estudiar la posible inequidad en su disponibilidad, que puede influir en las percepciones que los individuos tengan de sobre los distintos modos de transporte.

Al inicio de esta investigación se plantearon cuatro hipótesis relacionadas con el estudio de factores latentes en la disposición a usar la bicicleta. Recapitulando, están hipótesis eran:

H1: La percepción de un entorno agresivo para el uso de bicicleta (alta tasas de accidentalidad, agresividad de conductores hacia ciclistas, escasez de infraestructura, y condiciones ambientales poco favorables), influye negativamente en la decisión de elegir este modo de transporte.

H2: La calidad del entorno construido y la disponibilidad de infraestructura ciclo-inclusiva (así como la percepción del individuo sobre esta), afecta la posible elección de bicicleta por parte de no usuarios, de igual o mayor medida que atributos de nivel de servicio.

H3: La disposición a cambiarse a bicicleta en viajes obligados, depende en gran medida del hábito que el individuo ha adquirido al elegir de forma repetitiva su modo de transporte cotidiano.

H4: Existe una relación entre la percepción de inseguridad hacia la bicicleta y su elección, que varía según las características del viaje y atributos sociodemográficos del individuo.

H5: La implementación de programas de bicicletas públicas aumenta la probabilidad de elegir bicicleta en viajes cotidianos, y disminuye las percepciones negativas hacia la misma.

Con el fin de probar estas hipótesis se plantearon los siguientes objetivos específicos:

O1. Entender la disposición a usar bicicleta para viajes al trabajo o estudio, considerando variables de percepción tanto positivas como negativas hacia este modo, y evaluar la importancia de disponer de infraestructura ciclo-inclusiva en la decisión.

O2. Evaluar el rol de las actitudes, hábitos y percepciones del individuo para explicar la preferencia por modos de transporte en viajes cotidianos, y establecer qué características del individuo, su hogar, y el entorno construido contribuyen a la formación de estos factores.

O3. Evaluar, mediante escenarios, propuestas de política pública que incentiven el cambio desde modos motorizados hacia la bicicleta.

Los objetivos **O1** y **O2** tenían como finalidad probar las cinco hipótesis, mientras que el objetivo **O3** tenía como propósito facilitar el uso del conocimiento adquirido a través de los modelos de elección discreta en propuestas de política que incentiven un cambio de modo de transporte.

Se estimaron tres modelos avanzados de elección discreta basados en la teoría de utilidad aleatoria. Cada uno incorporando variables latentes y estimación conjunta del modelo de elección modal y el modelo MIMIC.

El primer modelo, presentado en el capítulo 3, es un modelo híbrido de elección modal, tal como el presentado en el capítulo 5. Este modelo permite aceptar las hipótesis **H1**, **H2** y **H4**, demostrando que, de acuerdo a nuestros datos, existe efectivamente la percepción de un ambiente agresivo hacia los ciclistas y una percepción de inseguridad al usar la bicicleta que disminuye la atractividad de este modo. En resumen, el comportamiento de los conductores de vehículos motorizados, la falta de ciclovías, las condiciones poco favorables del clima húmedo y cálido durante todo el año, acompañado de los altos índices de accidentes, además de robos o atracos, crean un ambiente percibido como agresivo para potenciales ciclistas, que desincentiva el uso de bicicleta – en este caso - en viajes hacia la universidad. En

contraste con la percepción de un ambiente agresivo en la ciudad de Barranquilla, la bicicleta se percibe también como un modo de transporte conveniente, más económico (en comparación con la tarifa del transporte público), que ayuda a mantener un mejor estado físico y que permite moverse más rápido durante horas de mayor congestión.

El segundo modelo, en el capítulo 4, es un modelo híbrido ordinal. Este trabajo se enfocó en el **O1**, a través de incorporar tres constructos latentes, el hábito, la percepción de inseguridad y la percepción de disponibilidad de infraestructura para bicicletas. Los resultados de este capítulo respaldan las hipótesis **H2**, **H3** y **H4**, al demostrar que en algunos casos los constructos latentes pueden influir (igual o mayor que variables tangibles) en la disposición a cambiar de comportamiento. La fuerza del hábito juega un rol importante, quizás más fuerte que otras características del individuo o del viaje en particular. Por otro lado, la percepción de inseguridad es mayor en las mujeres que en los hombres, y la disposición a cambiarse a bicicleta disminuye a medida que el viaje es más largo, y a medida que el individuo es de mayor edad.

El tercer modelo, presentado en el capítulo 5, incorpora además de las variables latentes inseguridad y hábito, la posibilidad de estimar probabilidades de elección de los modos, en base a los factores latentes, variables sociodemográficas, variables del entorno construido, y atributos del viaje, en un modelo de elección robusto. Respalda las hipótesis **H2**, **H3** y **H4**, y permite probar la hipótesis **H5**. En este modelo, se incorpora una variable dicotómica que permite medir la influencia de contar con un servicio de bicicletas públicas para realizar el viaje, en la elección de la bicicleta. No fue posible probar, más allá de ser positiva en la elección, si la disposición a cambiarse puede verse afecta por la accesibilidad a este servicio, o si el uso constante de este tipo de servicios podría influir en la decisión de adquirir una bicicleta propia y convertirse en ciclista asiduo.

En general de los tres modelos podemos concluir que:

- (i) la fuerza del hábito de un comportamiento, cómo es viajar en el mismo modo de transporte en viaje frecuente en un contexto estable es una variable relevante a la

hora de proponer programas o políticas que busquen un cambio de comportamiento, en nuestro caso, cambiarse a la bicicleta.

- (ii) La distancia es la variable medible más importante en la decisión de viajar o no en bicicleta. Afecta no solo su atractivo, si no que la percepción de inseguridad al usarla; finalmente, también influye en la fuerza del hábito asociado al modo actual. Entre más largo es el viaje, menos atractivo parece realizarlo en bicicleta, mayor inseguridad se percibe al realizar el viaje en ese modo, y menos probable es cambiarse del modo habitual.

Una finalidad de los modelos de elección discreta es entender el comportamiento de elección de los individuos a través de variables que el modelador pueda medir directamente o a través de constructos latentes. Sin embargo, cómo investigadores buscamos que los resultados de nuestros modelos se usen en apoyar la toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas. El objetivo **O3** de esta investigación buscaba usar los resultados de los modelos estimados para proponer o sugerir políticas aplicables a las ciudades en estudio.

Estos resultados nos permiten concluir que, aunque la disponibilidad de infraestructura ciclo-inclusiva es un determinante a la hora de estar dispuesto a cambiarse a la bicicleta, esta debe ser de buena calidad, cumpliendo estándares internacionales y que, además, debe estar bien conectada; esto es, no solo tener tramos de ciclovía dispersos, sino que una ruta que permita al ciclista sentirse seguro durante todo su recorrido. Otro aspecto importante a tener en cuenta en la provisión de infraestructura ciclo-inclusiva es la equidad en el acceso, de tal forma que las personas de niveles de ingreso más bajo, tengan la misma disponibilidad/acceso a una buena infraestructura que personas en zonas de ingreso más alto.

Finalmente, una limitante de esta investigación fue el tamaño y origen de las muestras de modelación en ambas ciudades. Por conveniencia, nos enfocamos primeramente en viajes a la universidad, por lo cual estudiamos a grupos de individuos que no representan a toda la población de una ciudad; no obstante, la metodología y los resultados aquí descritos pueden replicarse con el fin de obtener resultados más representativos.

7. BIBLIOGRAFIA

Aarts, M., Mathijssen, J., van Oers, J. y Schuit, A. (2013). Associations between environmental characteristics and active commuting to school among children: a cross-sectional study. *International Journal of Behavioral Medicine* **20**, 538–555.

Abasahl, F., Kelarestaghi, K.B., y Ermagun, A. (2018). Gender gap generators for bicycle mode choice in Baltimore college campuses. *Travel Behaviour and Society* **11**, 78-85.

Aertsens, J., de Geus, B., Vandenbulcke, G., Degraeuwe, B., Broekx, S., De Nocker, L., Liekens, I., Mayeres, I., Meeusen, R., Thomas, I., Torfs, R., Willems, H. y Int Panis, L. (2010). Commuting by bike in Belgium, the costs of minor accidents. *Accident Analysis and Prevention* **42**, 2149–57.

Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* **50**, 179-211.

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2018). Informe, cifras sobre fallecidos, lesionados y hechos de tránsito. Tomado de <https://ansv.gov.co/observatorio/> (en español).

Akaike, H. (1980). Likelihood and the Bayes procedure. *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa* **31**, 143-166.

Akar, G. y Clifton, K. (2009). The influence of individual perceptions and bicycle infrastructure on the decision to bike. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* **2140**, 165-172.

Akar, G., Fischer, N. y Gung, M. (2013). Bicycling choice and gender case study: the Ohio State University. *International Journal of Sustainable Transportation* **7**, 347–365.

Alcaldía de Barranquilla. (2012). Formulación del Plan Maestro de Movilidad del Distrito de Barranquilla. Tomado de http://www.barranquilla.gov.co/publicaciones/doc_download/ (en español).

Alcaldía de Bogotá. (2019). Encuesta de Movilidad 2019: Indicadores Preliminares. Alcaldía de Bogotá, Bogotá (en español).

Arellana, J. (2012). *Modelos de Elección de Hora de Inicio de Viajes*. Ph.D. Thesis, Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad de Chile (en español).

Arellana, J., Daly, A., Hess, S., Ortúzar, J de D. y Rizzi, L.I. (2012). Development of surveys for study of departure time choice: two-stage approach to efficient design. *Transportation Research Record* **2303** (1), 9-18.

Aldred, R. (2012). Governing transport from welfare state to hollow state: the case of cycling in the UK. *Transport Policy*, **23**, 95-102l.

Arellana, J., Fuentes, L., Cantillo, J. y Alvarez, V. (2021). Multivariate analysis of user perceptions about the serviceability of urban roads: case of Barranquilla. *International Journal of Pavement Engineering* **22**(1), 54-63.

Arellana, J., Márquez, L., y Cantillo, V. (2020). COVID-19 Outbreak in Colombia: An Analysis of Its Impacts on Transport Systems. *Journal of Advanced Transportation* **2020**, 1-16.

Arnott, B., Rehackova, L., Errington, L., Sniehotta, F., Roberts, J. y Araujo-Soares, V. (2014). Efficacy of behavioural interventions for transport behaviour change: systematic review, meta-analysis and intervention coding. *International Journal of Behavioural Nutrition and Physical Activity* **11**, 1-23.

Bahamonde-Birke, F. y Ortúzar, J. de D. (2014). On the variability of hybrid discrete choice models. *Transportmetrica A: Transport Science* **10**, 74-88.

Bahamonde-Birke, F., Kunert, U., Link, H. y Ortúzar, J. de D. (2017). About attitudes and perceptions: finding the proper way to consider latent variables in discrete choice models. *Transportation* **44**, 475-493.

Beckmann, J. (2001). Automobility a social problem and theoretical concept. *Environment and Planning D: Society and Space* **19**, 593 -607.

Batarce, M., Muñoz, J.C. y Ortúzar, J. de D. (2016). Value crowding in public transport: implications for cost-benefit analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **91**, 358-378.

Batarce, M., Muñoz, J. C., Ortúzar, J. de D., Raveau, S., Mojica, C., y Ríos, R. A. (2015). Use of Mixed Stated and Revealed Preference Data for Crowding Valuation on Public Transport in Santiago, Chile. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* **2535**, 73–78.

Ben-Akiva, M., y Lerman, S. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press, Cambridge, Mass.

Ben-Akiva, M., McFadden, D., Gärling, T., Gopinath, D., Walker, J., Bolduc, D., Börsch-Supan, A., Delquié, P., Larichev, O., Morikawa, T., Polydoropoulou, A. y Rhao, V. (1999). Extended Framework for Modeling Choice Behavior. *Marketing Letters* **10**(3), 187-203.

Ben-Akiva, M., Walker, J., Bernardino, A., Gopinath, D., Morikawa, T. y Polydoropoulou, A. (2002). Integration of choice and latent variable models. In H. Mahmassani (Ed.), *In Perpetual Motion: Travel Behaviour Research Opportunities and Application Challenges*. Pergamon, Amsterdam.

Bird, E., Baker, G., Mutrie, N., Ogilvie, D., Sahlqvist, S. y Powell, J. (2013). Behaviour change techniques used to promote walking and cycling: a systematic review. *Health Psychology* **32**, 829-838.

Bliemer, M.C.J., Rose, J.M. y Hess, S. (2008). Approximation of Bayesian efficiency in experimental choice designs. *Journal of Choice Modelling* **1**, 98–126.

Bollen, K.A. (1989). *Structural Equations with Latent Variables*. John Wiley y Sons, Chichester.

Bonham, J. y Wilson, A. (2012). Bicycling and the life course: the start-stop-start experiences of women cycling. *International Journal of Sustainable Transportation* **6**, 195–213.

Bopp, M., Kaczynski, A. y Besenyi, G. (2012). Active commuting influences among adults. *Preventive Medicine* **54**, 237–241.

Bordagaray, M., dell’Olio, L., Ibeas, A., Barreda, R. y Alonso, B. (2014). Modeling the service quality of public bicycle schemes considering user heterogeneity. *International Journal of Sustainable Transportation* **9**(8), 580-591.

Broach, J., Dill, J., y Gliebe, J. (2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transportation Research Part A, Policy and Practice* **46**, 1730–1740.

Buehler, R. (2011). Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA. *Journal of Transport Geography* **19**, 644–657.

Buehler, R. (2012). Determinants of bicycle commuting in the Washington, DC region: the role of bicycle parking, cyclist showers, and free car parking at work. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **17**, 525–531.

Buehler, R. y Pucher, J. (2021). *Cycling for Sustainable Cities*. The MIT Press, Cambridge, Mass.

Cabral, L., Kim, A. M., y Parkins, J. R. (2018). Bicycle ridership and intention in a northern, low-cycling city. *Travel Behaviour and Society* **13**, 165-173.

Calquin, Y. y Tirachini, A. 2020. Comparison of the Person Flow on Cycle Tracks vs Lanes for Motorized Vehicles. *Findings*. <https://doi.org/10.32866/001c.12874>.

Cantillo, V., Ortúzar, J. de D. y Williams, H.C.W.L. (2007). Modelling discrete choices in the presence of inertia and serial correlation. *Transportation Science* **41**, 195-205.

Cantillo, V., Arellana, J. y Rolong, M. (2015). Modelling pedestrian crossing behaviour in urban roads: a latent variable approach. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **32**, 56–67.

Cantillo, T., Vargas, A., Cantillo, V. y Ramos, J. (2019). What determines university student's willingness to pay for bikeways? *Transportation* **47**(5), 2267-2286.

Cantillo-García, V., Guzman, L.A. y Arellana, J. (2019). Socioeconomic strata as proxy variable for household income in transportation research. Evaluation for Bogotá, Medellín, Cali and Barranquilla. *DYNA* **86** (211), 258-267.

Castillo, M. y Moreno, D. (2018). How citizens of Bucaramanga, a city with non-existent bicycle infrastructure in Colombia, are boosting biking. *Journal of Transport y Health* **9** supplement, S56.

Caulfield, B., Brick, E. y McCarthy, O. (2012). Determining bicycle infrastructure preferences – a case study of Dublin. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **17**, 413–417.

Caussade, S., Ortúzar, J de D., Rizzi, L.I., y Hensher, D. (2005). Assessing the influence of design dimensions on stated choice experiment estimates. *Transportation Research Part B: Methodology* **39**, 621–640.

Carver, A., Barr, A., Singh, A., Badland, H., Mavoa, S., y Bentley, R. (2019). How are the built environment and household travel characteristics associated with children's active transport in Melbourne, Australia? *Journal of Transport y Health* **12**, 115-129.

Cervero, R., Sarmiento, O., Jacoby, E., Gomez, L. y Neiman, A. (2009). Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogotá. *International Journal of Sustainable Transportation* **3**, 203–226.

Chataway, E.S., Kaplan, S., Nielsen, T.A.S. y Prato, C.G. (2014). Safety perceptions and reported behaviour related to cycling in mixed traffic: a comparison between Brisbane and

Copenhagen. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **23**, 32–43.

Chen, X., Xiong, W., y Huang, Z. (2008). Planning bicycle corridor for Shanghai Central City. *Plan, Build, and Manage Transportation Infrastructure in China* 18-29.

Chen, C., Anderson, J., Wang, H., Wang, Y., Vogt, R. y Hernandez, S. (2017). How bicycle level of traffic stress correlate with reported cyclist accidents injury severities: A geospatial and mixed logit analysis. *Accident Analysis and Prevention* **108**, 234-244.

Cherchi, E. y Cirillo, C. (2014). Understanding variability, habit and the effect of long period activity plan in modal choices: a day to day, week to week analysis on panel data. *Transportation* **41**, 1245–1262.

Cherchi, E., Cirillo, C. y Ortúzar, J. de D. (2017). Modelling correlation patterns in mode choice models estimated on multiday travel data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **96**, 146-153.

Cherchi, E., Meloni, I. y Ortúzar, J. de D. (2013). The latent effect of inertia in the choice of mode. In: Roorda, M., Miller, E. (eds.). *Travel Behaviour Research: Current Foundations, Future Prospect*. Lulu.com Publishers, Raleigh, 517-534.

Cherry, C. y Cervero, R. (2006). Use characteristics and mode choice of electric bikes in China. Working Paper UCB-ITS-VWP-2006-5, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.

Clark, C., Mokhtarian, P., Circella, G. y Watkins, K. (2021). The role of attitudes in perceptions of bicycle facilities: a latent-class regression approach. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **77**, 129-148.

Daly, A., Hess, S., Patruni, B., Potoglou, D. y Rohr, C. (2012). Using ordered attitudinal indicators in a latent variable choice model: a study of the impact of security on rail travel behaviour. *Transportation* **39**, 267–297.

DANE (2005). Censo Nacional de Población y Vivienda 2005. *Tomado de* <https://www.dane.gov.co/> (en español).

dell' Olio, L., Ibeas, A., Bordagaray, M. y Ortúzar J. de D. (2014). Modeling the effects of Pro Bicycle infrastructure and policies toward sustainable urban mobility. *Journal of Urban Planning and Development* **140** (2), 04014001.

de Bruijn, G., Kremers, S., Singh, A., van den Putte, B. y van Mechelen, W. (2009). Adult active transportation: adding habit strength to the theory of planned behaviour. *American Journal of Preventive Medicine* **36**, 189–194.

de Geus, B., de Bourdeaudhuij, I., Jannes, C. y Meeusen, R. (2008). Psychosocial and environmental factors associated with cycling for transport among a working population. *Health Education Research* **23**, 697–708.

de Hartog, J., Boogaard, H., Nijland, H. y Hoek, G. (2010). Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Environmental Health Perspectives* **118**, 1109–1116.

de Kruijf, J., Ettema, D., Kamphuis, C.B.M. y Dijst, M. (2018). Evaluation of an incentive program to stimulate the shift from car commuting to e-cycling in the Netherlands. *Journal of Transport and Health* **10**, 74-83.

de Vos, J., Schwanen, T., van Acker, V. y Witlox, F. (2019). Do satisfying walking and cycling trips result in more future trips with active travel modes? An exploratory study. *International Journal of Sustainable Transportation* **13**, 180-196.

de Vos, J. (2020). The effect of COVID-19 and subsequent social distancing on travel behavior. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* **5**, 1-3

Deenihan, G. y Caulfield, B. (2014). Estimating the health economic benefits of cycling. *Journal of Transport and Health* **1**, 141–149.

Department for Transport (2011). Behavioural Insights Toolkit, HMSO, London. Tomado de https://www.sustainabilityexchange.ac.uk/files/decc_behavioural_insights_toolkit.pdf

Díaz, F., Cantillo, V., Arellana, J. y Ortúzar, J. de D. (2015). Accounting for stochastic variables in discrete choice models. *Transportation Research Part B: Methodological* **78**, 222–237.

Dill, J., y Carr, T. (2003). Bicycle commuting and facilities in major U.S. cities. If you build them, commuters will use them. *Transportation Research Record* **1828**, 116-123.

Dill, J., Monsere, C.M., y McNeil, N. (2012). Evaluation of bike boxes at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention* **44**, 126–134.

Dill, J., Mohr, C. y Ma, L. (2014). How can psychological theory help cities increase walking and bicycling?. *Journal of the American Planning Association* **80**, 36-51.

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.

Dong, H., Ma, S., Jia, N. y Tian, J. (2021). Understanding public transport satisfaction in post COVID-19 pandemic. *Transport Policy* **101**, 81-88

Doorley, R., Pakrashi, V. y Ghosh, B. (2016). Health impacts of cycling in Dublin on individual cyclists and on the local population. *Journal of Transport and Health* **6**, 420–432.

Doornik, J.A. (2007). *Object-Oriented Matrix Programming Using Ox*. Timberlake Consultants Press, London.

Ducheyne, F., de Bourdeaudhuij, I., Spittaels, H. y Cardon, G. (2012). Individual, social and physical environmental correlates of “never” and “always” cycling to school among 10 to 12 year old children living within a 3.0 km distance from school. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* **9**, 142-150.

Echiburú, T., Hurtubia, R. y Muñoz, J. C. (2021). The role of perceived satisfaction and the built environment on the frequency of cycle-commuting. *Journal of Transport and Land Use*, **14**(1), 171–196.

Eco-Counter (2019). *2019 Worldwide Cycling Index*. Bicycle growth figures, country per country, city per city. Tomado de: <https://www.eco-compteur.com/en/2019-worldwide-cycling-index/#country>.

Emond, C., Tang, W. y Handy, S. (2009). Explaining gender difference in bicycle behaviour. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* **2125**, 16–25.

Espinosa, M., Pacheco, J. y Franco, J.F. (2018). Mitigation potential of active transport projects: trip attraction and CO₂ avoidance indicators in colombian cities. *DYNA* **85**, 302-309.

European Environment Agency (2014). TERM 2014: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. EEA, Copenhagen.

Fernández-Heredia, A., Jara-Díaz, S. y Monzón, A. (2016). Modelling bicycle use intention: the role of perceptions. *Transportation* **43**, 1-23.

Fernández-Heredia, A. y Fernández-Sanchez, G. (2020). Processes of civic participation in the implementation of sustainable urban T mobility systems. *Case Studies on Transport Policy* **8**, 471-483.

Fitch, D., Rhentulla, M. y Handy, S. (2019). The relation of the road environment and bicycling attitudes to usual travel mode to school in teenagers. *Transportation Research Part A, Policy and Practice* **123**, 35-53.

Flügel, S., Ramjerdi, F., Veisten, K. Killi, M., y Elvi, R. (2015). Valuation of Cycling Facilities with and without Controlling for Casualty Risk. *International Journal of Sustainable Transportation* **9**, 364–376.

Foddy, W. (1993) Constructing Questions for Interviews and Questionnaires. *Theory and Practice in Social Research*, Cambridge, Cambridge University Press.

Forsyth, A. y Oakes, J. (2014). Cycling, the built environment, and health: results in a Midwestern study. *International Journal of Sustainable Transportation* **9**, 49–58.

Frater, J., y Kingham, S. (2018). Gender equity in health and the influence of intrapersonal factors on adolescents decisions to bicycle to school. *Journal of Transport Geography* **71**, 130-138.

Fu, X. (2020). How habit moderates the commute mode decision process: integration of the theory of planned behaviour and latent class choice model. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-020-10144-6>.

Gardner, B. (2009). Modelling motivation and habit in stable travel mode contexts. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **12**, 68–76.

Gardner, B. y Tang, V. (2014). Reflecting on non-reflective action: An exploratory think-aloud study of self-report habit measures. *British Journal of Health Psychology* **19**, 258–273.

Gardner, B. (2015). A review and analysis of the use of ‘habit’ in understanding, predicting and influencing health-related behaviour. *Health Psychology Review* **9**, 277-295.

Gardner, B., Abraham, C., Lally, P. y de Bruijn, G. (2012). Towards parsimony in habit measurement: testing the convergent and predictive validity of an automaticity subscale of the Self-Report Habit Index. *International Journal of Behavioural Nutrition and Physical Activity* **9**, 1-12.

Garrard, J., Rose, G. y Lo, S.K. (2008). Promoting transportation cycling for women: the role of bicycle infrastructure. *Preventive Medicine* **46**, 55–9.

Gatersleben, B. y Appleton, K. (2007). Contemplating cycling to work: attitudes and perceptions in different stages of change. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **41**, 302-312.

Gatersleben, B. y Haddad, H. (2010). Who is the typical bicyclist? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **13**, 41–48.

Garvill, J., Marell, A. y Nordlund, A. (2003). Effects of increased awareness on choice of travel mode. *Transportation* **30**, 63-79.

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

Godefrooij, T., Pardo, C. y Sagaris, L. (2009) *Cycling-inclusive policy development: a handbook*. Utrecht, The Netherlands, Interface for Cycling Expertise, GTZ, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development.

Götschi, T., Garrard, J., y Giles-Corti, B. (2015). Cycling as a part of daily life: A review of health perspectives. *Transport Reviews* **36**(1), 45-71.

Gotschlich, D. (2019) Expertos miden que uso de bicicletas en la capital se duplicó en la crisis. El Mercurio, p C8. Tomado de: <https://digital.elmercurio.com/2019/11/04/C/LL3MODKR>

Graham-Rowe, E., Skippon, S., Gardner, B. y Abraham, C. (2011). Can we reduce car use and, if so, how? A review of available evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **45**, 401–418.

Greene, M. y Ortúzar, J. de D. (2020). Pedestrian safety perception and urban street settings: a comment. *International Journal of Sustainable Transportation* **14**(12), 914-916.

Gutiérrez, M., Hurtubia, R. y Ortúzar, J de D. (2020). The role of habit and the built environment in the willingness to commute by bicycle. *Travel Behavior and Society* **20**, 62-73.

Gutiérrez, M., Cantillo, V., Arellana, J. y Ortúzar, J. de D. (2021). Estimating bicycle demand in an aggressive environment. *International Journal of Sustainable Transportation*, **15**, 259-272.

Habib, K.N, Mann, J., Mahmoud, M. y Weiss, A. (2014). Synopsis of bicycle demand in the City of Toronto: investigating the effects of perception, consciousness and comfortability on the purpose of biking and bike ownership. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **70**, 67–80.

Hagger, M., Rebar, A., Mullan, B., Lipp, O. y Chatzisarantis, N. (2015). The subjective experience of habit captured by self-report indices may lead to inaccuracies in the measurement of habitual action. *Health Psychology Review* **9**, 296-302.

Hamidi, Z. y Zhao, C. (2020). Shaping sustainable travel behaviour: Attitude, skills, and access all matter. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **88**, 1-18.

Hamilton, T. y Wichman, C. (2017). Bicycle infrastructure and traffic congestion: evidence from DC's Capital Bikeshare. *Journal of Environmental Economics and Management* **87**, 72-93.

Handy, S., Cao, X. y Mokhtarian, P. (2006). Self-selection in the relationship between the built environment and walking: empirical evidence from Northern California. *Journal of the American Planning Association* **72**, 55-74.

Handy, S.L., Xing, Y. y Buehler, T.J. (2010). Factors associated with bicycle ownership and use: a study of six small U.S. cities. *Transportation* **37**, 967–985.

Handy, S.L. y Xing, Y. (2011). Factors correlated with bicycle commuting: A study in six small U.S. cities. *International Journal of Sustainable Transportation* **5**, 91–110.

Handy, S.L., van Wee, B. y Kroesen, M. (2014). Promoting cycling for transport: research needs and challenges. *Transport Reviews* **34**, 4–24.

Heesch, K., Sahlqvist, S., y Garrard, J. (2011). Cyclists' experiences of harassment from motorists: Findings from a survey of cyclists in Queensland, Australia. *Preventive Medicine* **53**, 417–420

Heinen, E., Maat, K. y van Wee, B. (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**, 102–109.

Heinen, E. y Handy, S.L. (2012). Similarities in attitudes and norms and the effect on bicycle commuting: evidence from the bicycle cities Davis and Delft. *International Journal of Sustainable Transportation* **6**(5), 57-281.

Hess, S., Rose, J., y Polak, J. (2010). Non-trading, lexicographic and inconsistent behaviour in stated choice data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **15**, 405-417.

Hess, S. y Palma, D. (2019), Apollo: a flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. *Journal of Choice Modelling* **32**, 100170.

Hochmair, H. (2015). Assessment of bicycle service areas around transit stations. *International Journal of Sustainable Transportation* **9**, 15–29

Huy, C., Becker, S., Gomolinsky, U., Klein T. y Thiel, A. (2008). Health, medical risk factors, and bicycle use in everyday life in the over-50 population. *Journal of Aging and Physical Activity* **16**, 454–464.

ICBF (2015). Encuesta Nacional de la situación nutricional. *Tomado de* <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/encuesta-nacional-situacion-nutricional>.

INE (2017). Resultados del Censo 2017, Instituto Nacional de Estadísticas. *Tomado de* <http://resultados.censo2017.cl/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2010). Boletín climatológico mensual. *Tomado de* <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual>.

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2018). Forensis 2017. Datos para la vida. *Tomado de* <https://www.medicinalegal.gov.co/cifras-estadisticas/forensis>

INRIX (2018). Interactive Ranking and City Dashboards. *Tomado de:* <http://inrix.com/scorecard/>.

Jain, D. y Tiwari, G. (2016). How the present would have looked like? Impact of non-motorized transport and public transport infrastructure on travel behaviour, energy consumption and CO₂ emissions – Delhi, Pune and Patna. *Sustainable Cities and Society* **22**, 1-10.

Janke, J. y Handy, S. (2019). How life course events trigger changes in bicycling attitudes and behaviour: insights into causality. *Travel Behaviour and Society* **16**, 31-41.

Jones, T. (2012). Getting the British back on bicycles—the effects of urban traffic-free paths on everyday cycling. *Transport Policy*, **20**, 138-149.

Jonkerena, O. y Kager, R. (2020). Bicycle parking at train stations in the Netherlands: Travellers' behaviour and policy options. *Research in Transportation Business and Management* <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100581>

Kamargianni, M. y Polydoropoulou, A. (2013). Hybrid choice model to investigate effects of teenagers' attitudes toward walking and cycling on mode choice behaviour. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* **2382**, 151-161.

Kamargianni, M., Bhat, C. R., Polydoropoulou, A., y Dubey, S. (2015). Investigating the subjective and objective factors influencing teenagers' school travel mode choice—an integrated choice and latent variable model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **78**, 473–488.

Karner, A. y Sagaris, L. (2016). Testing a new approach to planning sustainable transport using data from metropolitan Santiago de Chile and the San Francisco Bay Area. Paper presented at the 2016 Annual Meeting Transportation Research Board, Washington, DC.

Keijer, M.J.N., y Rietveld, P. (2000). How do people get to the railway station? The Dutch experience. *Transportation Planning and Technology* **23**, 215–235.

Krizek, K.J., Johnson, P.J. y Tilahun, N. (2005). Gender differences in bicycling behavior and facility preferences. *Research on Women's Issues in Transportation* **2**, 31–40.

Kroesen, M. y Handy S. (2014). The relation between bicycle commuting and non-work cycling: results from a mobility panel. *Transportation* **41**, 507–527.

Kuhnimhof, T., Chlond, B., Huang, P.-C. (2010). Multimodal travel choices of bicyclists: multiday data analysis of bicycle use in Germany. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 19–27.

Lally, P., van Jaarsveld, C.H.M, Potts, H.W.W. y Wardle, J. (2010). How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European Journal of Social Psychology* **40**(6), 998–1009.

Larcom, S., Rauch, F., y Willems, T. (2017). The benefits of forced experimentation: striking evidence from the London underground network. *The Quarterly Journal of Economics*, **132**(4), 2019–2055.

Légal, J.B., Meyer, T., Csillik, A. y Nicolas, P.A. (2016). Goal priming, public transportation habit and travel mode selection: the moderating role of trait mindfulness. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **38**, 47–54.

Li, Z., Wang, W., Yang, C., y Ragland, D.R. (2013). Bicycle commuting market analysis using attitudinal market segmentation approach. *Transportation Research Part A: Policies and Practice* **47**, 56–68.

Loo, B.P.Y., y Tsui, K.L. (2019). Bicycle crash casualties in a highly motorized city. *Accident Analysis and Prevention* **42**, 1902–1907.

Loo, B.P.Y., Leung, K.Y.K., y Chan, F.C.H. (2019). How short-term cycling training promotes cycling among schoolchildren in high-density cities. *International Journal of Sustainable Transportation* **14**(1), 1-14.

McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. In: Zarembka, P. (Ed.), *Frontiers in Econometrics*, 105-142. Academic Press, New York.

Maldonado-Hinarejos, R., Sivakumar, A. y Polak, J. (2014). Exploring the role of individual attitudes and perceptions in predicting the demand for cycling: a hybrid choice modelling approach. *Transportation* **41**, 1287-1304.

Mandic, S., Hopkins, D., García Bengoechea, E. Flaherty, C., Coppel, K., Moore, A., Williams, J. y Spence, J.C. (2020). Differences in parental perceptions of walking and cycling to high school according to distance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **71**, 238-249.

Márquez, L., Cantillo, V. y Arellana, J. (2021). How do the characteristics of bike lanes influence safety perception and the intention to use cycling as a feeder mode to BRT? *Travel Behaviour and Society* **24**, 205–217.

Milakis, D. (2015). Will greeks cycle? Exploring intention and attitudes in the case of the new bicycle network of Patras. *International Journal of Sustainable Transportation* **9**, 321–334.

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2018). Informe Encuesta Nacional de Medio Ambiente 2018.

Ministerio de Obras Públicas de Chile. (2017). Informe trimestral Coordinación de Concesiones de Obras Públicas Enero-Marzo 2017.

Ministerio de Salud (2015). Encuesta Nacional de la Situación Nutricional. *Tomado de* <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/encuesta-nacional-situacion-nutricional>.

Mitra, R. y Nash, S. (2019). Can the built environment explain gender gap in cycling? An exploration of university students' travel behaviour in Toronto, Canada. *International Journal of Sustainable Transportation* **13**, 138-147.

Mora, R., Greene, M. y Corado, M. (2018). Physical activity and health implications of the CicloRecreoVia program in Chile. *Revista Médica de Chile* **146**, 451-459.

Mora, R., Truffello, R. y Oyarzún, G. (2021). Equity and accessibility of cycling infrastructure: An analysis of Santiago de Chile. *Journal of Transport Geography* **91**, 102964.

Motoaki, Y. y Daziano, R. (2015). A hybrid-choice latent-class model for the analysis of the effects of weather on cycling demand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **75**, 217-230.

Mrkajic, V., Vukelic, D. y Mihajlov, A. (2015). Reduction of CO₂ emission and non-environmental co-benefits of bicycle infrastructure provision: the case of the University of Novi Sad, Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **49**, 232-242.

Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Cole-Hunter, T., de Nazelle, A., Gerike, R., Götschi, T., Panis, L., Kahlmeier, S. y Nieuwenhuijsen, M. (2015). Health impact assessment of active transportation: a systematic review. *Preventive Medicine* **76**, 103-114.

Municipalidad de Rancagua. (2017). Plan de Fomento del Uso de la Bicicleta. Tomado de: <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2017/01/PPT-Movilidad-urbana-Rancagua-Bicicleta-Ciclov%C3%ADas.pdf>.

Muñoz, B., Monzón, A. y Lois, D. (2013). Cycling habits and other psychological variables affecting commuting by bicycle in Madrid, Spain. *Transportation Research Record* **2382**, 1-9.

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

Muñoz, B., Monzón, A. y López, E. (2016b). Transition to a cyclable city: latent variables affecting bicycle commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **84**, 4–17.

Muñoz, V., Thomas, A., Navarrete, C. y Contreras, R. (2016c). Encuesta Origen-Destino de Santiago 2012: resultados y validaciones. *Ingeniería de Transporte* **19**(1), 21-36.

Navarrete, F. y Ortúzar, J. de D. (2013). Subjective valuation of the transit transfer experience: the case of Santiago de Chile. *Transport Policy* **25**, 138–147.

Oakil, A.T.M., Ettema, D., Arentze, T. y Timmermans H. Bicycle commuting in the Netherlands: An analysis of modal shift and its dependence on life cycle and mobility events. *International Journal of Sustainable Transportation* **10**(4), 376-384.

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

Ogryzek, M., Adamska-Kmiec, D., y Klimach, A. (2020). Sustainable Transport: An Efficient Transportation Network—Case Study. *Sustainability* **12**, 1-14

Oja, P., Titze, S., Bauman, A., de Geus, B., Krenn, P., Reger-Nash, B. y Kohlberger, T. (2011). Health benefits of cycling: a systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* **21**, 496–509.

Oliva, I., Galilea, P. y Hurtubia, R. (2018). Identifying cycling-inducing neighborhoods: a latent class approach. *International Journal of Sustainable Transportation* **12**, 701–713.

Orbell, S. y Verplanken, B. (2015). The strength of habit. *Health Psychology Review* **9**, 311-317.

Orozco-Fontalvo, M., Arévalo-Támara, A., Guerrero-Barbosa, T. y Gutiérrez-Torres, M. (2018). Bicycle choice modelling: a study of university trips in a small Colombian city. *Journal of Transport and Health* **9**, 264-274.

Ortúzar, J. de D. (2019) Sustainable urban mobility: what can be done to achieve it? *Journal of the Indian Institute of Science* (DOI: 10.1007/s41745-019-00130-y).

Ortúzar, J. de D., Iacobelli, A. y Valeze, C. (2000). Estimating demand for a cycle-way network. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **34**, 353-373.

Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport*. John Wiley y Sons, Chichester.

Paige-Willis, D., Manaughbc, K. y El-Geneidy, A. (2013). Cycling under influence: summarizing the influence of perceptions, attitudes, habits, and social environments on cycling for transportation. *International Journal of Sustainable Transportation* **9**, 565–579.

Parkin, J., Wardman, M. y Page, M. (2008). Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data. *Transportation* **35**, 93–109.

Paulssen, M., Temme, D., Vij, A. y Walker, J. (2014). Values, attitudes and travel behaviour: a hierarchical latent variable mixed logit model of travel mode choice. *Transportation* **41**, 873–888.

Prati, G., Fraboni, F., De Angelis, M., Pietrantoni, L., Johnson, D. y Shires, J. (2019). Gender differences in cycling patterns and attitudes towards cycling in a sample of European regular cyclists. *Journal of Transport Geography* **78**, 1-7.

Prochaska, J.O., Wright, J.A. y Velicer, W.F. (2008). Evaluating theories of health behavior change: a hierarchy of criteria applied to the Transtheoretical Model. *Applied Psychology: An International Review* **57** (4), 561–588.

Pucher, J. y Dijkstra, L. (2000). Making walking and cycling safer: Lessons from Europe. *Transportation Quarterly* **54**(3), 25-30.

Pucher, J., y Buehler, R. (2008). Making cycling irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews* **28**(4) 495–528.

Pucher, J., Dill, J. y Handy, S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine* **50**, S106–S125.

Pucher, J., Buehler, R. y Seinen, M. (2011). Bicycling renaissance in North America? An update and re-appraisal of cycling trends and policies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **45**, 451–475.

Pucher, J. y Buehler, R. (2012). *City Cycling*. The MIT Press, Cambridge, Mass.

Ramos, R., Cantillo, V., Arellana, J. y Sarmiento, I. (2017). From restricting the use of cars by license plate numbers to congestion charging: analysis for Medellin, Colombia. *Transport Policy* **60**, 119–130.

Raustorpa, J. y Koglin, T. (2019). The potential for active commuting by bicycle and its possible effects on public health. *Journal of Transport and Health* **13**, 72-77.

Raveau, S., Alvarez-Daziano, R., Yáñez, F., Bolduc, D. y Ortúzar, J. de D. (2010). Sequential and simultaneous estimation of hybrid discrete choice models: some new findings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* **2156**, 131–139.

Reynolds, C.C., Harris, M.A., Teschke, K., Cripton, P.A. y Winters, M. (2009). The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environmental Health* **8**(1), 8-47.

Rios, R.A., Taddia, A., Pardo, C., Lleras, N., 2015. Ciclo-inclusión en América Latina y el Caribe: Guía para impulsar el uso de la bicicleta. Banco Interamericano de Desarrollo. Tomado de: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13841/ciclo-inclusion-en-america-latina-y-el-caribe-guia-para-impulsar-el-uso-de-la>

Riveros, M. (2018). Radiografía del nuevo repartidor a domicilio: Ya son más de tres mil y ganan hasta \$600 mil a la semana. Emol, 3 august. Available at: <https://pyme.emol.com/12284/radiografia-del-nuevo-repartidor-rider/> (Accessed: 10 July 2019, in Spanish).

Rodríguez-Valencia, A., Rosas-Satizábal, D., Gordo, D. y Ochoa, A. (2019). Impact of household proximity to the cycling network on bicycle ridership: the case of Bogotá. *Journal of Transport Geography* **79**, 102480.

Rodríguez-Valencia, A., Rosas-Satizabal, D., Unda, R. y Handy, S. (2021). The decision to start commuting by bicycle in Bogotá, Colombia: motivations and influences. *Travel Behaviour and Society* **24**, 57-67.

Rose, J.M., Bliemer, M.C.J. Hensher, D. y Collins, A.T. (2008). Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives. *Transportation Research Part B: Methodology* **42**, 395–406

Rose, J.M. y Bliemer, M.C.J. (2009). Constructing efficient stated choice experimental designs. *Transport Reviews* **29**, 587-617.

Rose, G. y Marfurt, H. (2007). Travel behaviour change impacts of a major ride to work day event. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **41**, 351-364.

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

Rossetti, T., Saud, V., y Hurtubia, R. (2019). I want to ride it where I like: measuring design preferences in cycling infrastructure. *Transportation* **46**, 697–718.

Rybarczyk, G. (2018). Toward a spatial understanding of active transportation potential among a university population. *International Journal of Sustainable Transportation* **12**, 625-636.

Rybarczyk, G. y Gallagher, L. (2014). Measuring the potential for bicycling and walking at a metropolitan commuter university. *Journal of Transport Geography* **39**, 1–10.

Sagaris, L. (2014). Citizen participation for sustainable transport: the case of “Living City” in Santiago, Chile (1997–2012). *Journal of Transport Geography* **41**, 74-83.

Sagaris, L. (2015). Lessons from 40 years of planning for cycle-inclusion: Reflections from Santiago, Chile. *Natural Resources Forum* **39**, 64–81.

Sagaris, L. y Ortúzar, J. de D. (2015). Reflections on citizen-technical dialogue as part of cycling-inclusive planning in Santiago, Chile. *Research in Transportation Economics* **53**, 20–30.

Sagaris, L. y Arora, A. (2016). Evaluating how cycle-bus integration could contribute to “sustainable” transport. *Research in Transportation Economics* **59**, 218-227.

Sagaris, L., Tiznado-Aitken, I. y Steiniger, S. (2017). Exploring the social and spatial potential of an intermodal approach to transport planning. *International Journal of Sustainable Transportation* **11**(10), 721-736.

Sagaris, L. (2018). Citizen participation for sustainable transport: Lessons for change from Santiago and Temuco, Chile. *Research in Transportation Economics* **69**, 402-410.

Sagaris, L., Berríos, E. y Tiznado-Aitken, I. (2020). Using PAR to frame sustainable transport and social justice on policy agendas. A pilot experience in two contrasting Chilean cities. *Journal of Transport Geography* **83**, 102654.

Salas, M.R. (2018). La bicicleta como modo de transporte que visibiliza el acceso desigual a la movilidad cotidiana: el caso de Santiago, Chile. *Revista de urbanismo* **39**, 1-26.

Santos, G., Behrendt, H. y Teytelboym, A. (2010). Part II: policy instruments for sustainable road transport. *Research in Transportation Economics* **28**, 46–91.

Sælensminde, K. (2006). Causes and consequences of lexicographic choices in stated choice studies. *Ecological Economics* **59**, 331-340.

Sheller, M. y Urry, J. (2000). The City and the Car. *International Journal of Urban and Regional Research Volume* **24**(4). 737-757.

Schwanen, T., Banister, D. y Anable, J. (2012). Rethinking habits and their role in behaviour change: the case of low-carbon mobility. *Journal of Transport Geography* **24**, 522-532.

SECTRA (2015). Encuesta Origen Destino de Santiago 2012. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Santiago. Tomado de: <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/biblioteca.asp>.

Sniehotta, F.F. y Presseau, J. (2012). The habitual use of the Self-Report Habit Index. *Annals of Behavioral Medicine* **43**, 139–140.

Sottile, E., Sanjust di Teulada, B., Meloni, I. y Cherchi, E. (2019). Estimation and validation of hybrid choice models to identify the role of perception in the choice to cycle. *International Journal of Sustainable Transportation* **13**, 543-553.

Stefansdottir, H., Næss, P., y Ihlebæk, C. M. (2019). Built environment, non-motorized travel and overall physical activity. *Travel Behaviour and Society* **16**, 201-213.

Suárez, L., Mesías, S., Iglesias, V., Silva C., Cáceres, D. D., y Ruiz-Rudolph, P. (2014). Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile. *Environmental Science Processes & Impacts*, **16**, 1309-1317.

Suazo-Vecino, G., Muñoz, J. C., & Fuentes Arce, L. (2020). The Displacement of Santiago de Chile's Downtown during 1990–2015: Travel Time Effects on Eradicated Population. *Sustainability* **12**(1), 289.

Teschke, K., Reynolds, C.C.O., Ries, F.J., Gouge, B. y Winters, M. (2012). Bicycling: health risk or benefit? *University of British Columbia Medical Journal* **3**, 5-11.

Tirachini, A., Hurtubia, R., Dekker, T. y Daziano, R.A. (2017). Estimation of crowding discomfort in public transport: results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **103**, 311-326.

Titze, S., Stronegger, W.J., Janschitz, S. y Oja, P. (2007). Environmental, social, and personal correlates of cycling for transportation in a student population. *Journal of Physical Activity and Health* **4**, 66-79.

Titze, S., Stronegger, W.J., Janschitz, S. y Oja, P. (2008). Association of built-environment, social-environment and personal factors with bicycling as a mode of transportation among Austrian city dwellers. *Preventive Medicine* **47**, 252–9.

Thigpen, C. (2019). Do bicycling experiences and exposure influence bicycling skills and attitudes? Evidence from a bicycle-friendly university. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **123**, 68-79.

Thomas, G.O., Poortinga, W., y Sautkina, E. (2016). Habit Discontinuity, Self-Activation, and the Diminishing Influence of Context Change: Evidence from the UK Understanding Society Survey. *PLoS ONE* **11**(4), e0153490.

Train, K. y Wilson, W. (2008). Estimation on stated-preference experiments constructed from revealed-preference choices. *Transportation Research Part B: Methodological* **42**(3), 191-203.

Train, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.

Triandis, H. C. (1977). Interpersonal behavior. Monterey, CA: Brooks/Cole.

Underwood, S.K., Handy, S., Paterniti, D. y Lee, A. (2014). Why do teens abandon bicycling? A retrospective look at attitudes and behaviours. *Journal of Transport & Health* **1**, 17-24.

Universidad del Norte. (2018). Encuesta de percepción ciudadana 2017. *Tomado de:* <http://www.barranquillacomovamos.org/index.php/encuestas-de-percepcion>.

Urry, J. (1999). Automobility, car culture and weightless travel: a discussion paper, online papers of the Department of Sociology, Lancaster University, Lancaster; <http://www.comp.lancs.ac.uk/sociology/soc008ju.html>

Valenzuela-Levi, N., Echiburu, T., Correa, J., Hurtubia, R. y Muñoz, J.C. (2021). Housing and accessibility after the COVID19 pandemic: rebuilding for resilience, equity and sustainable mobility. *Transport Policy* <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.05.006>.

Vandenbulcke, G., Dujardin, C., Thomas, I., de Geus, B., Degraeuwe, B., Meeusen, R. y Panis, L. (2011). Cycle commuting in Belgium: spatial determinants and ‘re-cycling’ strategies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **45**, 118–137.

Vanparijs, J., Panis, L., Meeusen, R. y de Geus, B. (2015). Exposure measurement in bicycle safety analysis: a review of the literature. *Accident Analysis and Prevention* **84**, 9-19.

Verplanken, B., Aarts, H. y Knippenberg, A. (1997). Habit, information acquisition, and the process of making travel mode choices. *European Journal of Social Psychology* **27**, 539-560.

Verplanken, B. y Orbell, S. (2003). Reflections on past behaviour: a self-report index of habit strength. *Journal of Applied Social Psychology* **33**, 1313-1330.

Verplanken, B. y Wood, W. (2006). Interventions to break and create consumer habits. *American Marketing Association* **25**, 90-103.

Verplanken, B., Walker, I., Davis, A. y Jurasek, M. (2008). Context change and travel mode choice: combining the habit discontinuity and self-activation hypotheses. *Journal of Environmental Psychology* **28**, 121–127.

Waintrub N., Peña C., Niehaus M., Vega R. y Galilea P. (2016). Understanding cyclist traffic behaviour: contrasting cycle path designs in Santiago de Chile. *Research in Transportation Economics* **59**, 228-235.

Waintrub, N., Rossetti, T., Oliva, I., Galilea, P. y Hurtubia, R. (2018) Caracterización socioespacial de los ciclistas urbanos de Santiago. In *Intersecciones 2016, II Congreso Interdisciplinario de Investigación en Arquitectura, Diseño, Ciudad y Territorio*. ARQ Ediciones, Santiago.

Walker, J. y Ben-Akiva, M. (2002). Generalized random utility model. *Mathematical Social Sciences* **43**, 303-343.

Walker, I., Thomas, G.O., y Verplanken, B. (2015). Old habits die hard: travel habit formation and decay during an office relocation. *Environment and Behavior* **47**(10) 1089–1106.

Wardman, M., Hatfield, R. y Page, M. (1997). The UK national cycling strategy: can improved facilities meet the targets? *Transport Policy* **4**, 123-133.

Wardman, M., Tight, M. y Page, M. (2007). Factors influencing the propensity to cycle to work. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **41**, 339–350.

Willis, D., Manaugh, K. y El-Geneidy, A. (2015). Cycling under influence: summarizing the influence of perceptions, attitudes, habits and social environments on cycling for transportation. *International Journal of Sustainable Transportation* **9**, 565-579.

Wilmink, A. y Hartman, J. (1987). Evaluation of the Delft bicycle network plan: final summary report. Ministry of Transport and Public Works, The Hague.

Winters, M., Brauer, M., Setton, E.M. y Teschke, K. (2010). Built environment influences on healthy transportation choices: bicycling versus driving. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine* **87**, 969-992.

Winters, M., Davidson, G., Kao, D. y Teschke, K. (2011). Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. *Transportation* **38**, 153–168.

Wood, W., Tam, L. y Guerrero Witt, M. (2005). Changing circumstances, disrupting habits. *Journal of Personality and Social Psychology* **88**, 918-933.

Yañez, M.F., Mansilla, P. y Ortúzar, J. de D. (2010). The Santiago Panel: measuring the effects of implementing Transantiago. *Transportation* **37**, 125-149.

Zahabi, S., Strauss, J., Manaugh, K. y Miranda-Moreno, L. (2011). Estimating potential effect of speed limits, built environment, and other factors on severity of pedestrian and cyclist injuries in crashes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* **2247**, 81–90.

Zegras, C. (2010). The built environment and motor vehicle ownership and use: Evidence from Santiago de Chile. *Urban Studies*. **47**, 1793– 1817.

Zhao, C., Nielsen, T.A.S., Olafsson, A.S., Carstensen, T.A. y Fertner, C. (2018). Cycling environmental perception in Beijing – A study of residents’ attitudes towards future cycling and car purchasing. *Transport Policy* **66**, 96-106.

ANEXO 1. Encuesta Versión Online aplicada en la ciudad de Barranquilla

ANEXO 2. Encuesta Versión Online aplicada en la ciudad de Santiago