

Entendiendo la elección modal del automóvil en ciudades de ALC

Autores:

Paula Iglesias
Juan de Dios Ortúzar
Álvaro Rodríguez-Valencia
Francisca Giraldez
Agustina Calatayud

División de Transporte

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-2416

Febrero 2022

Entendiendo la elección modal del automóvil en ciudades de ALC

Paula Iglesias
Juan de Dios Ortúzar
Álvaro Rodríguez-Valencia
Francisca Giraldez
Agustina Calatayud

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Entendiendo la elección modal del automóvil en ciudades de ALC / Paula Iglesias, Juan de Dios Ortúzar, Álvaro Rodríguez-Valencia, Francisca Giraldez, Agustina Calatayud.p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2416)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Automobiles-Colombia-Econometric models. 2. Automobiles-Chile-Econometric models. 3. Urban transportation-Colombia-Econometric models. 4. Urban transportation-Chile-Econometric models. 5. Local transit-Colombia. 6. Local transit-Chile. I. Iglesias, Paula. II. Ortúzar S., Juan de Dios. III. Rodríguez Valencia, Álvaro. IV. Giraldez Zúñiga, Francisca. V. Calatayud, Agustina. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. VII. Serie.

IDB-TN-2416

Códigos JEL: R41, R48

Palabras clave: automóvil, elección modal, transporte urbano

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2022] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Entendiendo la elección modal del automóvil en ciudades de ALC

Paula Iglesias
Juan de Dios Ortúzar
Álvaro Rodríguez-Valencia
Francisca Giraldez
Agustina Calatayud

Contenido

1	Introducción	8
2	Modelo Conceptual y Metodología	10
2.1	El instrumento de medición de PR	13
2.2	Modelos de decisión propuestos	15
2.2.1	Modelos de uso (elección modal)	15
2.2.2	Modelos de tenencia (posesión de vehículo particular)	16
3	Contexto Local y Aplicación del Instrumento	17
3.1	Caracterización de las ciudades	17
3.2	Marco muestral	18
4	Análisis Estadístico del Uso del Automóvil en Bogotá y Santiago	19
4.1	Santiago	19
4.2	Bogotá	23
5	Modelos para la Ciudad de Santiago	28
5.1	Modelo táctico de elección modal	28
5.1.1	Supuestos y datos del modelo	28
5.1.2	Modelación	30
5.1.3	Resultados modelo elección modal - Santiago	30
5.2	Modelo estratégico de tenencia de automóvil	35
5.2.1	Variables de modelación	36
5.2.2	Resultados modelo de tenencia - Santiago	37
6	Modelos para la Ciudad de Bogotá	40
6.1	Modelo táctico de elección modal	40
6.1.1	Supuestos y datos del modelo	41
6.1.2	Modelación	41
6.1.3	Resultados modelo de elección modal - Bogotá	42
6.2	Modelo estratégico de tenencia de vehículos	45
6.2.1	Variables de modelación	45
6.2.2	Resultados modelo de tenencia - Bogotá	47
7	Discusión de Resultados	51
7.1	Tenencia de automóvil en la ciudad	51
7.2	Condiciones que hacen preferible el uso del automóvil	53
7.3	Alternativas realmente consideradas	56
8	Desafíos de Política	57
9	Bibliografía	65

Índice de Tablas

Tabla 1: Tipos de viajes analizados.....	19
Tabla 2: Parámetros estimados en modelo de elección modal - Santiago	32
Tabla 3: Variación en la probabilidad de utilizar automóvil - Santiago.....	34
Tabla 4: Variables de modelación - Santiago	37
Tabla 5: Resultados de los modelos de elección discreta de tenencia - Santiago	39
Tabla 6: Ecuaciones estructurales y de medición del modelo híbrido de tenencia - Santiago	40
Tabla 7: Resultados modelo de elección modal - Bogotá	44
Tabla 8: Variables del modelo estratégico de tenencia de vehículos motorizados - Bogotá	46
Tabla 9: Nuevas variables definidas para modelo de tenencia de motocicleta - Bogotá	46
Tabla 10: Resultados modelo híbrido de tenencia de vehículos - Bogotá	48
Tabla 11: Ecuación estructural y de medición modelo híbrido tenencia de auto y moto - Bogotá..	50

Índice de Figuras

Figura 1: Modelo conceptual del enfoque del estudio	11
Figura 2: Localización geográfica de hogares encuestados	19
Figura 3: Partición modal viajes Tipo 1 según nivel de ingreso del hogar - Santiago	20
Figura 4: Partición modal viajes Tipo 2 según nivel de ingreso del hogar - Santiago	20
Figura 5: Partición modal según género del viajero - Santiago.....	21
Figura 6: Partición modal según edad del viajero - Santiago	21
Figura 7: Modos alternativos (segunda y tercera opción) para usuarios auto-chofer	22
Figura 8: Partición modal según complejidad del viaje - Santiago.....	22
Figura 9: Puntuación de <i>necesidad</i> percibida, según tramo etario del viajero - Santiago.....	23
Figura 10: Partición modal viajes Tipo 1 según nivel de ingreso del hogar - Bogotá.....	24
Figura 11: Partición modal viajes Tipo 2 según nivel de ingreso del hogar - Bogotá.....	24
Figura 12: Partición modal según género del viajero - Bogotá	24
Figura 13: Partición modal según edad del viajero - Bogotá	25
Figura 14: Modos alternativos (segunda y tercera opción) para usuarios auto-chofer	25
Figura 15: Modos alternativo ante restricción de Pico y Placa - Bogotá.....	26
Figura 16: Partición modal según complejidad del viaje - Bogotá	26
Figura 17: Puntuación de necesidad según tramo etario del viajero - Bogotá	27
Figura 18: Variables latentes del modelo híbrido - Santiago	31
Figura 19: Contribución de las variables en la función de utilidad del automóvil - Santiago	33
Figura 20: Variable latente Funcionalidad especificada en el modelo híbrido - Santiago	38
Figura 21: Representación del modelo híbrido de elección discreta - Bogotá	43
Figura 22: Variable latente Estilo automóvil utilizada en el modelo híbrido - Bogotá	47

Resumen Ejecutivo

En las últimas décadas, el uso del automóvil particular y la motocicleta ha aumentado significativamente en muchas ciudades de América Latina y el Caribe (ALC). Junto con la rápida urbanización y el descenso en el uso del transporte público, el mayor uso de vehículos privados ha tenido un severo impacto en los niveles de congestión, contaminación y otras externalidades (accidentes, ruido) en nuestras ciudades. ALC es una de las zonas más congestionadas del mundo, y posee cuatro de las cinco ciudades con mayor congestión a nivel global (INRIX, 2019).

En este contexto, es relevante notar la ausencia de investigaciones que analicen por qué los habitantes de las ciudades de ALC prefieren utilizar la movilidad privada frente a otros modos. Esta brecha de conocimiento limita el diseño de políticas públicas efectivas para incentivar el cambio modal y, con ello, impulsar una movilidad más sostenible en las ciudades de la región. Por esta razón, el presente estudio busca entender los factores objetivos, actitudinales y personales que explican el uso de vehículos particulares, tomando como referencia dos ciudades latinoamericanas: Bogotá (Colombia) y Santiago (Chile).

La literatura en movilidad urbana reconoce la existencia de factores observables (adicionales a tiempos de viaje y costos) como la conveniencia, comodidad y seguridad; y factores subjetivos como el hábito, la sensación de libertad, u orgullo, que inciden en la elección del automóvil sobre otros modos de transporte. Asimismo, esta elección suele entenderse como una decisión individual; no obstante, en numerosos casos responde a una necesidad familiar de realizar viajes con acompañantes. La hipótesis principal del estudio es que la preferencia cotidiana por vehículos privados en nuestras ciudades está altamente influenciada por atributos subjetivos.

La investigación propone una metodología generalizable basada en el levantamiento de información de preferencias reveladas (PR) y técnicas econométricas para modelar el comportamiento de los usuarios, que permita: (1) estudiar el efecto del hábito y otros factores subjetivos en el uso del automóvil; (2) identificar el efecto de la estructura familiar y del viaje en el uso del carro; (3) examinar el potencial impacto de la adquisición del vehículo; y (4) estudiar el fenómeno de la tenencia en su relación con el hogar y su entorno. Esta metodología, aquí aplicada a Bogotá y Santiago, puede ser utilizada en otras ciudades de la región, para entender la dimensión de los factores que motivan la adquisición y uso del vehículo particular en las mismas, como instrumento que informe el diseño de políticas públicas de movilidad.

Los resultados del análisis estadístico muestran un arraigo importante del automóvil en ambas ciudades, en especial para personas de mayor edad. En Bogotá, el aumento de la edad incrementa sostenidamente el uso de automóvil como chofer; mientras que, en Santiago, este aumento se observa hasta el rango de adulto (44 a 54 años) pero posterior a esa edad surge un crecimiento del uso de taxi y aplicaciones móviles en desmedro del automóvil. Por otro lado, se evidencia que, en ausencia del automóvil, los usuarios habituales ven como alternativa principal a Transmilenio y motocicleta en Bogotá, y al Metro y a las aplicaciones móviles en Santiago.

Por su parte, los resultados del modelo de uso de automóvil en Santiago muestran que su preferencia aumenta en viajes regulares, con horario y destino fijos, cuando existe mayor disponibilidad efectiva de auto en el hogar, en viajes con estructuras más complejas, al transportar a alguien más en el mismo viaje, y al tener personas mayores de 70 años en el domicilio. La variable latente *estatus* (asociada a los indicadores “mi auto es mi joyita”, “mi auto es mi espacio personal” y “comprar auto fue importante para mí”), aumenta significativamente la probabilidad de usar automóvil. Esta variable es más explicativa en hombres y es creciente respecto a la motorización del hogar. Por otro lado, la variable latente *funcionalidad*¹ percibida resultó significativa en explicar el uso de transporte público y aplicaciones móviles, aunque en el primer caso disminuye con la edad y nivel de ingreso, y en el segundo disminuye con la edad, pero aumenta con el nivel de ingreso.

En el caso de Bogotá, la probabilidad de usar auto aumenta cuando el usuario viaja acompañado y se observan dos variables latentes asociadas: *comodidad* y *hábito*. La primera está asociada a los indicadores: “otorga flexibilidad de horario”, “permite transportar personas con movilidad reducida” y “falta acceso a transporte público para realizar el viaje”. El nivel de *comodidad* percibida (en el caso del auto) aumenta con el ingreso y con el número de carros en el hogar. La variable latente *hábito* (relacionada con los indicadores “opto por carro sin pensar”, “difícil pensar en opciones diferentes al carro”, “dejar de usar carro para este viaje es muy difícil” y “me costaría usar otros modos de transporte”), aumenta la preferencia del automóvil. El *hábito* es mayor en hombres, en usuarios con más carros en el hogar, y en usuarios de menor ingreso. Finalmente, cabe mencionar que el costo del viaje es incidente en la elección de modo de transporte para potenciales usuarios de auto en Bogotá, a diferencia de lo que ocurre en Santiago.

¹ Compuesta por los indicadores “Es cómo viajar en...”, “Es rápido y directo viajar en...” y “Puedo ir donde quiera y cuando quiera...”.

Al analizar la posesión de vehículo en hogares de Santiago, resultó positivamente significativa la variable latente *funcionalidad* del automóvil (asociada a los indicadores “es cómodo”, “es rápido y directo”, “me puedo ir dónde quiero y cuándo quiero”, referidos a la percepción del jefe de hogar). La *funcionalidad* percibida aumenta para viajeros frecuentes, al aumentar la edad del individuo, y en el caso de mujeres. Por otro lado, el ingreso familiar aumenta significativamente la tasa de motorización, y su importancia crece al considerar la probabilidad de contar con más de un vehículo en el hogar. También, el número de personas inactivas y la presencia de hijos en el hogar inciden en la adquisición de uno o más automóviles. En cuanto a la localización de los hogares y su entorno, se observa que, a mayor diversidad de uso de suelo, conectividad a la red de transporte público o densidad de hogares en la zona de residencia, menor es la utilidad percibida de tener automóvil.

En el caso de Bogotá, la tenencia de automóvil está asociada casi exclusivamente a los estratos de mayor ingreso, mientras que para los estratos restantes es muy importante el uso y adquisición de motocicletas. La variable latente *estilo*, asociada al jefe del hogar y definida por varios indicadores tanto funcionales como afectivos, incide positivamente en la probabilidad que el hogar tenga auto, y presenta niveles más altos cuando el jefe de hogar es hombre y con menor nivel de ingreso². Asimismo, la cantidad de hombres activos en el hogar induce una mayor adquisición de motocicleta (o motocicleta y carro), pero disminuye la tenencia de sólo automóvil. Respecto a la localización de los hogares, vivir en una zona con mayor uso comercial, o mejor conectividad al sistema de transporte público, disminuye la posesión de automóvil y, finalmente, el hecho de vivir en la periferia aumenta la utilidad percibida de poseer motocicleta.

La última sección del informe menciona los principales desafíos, en términos de política pública de transporte, para incentivar un uso más socialmente sostenible del vehículo particular. En primer lugar, parece importante lograr una mejor vinculación entre el transporte privado y la red estructurante de mayor estándar, especialmente Metro y BRT, como también servicios de riel interurbanos, de existir en la ciudad; también, habilitar puntos de *park and ride* y *drop off*, pensando en cambiar el uso del auto y la motocicleta hacia modos de primera y última milla para viajes largos que utilicen transporte público. En segundo lugar, es recomendable diseñar desincentivos al excesivo uso y adquisición de automóvil, de acuerdo con las necesidades que buscan cubrir sus

² Los indicadores de la variable *Estilo Auto* son la aseveración directa “el carro va con mi estilo de vida”, dos asociados a independencia o placer (“me permite no depender de otros” y “me gusta conducir”) y también aspectos afectivos (“mi auto es mi consentido”, “es mi espacio personal” y “comprar un auto fue importante para mí”).

usuarios. En tercer lugar, el diseño de ciudades debiera ser menos dependiente del automóvil; el estudio muestra que, en zonas con uso de suelo más variado, más densamente pobladas, o con mejor conectividad al transporte público, decrece la probabilidad de tener uno o más carros en el hogar. Finalmente, parece fundamental lograr instalar la identidad negativa asociada al uso irrestricto del automóvil, en lugar que continúe siendo un símbolo de estatus o estilo y, al mismo tiempo, mejorar la percepción de los modos alternativos para que sean percibidos como opciones competitivas y deseables para los usuarios de vehículo privado.

1 Introducción

En las últimas décadas, el uso del automóvil particular y de la motocicleta han aumentado significativamente en muchas ciudades de América Latina y el Caribe (ALC). Esta tendencia no muestra señales de revertirse, especialmente si se considera que la tasa de motorización continuará creciendo en el próximo quinquenio (Calatayud y Muñoz, 2020). Junto con la rápida urbanización y el descenso en el uso del transporte público, el mayor uso de vehículos privados ha tenido un severo impacto en los niveles de congestión, contaminación y otras externalidades (accidentes, ruido) en ciudades de ALC. Este aumento es particularmente preocupante en el caso de viajes regulares, en que otros modos de transporte deberían resultar atractivos.

De acuerdo con el *INRIX 2019 Global Traffic Scorecard*, cuatro de las cinco ciudades más congestionadas del mundo se encuentran en la región: Bogotá, Río de Janeiro, Ciudad de México y San Pablo. Además, estudios recientes confirman que el nivel de productividad del transporte público de superficie en ALC se ha visto severamente afectado por la congestión, lo que sugiere que estas ciudades están inmersas en el temido *círculo vicioso del transporte público* (la capacidad de proveer una solución efectiva al problema se ve limitada por la propia congestión; Gómez-Lobo y Price, 2020).

Asimismo, la congestión urbana genera importantes pérdidas económicas para las ciudades de ALC. Estudios recientes estiman costos en torno al 1% del PIB en ciudades como Buenos Aires, Bogotá, Río de Janeiro y Santiago de Chile (Calatayud et al., 2021). Para dimensionar estas pérdidas, a modo de ejemplo, a Buenos Aires y Ciudad de México la congestión les cuesta, respectivamente, 1,9 y 2,3 veces lo que los gobiernos locales invierten en educación. El costo directo de la congestión en San Pablo equivaldría a lo que la ciudad gasta en salud. La congestión también impacta en el bienestar: diez minutos adicionales en el tiempo de desplazamiento al trabajo por causa de la congestión se asocia con una probabilidad 0,8% mayor de presentar un cuadro positivo de depresión (Wang et al., 2019). Otros efectos en la salud se relacionan con mayores niveles de fatiga, alteraciones en el comportamiento social (por ejemplo, mayor agresividad), dificultades en la comunicación y distorsión del sueño (World Health Organization, 2007).

Las ciudades de ALC han implementado diferentes medidas para reducir la congestión, incluyendo mejoras de los sistemas de transporte público, aplicación de restricciones vehiculares y promoción de modos de transporte activos. A pesar de ello, a medida que aumenta el ingreso de los países, las tasas de adquisición y uso de vehículos particulares continúan en aumento. Con el fin de

contrarrestar esta tendencia y sus efectos negativos en materia económica y de bienestar, los diseñadores de políticas públicas requieren de un conocimiento más preciso sobre los factores que influyen en la preferencia por el uso del automóvil. Se trata de un acertijo interesante pues, aunque conducir en las ciudades de hoy no es una alternativa tan atractiva como hace una década - dados los crecientes niveles de congestión - aún se constata una preferencia arraigada por el automóvil, y esta no responde a las variables tradicionalmente consideradas para explicar la elección modal, esto es, tiempos y costos, esencialmente. De lo contrario, debería observarse un mayor uso de modos más eficientes y sustentables, como el transporte público, y también de modos activos, como la bicicleta, dado que la mayoría de los viajes son inferiores a 10 km, incluso en ciudades grandes.

En este contexto, resulta relevante notar la ausencia de literatura que analice la elección del vehículo particular, frente a otros modos de transporte. Esto redundaría en información incompleta para los tomadores de decisiones, limitando la posibilidad de diseñar políticas que permitan gestionar más efectivamente la congestión y que promuevan el uso de modos socialmente más eficientes. Para cerrar esta brecha de conocimiento, este estudio busca generar evidencia que permita entender no solo los factores objetivos que explican el uso indiscriminado de vehículos particulares, sino también detectar factores actitudinales y personales que complejizan el fenómeno. Para ello, se toman como casos de estudio las conurbaciones de Bogotá, capital de Colombia, y Santiago, capital de Chile. De manera importante, el estudio presenta una metodología que puede ser replicable para otras ciudades de la región, basada en la recolección y análisis de información de preferencias reveladas (PR) sobre viajes efectivamente realizados por habitantes de ambas ciudades. El estudio contribuye a avanzar la Visión 2025 del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), de una recuperación económica sostenible e inclusiva en ALC post pandemia COVID-19, al proveer información a los tomadores de decisiones para diseñar políticas que conlleven a una movilidad más sostenible e inclusiva en las ciudades de la región.

El documento está organizado de la siguiente forma: el Capítulo 2 presenta el modelo conceptual propuesto, elaborado a partir de una revisión de literatura sobre elección modal, y describe el instrumento y el tipo de modelos de elección utilizados. El Capítulo 3 caracteriza ambas ciudades y el marco muestral de aplicación de las encuestas. En el Capítulo 4, se presenta un análisis estadístico de los datos recolectados en ambas ciudades. Los Capítulos 5 y 6 reportan, para Santiago y Bogotá respectivamente, los mejores modelos de comportamiento estimados: se presentan primero los modelos tácticos, asociados a la elección de modo y, luego, los modelos estratégicos, asociados a la decisión de tenencia de vehículo motorizado en el hogar. En ambos casos, además de los datos

recolectados en terreno, se utilizó un conjunto de variables adicionales elaboradas a partir de información complementaria en cada ciudad, tema que se presenta en este mismo capítulo. El Capítulo 7 presenta los resultados del estudio y, finalmente, el Capítulo 8 reflexiona sobre los desafíos de política pública, con base en los resultados obtenidos.

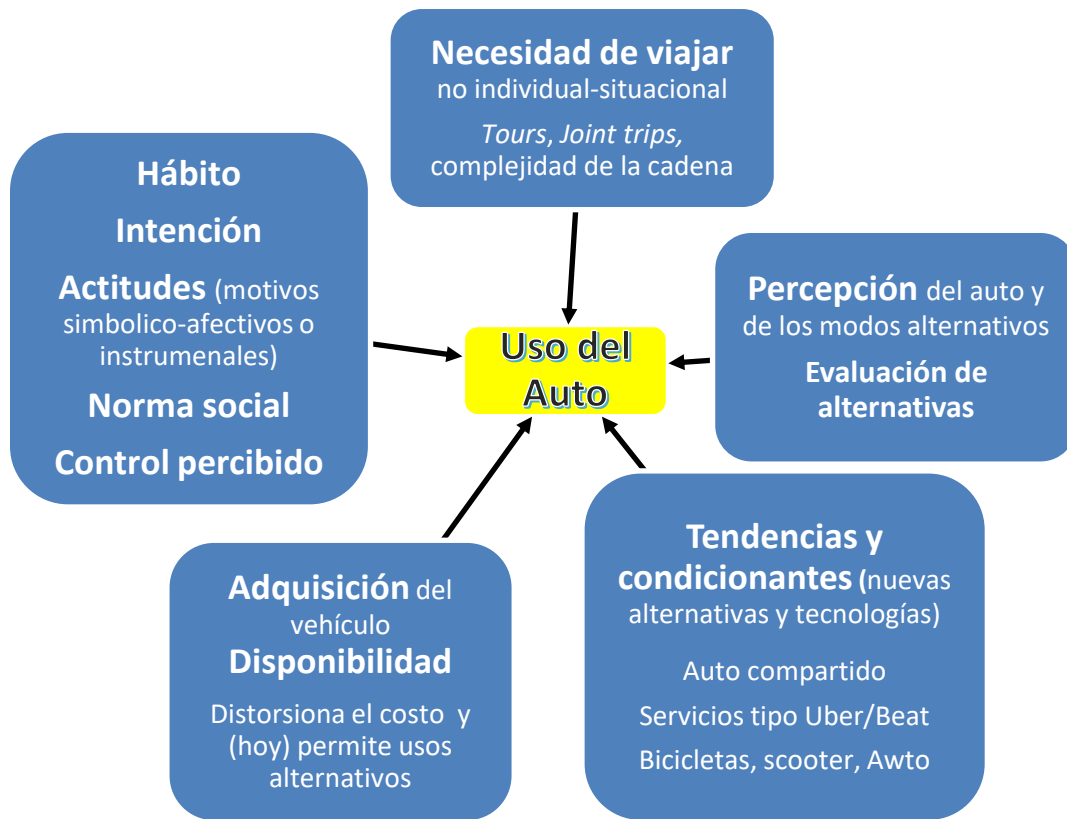
2 Modelo Conceptual y Metodología

La literatura en movilidad urbana ha formulado varias hipótesis respecto a qué lleva a los individuos a utilizar automóvil en mayor proporción que otros modos competitivos (Ortúzar & Willumsen, 2011). En particular, se reconoce la existencia de **factores observables**, adicionales a los tiempos de viaje y costos, tales como conveniencia, comodidad y seguridad, y diversas características socio-demográficas (Hensher & Reyes, 2000; Ho & Mulley, 2013). Además, ha mostrado la existencia de **factores subjetivos** como el hábito, la sensación de libertad, y el orgullo o estatus social asociado a viajar en auto, que han ido tomando mayor importancia en la explicación del fenómeno (He & Thøgersen, 2017; Fajarindra *et al.*, 2017; Martins *et al.*, 2020). A pesar de estos desarrollos, la literatura focalizada en las ciudades de ALC es escasa y, cuando se encuentran disponible, se ocupa de entender más la elección modal del transporte público o activo, mientras que la realidad muestra un incremento de las tasas de motorización y del uso del vehículo particular en gran parte de la región (BID, 2020).

En este contexto, la hipótesis principal a probar en el estudio es que la elección modal y, en particular, la preferencia por vehículos privados en ciudades de ALC, está altamente influenciada por atributos subjetivos que afectan la decisión cotidiana de uso. A la vez, esta decisión puede estar relacionada con **otras decisiones tomadas con anterioridad** o, incluso, con **efectos futuros**. Por ejemplo, la disponibilidad de automóvil, que sin duda condiciona el hábito, está relacionada con las decisiones de adquirir un vehículo y obtener una licencia de conducir. Por su parte, la ponderación de beneficios o daños ambientales, y riesgo percibido, considera beneficios - o perjuicios - a ser recibidos en futuros indefinidos (por ejemplo, una probabilidad de accidente o hurto), o por parte de terceros (por ejemplo, en la valoración del beneficio ambiental subyace una dosis de altruismo a un otro inespecífico). Finalmente, aunque la elección de automóvil suele entenderse como una decisión personal individual, en muchos casos responde a una **necesidad familiar de realizar viajes con acompañantes**, en especial, en ciertas etapas del ciclo de vida - con hijos pequeños, o

dependientes mayores- y esto depende, a su vez, de la localización del hogar respecto a los potenciales destinos de viaje. Así, más que incidir en forma individual, distintas condicionantes interactúan entre sí haciendo que la decisión personal de usar automóvil opere de forma distinta a otras elecciones asociadas a los viajes urbanos, como escoger una ruta u optar por una línea específica de transporte público. La Figura 1 ilustra el modelo conceptual propuesto para este estudio.

Figura 1: Modelo conceptual del enfoque del estudio



Para dar respuesta a los objetivos del estudio, se propuso un enfoque metodológico basado en el levantamiento de información de PR y técnicas econométricas de punta que permitieran modelar el comportamiento de los usuarios en sus viajes habituales. Se buscó diseñar una metodología generalizable; es decir, que utilizara instrumentos y procedimientos de análisis replicables en otras ciudades de la región. Esto es importante, ya que las distintas ciudades de ALC muestran realidades muy diversas y, por ende, los factores que condicionan el fenómeno podrían tener, también, una

incidencia diferente. La recolección de información estuvo orientada a los siguientes propósitos específicos:

1. Estudiar el efecto del hábito (o inercia) y otros factores subjetivos en la decisión cotidiana de usar un vehículo particular.
2. Identificar el efecto de la estructura familiar, necesidades específicas de viajes y estructura de los mismos, en el uso del vehículo.
3. Examinar el potencial impacto de la decisión previa, de adquisición del vehículo, en la decisión de uso cotidiano del mismo.
4. Estudiar el fenómeno de la tenencia de vehículo en su relación con el hogar y su entorno.

El trabajo de investigación se basó en la recolección, análisis y modelamiento de información proveniente de una encuesta de PR, es decir, información sobre viajes realizados por habitantes que fueran potenciales usuarios de vehículos particulares. Se consultó por viajes habituales previos a la contingencia de Covid-19³. Se consideró individuos con licencia de conducir, que presentaran distintos grados de disponibilidad efectiva de vehículos particulares en el hogar, y fueran más o menos asiduos a utilizarlos. El estudio estuvo orientado a comprender el comportamiento de ese tipo de habitantes, más que a analizar el comportamiento de la población en general. Por esta misma razón, se estudiaron viajes superiores a los 500 metros de distancia, dejando fuera aquellos desplazamientos de menor distancia que, aunque numerosos, no son relevantes para el uso del automóvil.

El instrumento recolectó, primero, información básica del hogar, buscando identificar las variables asociadas a la etapa del ciclo de vida familiar, y caracterizar los integrantes y vehículos del hogar. El segundo módulo, orientado a potenciales usuarios de automóvil (y motocicleta para el caso de Bogotá), incluyó variables socioeconómicas, identificación de actividades habituales y modos alternativos para viajes (posteriormente clasificados en dos tipos⁴), además de consultas asociadas

³ Debido a la pandemia, los viajes actuales no se consideran *normales*, por lo que el instrumento no registra un *diario de viajes* – como es tradicional en encuestas de movilidad - sino que solo dos viajes asociados a actividades habituales de cada individuo, en un período laboral normal. En otras palabras, se solicitaba responder con base en viajes habituales previos a la pandemia del Covid-19.

⁴ Tipo 1, viajes regulares con destino y hora fija, y Tipo 2, viajes regulares, pero en que tanto el destino como la hora de viaje podían ser variables.

a su estructura. El tercer módulo de la encuesta, abordó un conjunto de indicadores subjetivos sobre percepciones y actitudes, incluyendo hábito, de los distintos modos.

El instrumento, diseñado para ser auto-administrado mediante una aplicación web, se probó en muestras pilotos de más de 100 individuos residentes en distintas zonas de cada ciudad. En la encuesta definitiva, se consideró un total de 500 hogares adicionales por ciudad y se trabajó con muestras estratificadas por ingreso, género y edad, distribuidas según localización geográfica del hogar (para garantizar cobertura).

Con base en la información recolectada, la modelación del comportamiento se realizó considerando aspectos tradicionales y no tradicionales (subjetivos) en las decisiones de posesión y uso del vehículo privado. La implementación práctica de este enfoque consideró: (i) un **modelo estratégico**, asociado a la decisión de tenencia de vehículo particular en el hogar, estimado en forma conjunta con datos provenientes de las encuestas de movilidad más recientes de cada ciudad y de las encuestas específicamente recolectadas en el estudio; y (ii) un **modelo táctico**, asociado a la decisión de usar automóvil u otros modos, para viajes habituales de ambos tipos, que fue estimado con información de las encuestas recolectadas en el estudio.

En ambos casos, se utilizó un conjunto de variables construidas con información complementaria. En particular, para estimar los tiempos y costos de viaje en los distintos modos de transporte disponibles en cada ciudad, se recurrió a fuentes emergentes tales como Google Maps y aplicaciones tipo Waze. Otros indicadores relativos a la localización del hogar de cada encuestado, como la diversidad de uso de suelo o el nivel de conectividad a la red de transporte público, se construyeron a partir de información de fuentes oficiales de cada ciudad.

2.1 El instrumento de medición de PR

El instrumento diseñado constó de tres módulos. El primero podía ser respondido por cualquier adulto del hogar. Las características recolectadas estaban asociadas a la caracterización de vehículos e identificación de integrantes (edad, ocupación, posesión de licencia y uso de vehículo, entre otros).

El segundo módulo, más específico, debía ser respondido por los usuarios efectivos o potenciales de cada vehículo particular. Se incluyeron variables socioeconómicas, identificación de actividades habituales y de modos alternativos para los viajes de cada tipo. En cada caso, se caracterizó la estructura del viaje. Para encuestados que eran propietarios (o usuarios habituales de auto, motocicleta o bicicleta), se agregaron preguntas para caracterizar el vehículo usualmente utilizado.

El instrumento registró viajes asociados a las actividades habituales de cada individuo considerando el periodo normal del año 2019. Como la encuesta se implementó en el último trimestre de 2020, para minimizar los impactos de la pandemia sobre las respuestas, se consultó por la forma *habitual* de realizar los viajes, previo a la contingencia de Covid-19. En el caso de Santiago, se solicitó pensar en las actividades realizadas previo a las protestas de octubre de 2019. Se registró el destino, momento del día y tipo de día en que se realizaban los viajes, poniendo énfasis en las paradas (viajes multipropósito) y en la vinculación entre viajes (personales o con otros miembros de la familia).

Finalmente, el tercer módulo consultó sobre 58 indicadores de percepción mediante escalas Likert de cinco puntos (“Muy de acuerdo” a “Muy en desacuerdo”). Estos indicadores se pueden agrupar en los siguientes cinco subgrupos⁵:

- Percepciones del nivel de servicio de automóvil, taxi y transporte público: 24 indicadores relacionados con la percepción del costo, comodidad, facilidad de acceso, rapidez, flexibilidad y seguridad de cada modo.
- Actitudes afectivas y sociales hacia el automóvil (solo dueños del vehículo): nueve indicadores relacionados con el estilo de vida, independencia y norma social (familiares y amigos validan y suelen usar el auto), entre otros.
- Hábito asociado al uso de auto: cinco afirmaciones, que se consultan para el viaje específico, relacionadas con si las personas usan automóvil sin pensar en otras alternativas, o con la dificultad que ven en dejar de utilizarlo o, incluso, en pensar en otras alternativas.
- Necesidad de usar el automóvil: siete indicadores que describen la necesidad de usar auto, asociados a que permite transportar a otros, llevar cómodamente las cosas, ofrece protección frente al mal clima, otorga flexibilidad, distanciamiento social, entre otros.
- Percepción sobre el uso de la bicicleta: ocho indicadores que describen la percepción de este modo activo, como si va con el estilo de vida, otorga libertad e independencia, o el esfuerzo físico que implica.

⁵ La definición de afirmaciones específicas de cada tipo, se basó en una exhaustiva revisión bibliográfica en que se identificó aspectos funcionales, perceptuales y actitudinales que habían sido considerados incidentes en estudios previos con distintos objetivos específicos, incluyendo indicadores de hábito y norma social (Kopnina & Williams, 2012; Olde Kalter *et al.*, 2020; Burlando *et al.*, 2020; He & Thøgersen, 2017; Fajarindra *et al.*, 2017; Pojani *et al.*, 2018; Moody & Zhao, 2019) . Algunos se adaptaron a la nomenclatura local, pero conservando el sentido de la afirmación. Su redacción e importancia fue testeada en las instancias de pre-diseño. Se agregaron aspectos específicos al uso de moto y bicicleta.

El formulario de Bogotá presentó leves diferencias respecto al de Santiago. En particular, se definió de forma distinta a los modos, debido a la importancia de la motocicleta como modo de transporte, especialmente para la población más vulnerable, y también de ciertos modos informales de transporte público como bicitaxis, y mototaxis, entre otros. También, el formulario buscó capturar el efecto de la restricción vehicular *Pico y Placa*⁶ que opera en Bogotá y que afecta la decisión de tenencia y uso del automóvil.

El instrumento de medición fue diseñado acorde a los requisitos estándar de una encuesta de auto-llenado, intentando mantener al mínimo la extensión del instrumento, con un fraseo sencillo y de carácter auto-contenido, y utilizando un sitio web que permitió un formato agradable y de ágil llenado. Este formato permitió que varios criterios de validación quedaran automáticamente incorporados en el registro. De esta forma, se consideró válida cada encuesta asociada a un domicilio si el formulario era íntegramente respondido por al menos un adulto que cumpliera dos requisitos: (i) poseer licencia de conducir y (ii) haber conducido automóvil, o motocicleta, dentro de los últimos 12 meses.

2.2 Modelos de decisión propuestos

2.2.1 Modelos de uso (elección modal)

En ambas ciudades se estimaron modelos híbridos de elección discreta (Ortúzar y Willumsen, 2011), en que además de las variables de nivel de servicio tradicionales - tiempos, costos y transbordos de las distintas alternativas - se exploró el efecto de variables asociadas a la persona para explicar el uso del vehículo, en particular: (i) la estructura del viaje (viaja acompañado, realiza otro viaje ligado, hace paradas intermedias en el camino); (ii) interacción de variables de servicio con características sociodemográficas (esto es, variaciones sistemáticas de gustos); (iii) distintas formulaciones de la estructura familiar; (iv) disponibilidad efectiva de auto en el domicilio (considerando la razón entre el número de autos y el número de licencias de conducir en el hogar); y (v) factores subjetivos, no observables asociados a hábito, norma social, actitudes y percepciones, aproximados mediante variables latentes.

⁶ Restricción que limita la circulación en horario punta, según dígito de patente par o impar. En Santiago también existe una restricción vehicular, pero afecta básicamente a los vehículos no catalíticos que son una proporción muy pequeña del parque.

Estos modelos, que consideran la elección individual⁷ de modo, resultaron con una estructura distinta en ambas ciudades: un modelo logit multinomial (MNL) en Bogotá, y un modelo logit anidado (NL) en Santiago, con un nido que agrupaba a los tres modos asociados a transporte privado (auto-chofer, auto-acompañante y motocicleta⁸). Adicionalmente, en Bogotá se consultó a los usuarios de auto-chofer, qué harían en caso de no poder utilizar el vehículo debido a la restricción de *Pico y Placa*, agregando como alternativas, además de posponer o diferir el viaje, usar “otro automóvil del hogar” o “el mismo auto, pero cambiando de horario”. La búsqueda de la mejor especificación exigió probar diversas formulaciones y variables, y contrastarlas según los indicadores de ajuste pertinentes (Ortúzar y Willumsen, 2011, Cap. 8).

Para incorporar las variables latentes se utilizó un modelo *Multiple Indicator Multiple Cause* (MIMIC, por sus siglas en inglés, Bollen, 1989), estimado en forma conjunta con el modelo logit de elección de modo. Para ello se utilizaron los insumos del tercer módulo de la encuesta, donde se consultaba sobre 58 factores subjetivos, agrupados en los cinco subgrupos mencionados anteriormente: (i) afirmaciones de percepción sobre los principales modos alternativos; (ii) actitudes afectivas y sociales hacia el automóvil; (iii) afirmaciones asociadas al hábito en el uso cotidiano del vehículo; (iv) necesidades específicas de uso; y (v) afirmaciones asociadas a la percepción del uso de la bicicleta.

2.2.2 Modelos de tenencia (posesión de vehículo particular)

Para analizar la posesión de vehículo en los hogares también se optó por modelos de tipo desagregado⁹, y en búsqueda de la mejor especificación se probó distintos enfoques econométricos de modelación recomendados en la literatura, observándose el mejor desempeño al utilizar modelos de elección discreta (se probaron modelos ordinales y de conteo, que según se esperaba,

⁷ La literatura sobre elección modal en viajes urbanos muestra diversos enfoques de modelación. De especial interés es la modelación de *cadena*s de viajes, y viajes ligados multiusuario, pues existe evidencia que *tours* más complejos - asociando actividades no laborales con el viaje al trabajo - favorecen el uso del automóvil (Ye et al., 2007). En los modelos de elección planteados, se incorporó variables relacionadas con la estructura del viaje, que constituyen un acercamiento simplificado al tipo de efecto esperado.

⁸ Los modos considerados fueron: auto-chofer, auto-acompañante, motocicleta, Metro o Transmilenio (solo o combinado con otros modos), Bus (solo o combinado con otros modos distintos del metro; Buses SITP o Provisional, en Bogotá), Taxi, Taxi Colectivo (solo en Santiago), servicios de aplicaciones móviles (como Uber), caminata y bicicleta (incluyendo *scooters*). Se consideró la bicicleta y servicios de aplicaciones, pues presentan características muy distintas al transporte público mayor y han crecido mucho en su uso.

⁹ Utilizan información que puede considerarse “individual” (a nivel del hogar) para examinar la posesión de automóviles, y no información agregada, por ejemplo, a nivel zonal.

no entregaron resultados satisfactorios en términos de ajuste y confiabilidad estadística). En el caso de Santiago, la mejor estructura resultó ser un modelo híbrido de elección discreta con tres alternativas: no poseer auto, poseer uno, y poseer dos o más vehículos en el hogar. En el caso de Bogotá, en cambio, la tenencia de automóvil particular se observa asociada casi exclusivamente a los estratos de mayor nivel de ingreso, y para los estratos restantes es muy importante el uso y adquisición de motocicleta. Por tanto, el modelo de tenencia vehicular tuvo una especificación mixta con tres alternativas: tener solo motocicleta, tener solo automóvil (independiente de la cantidad), y tener automóvil y motocicleta simultáneamente (independiente de la cantidad de cada cual).

Para incorporar variables actitudinales a esta decisión, el modelo se calibró utilizando en forma simultánea dos fuentes de información: información masiva de viajes provenientes de las últimas encuestas de movilidad disponibles en ambas ciudades, y una muestra complementaria de encuestados participantes del estudio (aquellos que eran jefes o jefas de hogar). Estos modelos se discuten en detalle más adelante.

3 Contexto Local y Aplicación del Instrumento

3.1 Caracterización de las ciudades

La selección de las dos ciudades de ALC - la conurbación de Bogotá, ciudad capital de Colombia y el área metropolitana de Santiago, capital de Chile - se basó en que presentan realidades distintas en cuanto a: (i) la proporción de uso del automóvil; (ii) la configuración de un sistema de transporte masivo distinto, especialmente debido al rol de la red de Metro (bajo la superficie) en Santiago; (iii) el ingreso per cápita y, por tanto, grado de acceso al automóvil particular; y (iv) las restricciones a la circulación del auto. Con respecto a esto último, Bogotá es una de las pocas ciudades de ALC con un sistema de restricción vehicular efectivo (*Pico y Placa*) y se caracteriza, también, por un uso sustancial de la motocicleta.

Santiago tiene una población superior a los 6,5 millones de habitantes en su área metropolitana. Se compone de 40 comunas, donde las más urbanizadas se concentran en el centro de la ciudad y las parcialmente urbanizadas en la periferia. Las comunas son diversas en cuanto a tamaño, población e ingreso (Santiago es una ciudad muy segregada) y también en cuanto a la cantidad de automóviles y cantidad de viajes por hogar. Los hogares se clasifican en quintiles según su nivel socioeconómico, siendo el primer quintil el de menor ingreso promedio.

Bogotá tiene más de 7 millones de habitantes. Está subdividida administrativamente en 19 *localidades* urbanas, que varían sustancialmente en cuanto a tamaño y población. Cada hogar se clasifica según su localización en uno de seis niveles socioeconómicos (conocidos como *estratos* en Colombia), siendo el estrato 1 el de menor ingreso promedio. Similar a Santiago, gran cantidad de estratos socioeconómicos se concentran en localidades de la zona norte, generando una diferencia significativa en el número de carros y cantidad de viajes entre las localidades de la ciudad.

En términos de sus sistemas de transporte, Santiago presenta una densa red de transporte público, con tarifa integrada entre buses y Metro. Este último tiene siete líneas, conformando una red de 140 km de longitud. En un año normal, el Metro traslada casi 2,7 millones de pasajeros diarios.

Por otro lado, Bogotá cuenta con un sistema masivo de transporte en buses tipo BRT (Transmilenio, con una extensión de 114,4 km), dos sistemas de buses (regulado y semi-regulado), y un sistema de cables. Todos estos constituyen el Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá (SITP). En condiciones normales, el SITP transporta a 4 millones de usuarios diarios en sus tres componentes.

3.2 Marco muestral

Dado el objetivo de este estudio, para definir el marco muestral se consideraron personas desde los 18 años, que poseyeran licencia de conducir y hubieran utilizado automóvil como conductor en un plazo preestablecido. El reclutamiento de usuarios se desarrolló a través de un panel de habitantes provisto por la empresa de estudios de mercado en línea Offerwise, con fuerte presencia en América Latina, 15 años en el mercado y panelistas en distintas zonas y estratos sociodemográficos (su panel cuenta con más de 300 mil participantes en las principales ciudades de Chile, y más de 400 mil en Colombia).

La muestra no intentó replicar las proporciones poblacionales o de los usuarios de automóvil de cada ciudad, en cuanto a variables sociodemográficas o localización geográfica, sino que se buscó que fuera bien distribuida, con tamaños mínimos de los estratos socioeconómicos y demográficos, y con énfasis en encuestar personas que residieran en los distintos sectores de cada ciudad. La Figura 2 detalla la cobertura geográfica de las 480 encuestas recolectadas en cada ciudad.

La representatividad de cada estrato fue corregida en los análisis estadísticos y al estimar los modelos de comportamiento, de acuerdo con la representatividad observada en la última encuesta de movilidad disponible de cada ciudad.

4 Análisis Estadístico del Uso del Automóvil en Bogotá y Santiago

Con base en los datos recabados por las encuestas realizadas en Bogotá y Santiago, en esta sección se analiza el comportamiento y preferencia de los potenciales usuarios de automóvil en ambas ciudades. La Tabla 1 presenta la nomenclatura que se utilizará a continuación.

Figura 2: Localización geográfica de hogares encuestados

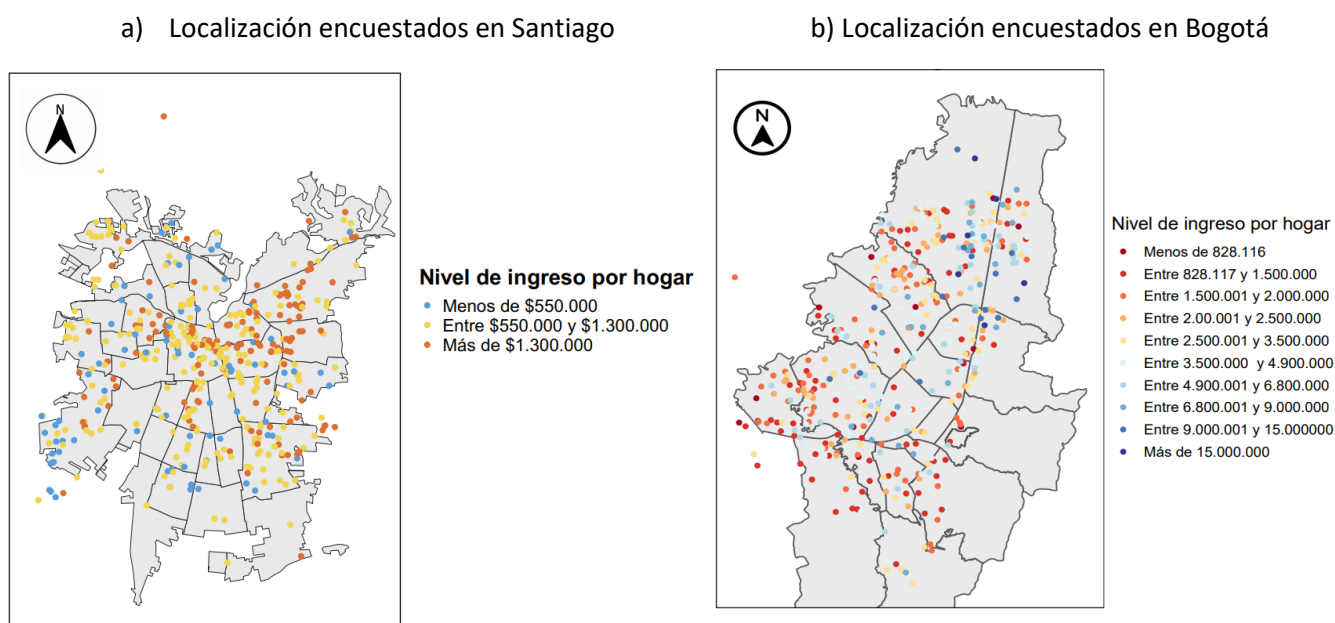


Tabla 1: Tipos de viajes analizados

Tipo de viaje	Definición
Viajes Tipo 1	Se asocian a actividades frecuentes, con ubicación y tiempo fijo
Viajes Tipo 2	Tienen destino con ubicación u horario variable
Viajes ligados (VL)	Indican que el individuo suele realizar un segundo viaje a otra actividad
Con paradas intermedias (PI)	Paradas intermedias que no consideran mayores desvíos en su ruta

4.1 Santiago

De acuerdo a la encuesta, en la partición modal del total de viajes reportados destaca el automóvil como chofer con un 45% de los casos, seguido de auto como acompañante y Metro¹⁰, con 16% y 15%, respectivamente. El resto de los modos motorizados y los modos activos (caminata y bicicleta) tienen una baja preferencia (no superior al 7%)¹¹. No se aprecian cambios relevantes en la tendencia general de la partición modal al separar por tipo de viaje, aunque Metro tiene una mayor presencia

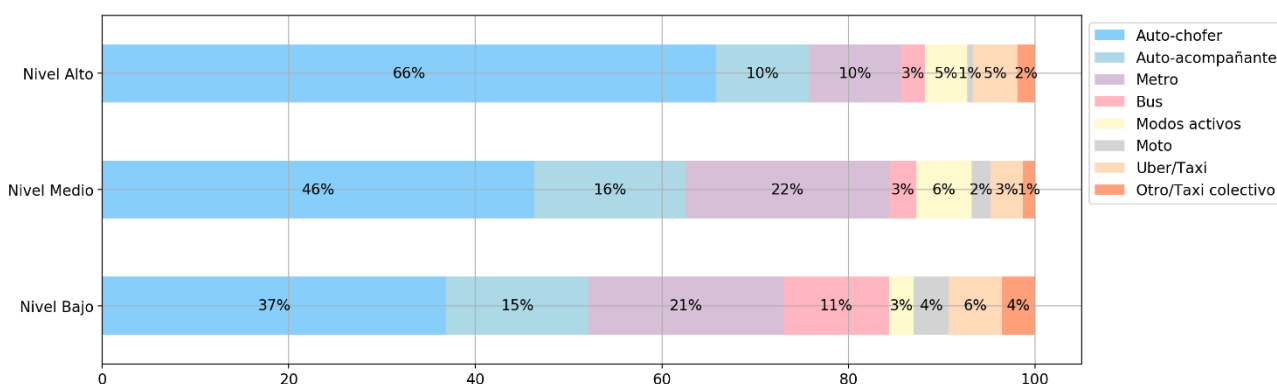
¹⁰ Independiente del modo de acceso. Viaje multimodal que incluya una etapa en Metro.

¹¹ Se analizan solo viajes superiores a los 500 m de distancia.

relativa en los viajes de Tipo 1. Resultado similar se observa en la submuestra de viajes realizados por personas que declaran tener automóvil disponible para el viaje (representan 87,2% del total), aunque obviamente aumenta la proporción de auto particular en desmedro de los otros modos.

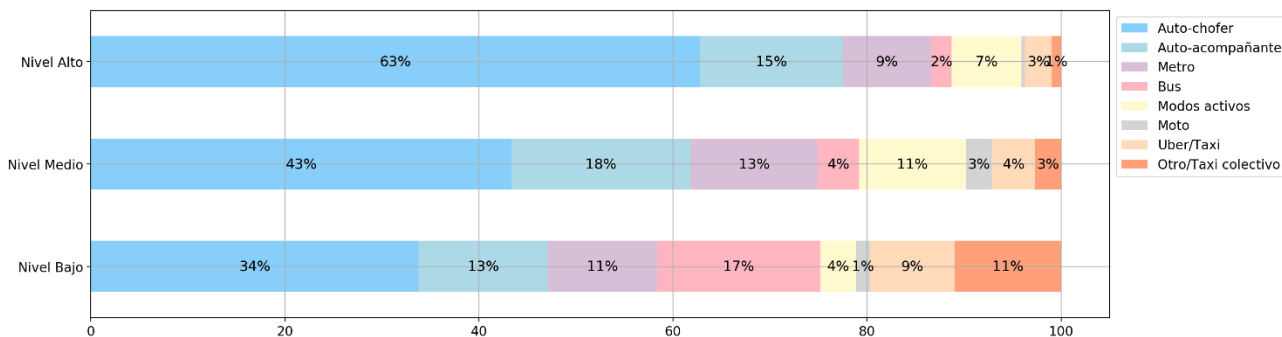
Al analizar la relación de la partición modal con el nivel de ingreso, se observa que en hogares de ingreso alto el modo preferido es automóvil como chofer con un 64% y como acompañante con un 13%. Si bien en los otros niveles esta preferencia se mantiene, el porcentaje conjunto es cada vez menor a medida que disminuye el ingreso (Figura 3 y Figura 4, según tipo de viaje).

Figura 3: Partición modal viajes Tipo 1 según nivel de ingreso del hogar - Santiago



Al igual que en los viajes de Tipo 1, para viajeros de ingreso alto, el modo preferido en viajes de Tipo 2 es también auto-chofer, con 63% (Figura 4). Esta preferencia se mantiene en los niveles medio y bajo, aunque en menor porcentaje. El transporte público (Metro y/o Bus) aumentan su partición modal en los niveles medio y bajo.

Figura 4: Partición modal viajes Tipo 2 según nivel de ingreso del hogar - Santiago



Si se considera la partición modal observada en los viajes reportados según género y edad del individuo (Figuras 5 y 6), el modo Uber/Taxi toma relevancia para personas de mayor edad y género

femenino. Entre los jóvenes, ganan importancia los modos activos y el Metro, en especial para el género masculino.

Figura 5: Partición modal según género del viajero - Santiago

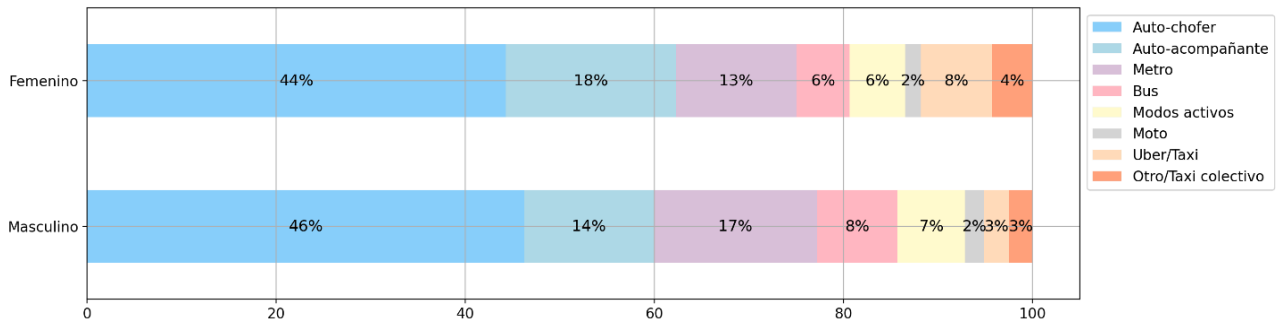
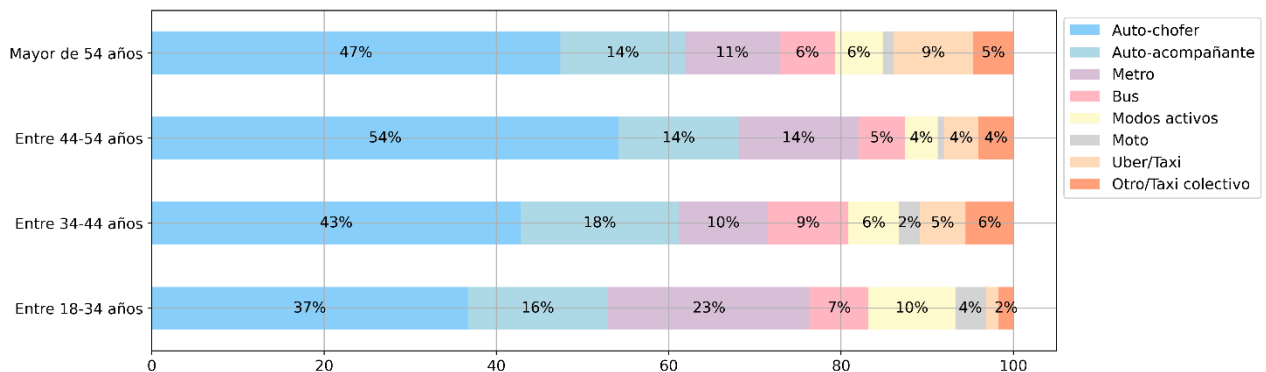


Figura 6: Partición modal según edad del viajero - Santiago



Por su parte, si se consideran los modos mencionados como segunda y tercera opción -cuando el automóvil como chofer no está disponible- es posible notar (Figura 7) que modos como Uber/Taxi aumentan su partición, alcanzando un 23% de las respuestas totales (respecto a 18% de Metro y 17% de auto-acompañante), y que la posibilidad de posponer el viaje aumenta considerablemente en los viajes Tipo 2 (15%).

Otro resultado relevante de la encuesta es la fuerte presencia de viajes complejos. Del total de viajes reportados, 23% corresponden a viajes ligados (VL) y 30% presenta paradas intermedias (PI)¹². Comparativamente, en estos casos hay mayor preferencia por el uso del automóvil, y por los modos activos y Uber/taxi (Figura 8).

¹² Es posible que un viaje presente ambas características, por esto los viajes complejos son alrededor de 37%.

Figura 7: Modos alternativos (segunda y tercera opción) para usuarios auto-chofer¹³

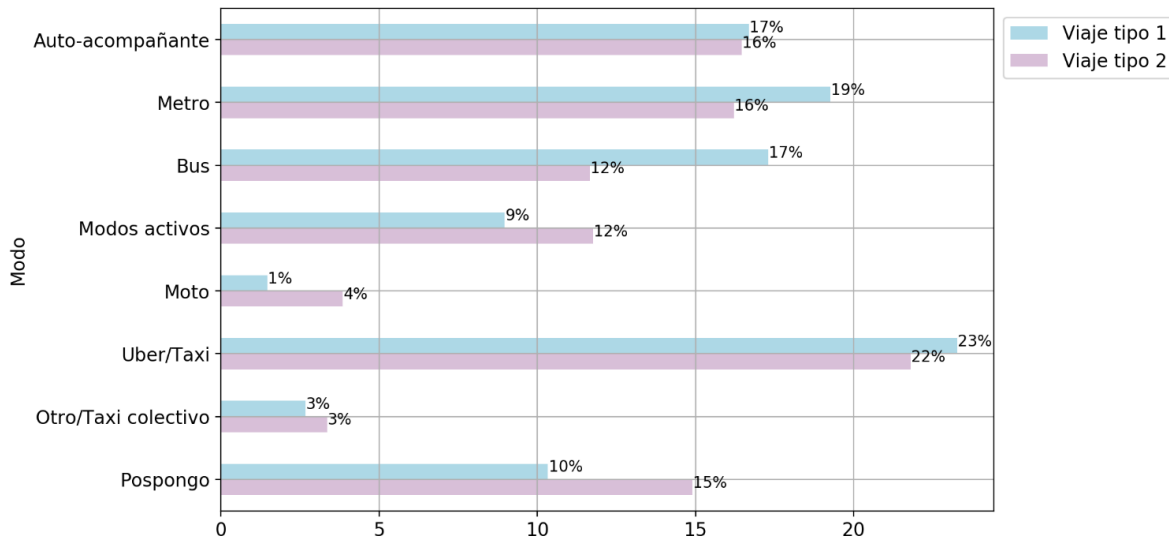
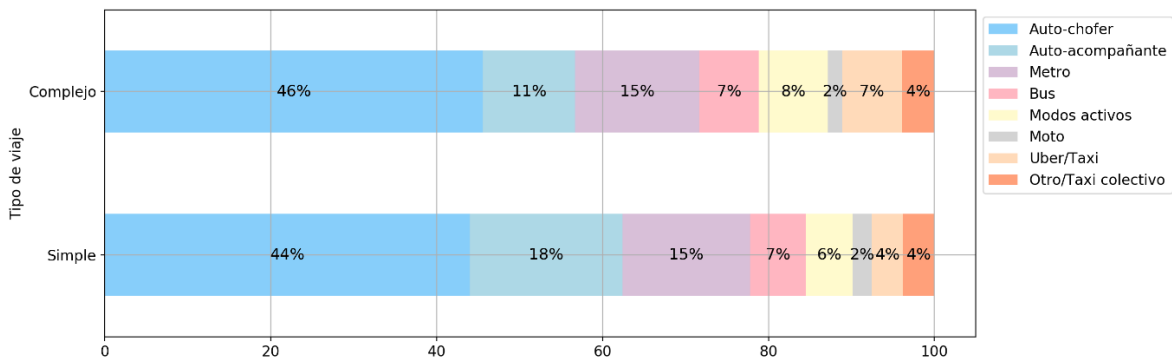


Figura 8: Partición modal según complejidad del viaje - Santiago

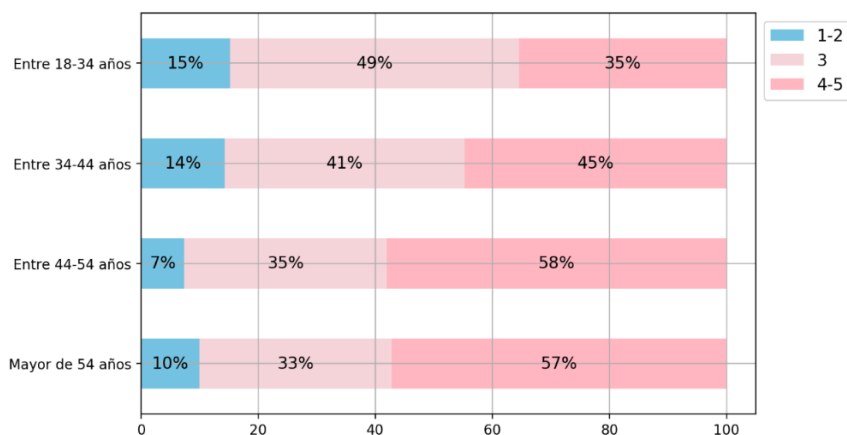


Como se mencionó anteriormente, la encuesta también incluyó indicadores actitudinales, relativos a la percepción de los modos y descripciones actitudinales de los usuarios. Para generar la puntuación, las respuestas en escala Likert se convirtieron a puntos del 1 al 5, donde 1 era “Muy en desacuerdo” y 5 “Muy de acuerdo”, y se calculó el promedio. Es interesante constatar que las puntuaciones para el indicador denominado *norma social*, referido a afirmaciones tales como “mis amigos y familiares suelen viajar en auto” y “mis amigos y familiares validan viajar en auto”, son superiores para el grupo mayor de 54 años respecto al grupo entre 18 y 34 años. A su vez, la puntuación del transporte público es ligeramente menor para el grupo mayor de 54 años que para el resto y, para este mismo grupo, la puntuación del automóvil es alrededor de medio punto mayor

¹³ Los porcentajes son relativos a la cantidad de viajes de Tipo 1 y Tipo 2, según corresponda.

que para los otros grupos. Lo mismo puede decirse de la proporción de viajeros que otorga puntuaciones promedio superiores a 3,5 (respuestas 4 y 5) al indicador de *necesidad*¹⁴ percibida, que aumenta con la edad (Figura 9). Por otro lado, los modos activos (bicicleta y caminata) son elegidos porcentualmente más entre quienes tienen una baja puntuación de hábito por automóvil.

Figura 9: Puntuación de *necesidad* percibida, según tramo etario del viajero - Santiago



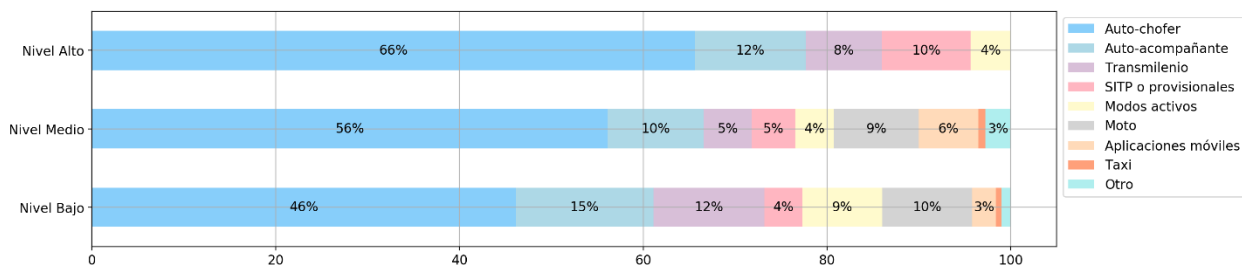
4.2 Bogotá

En el caso de Bogotá, los datos de la encuesta también sugieren que el modo principal utilizado en los viajes reportados es el automóvil como chofer con 54%, seguido de auto como acompañante (14,1%) y motocicleta (8,2%). No se aprecian cambios relevantes al separar por tipo de viaje, aunque Transmilenio y SITP tienen mayor presencia relativa en viajes de Tipo 1 que de Tipo 2, reduciéndose ligeramente el uso del automóvil. Un resultado análogo se obtiene al examinar la submuestra de viajes realizados únicamente por quienes declaran tener disponible el automóvil para el viaje, que representan el 88,5% del total, siendo automóvil como chofer preferido por 61% en promedio.

Al analizar la partición modal de acuerdo con el nivel de ingreso, se observa que, en hogares con ingreso alto, el auto-chofer es el modo preferido para viajes de Tipo 1, con un 66% de los viajes (Figura 10). Si bien en los otros niveles esta preferencia se mantiene, el porcentaje es cada vez menor y comienza a tomar relevancia Transmilenio y la motocicleta.

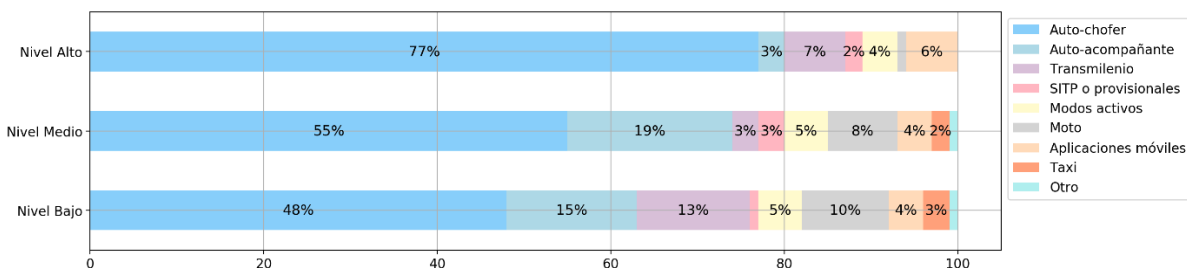
¹⁴ Compuesto por distintas razones que se asocian a la necesidad de usar auto (que permite transportar a otros, llevar cómodamente las cosas, ofrece protección frente al mal clima, otorga flexibilidad, distanciamiento social, entre otros).

Figura 10: Partición modal viajes Tipo 1 según nivel de ingreso del hogar - Bogotá



Al igual que en los viajes de Tipo 1, para viajeros de ingreso alto, el modo preferido para viajes de Tipo 2 es también auto-chofer, con 77% (Figura 11). Esta preferencia se mantiene en los niveles medio y bajo, aunque en menor porcentaje. Transmilenio y la motocicleta aumentan su participación modal en los niveles medio y bajo.

Figura 11: Partición modal viajes Tipo 2 según nivel de ingreso del hogar - Bogotá



En las Figuras 12 y 13, se presenta la participación modal según género y edad del viajero, observándose una mayor preponderancia masculina en el uso de automóvil como chofer (y también de la motocicleta), a diferencia de lo observado en Santiago (donde se observaba mucho más parejo). El incremento del uso del automóvil como chofer con la edad, resulta mucho más notorio que en Santiago.

Figura 12: Partición modal según género del viajero - Bogotá

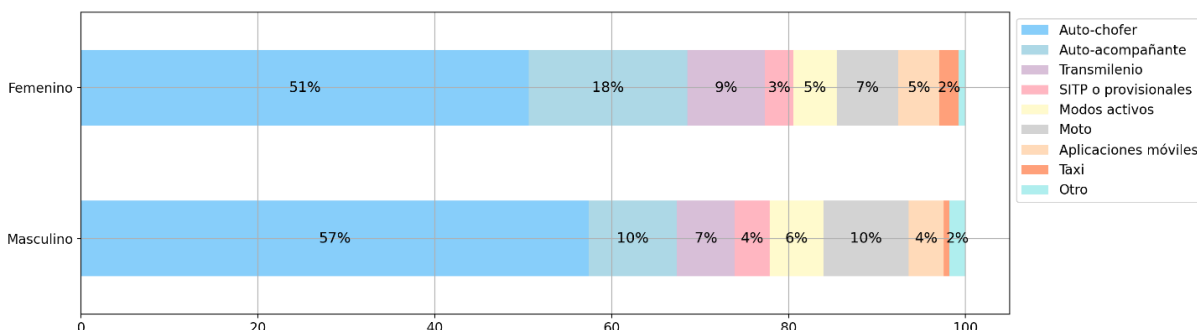
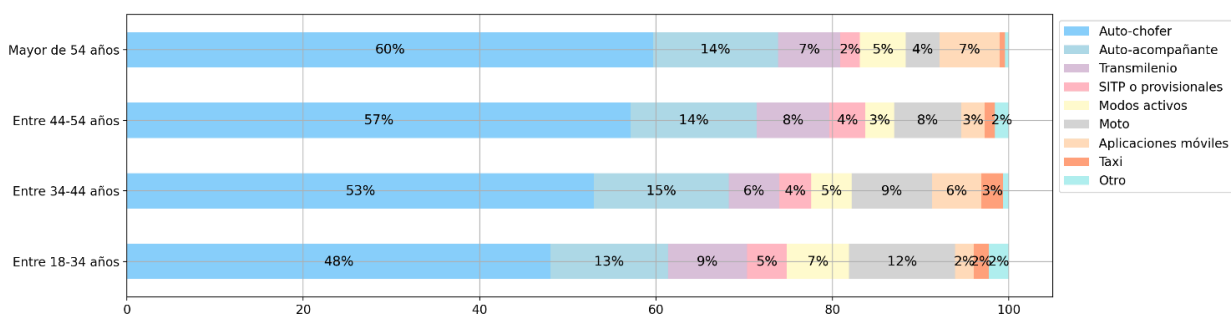
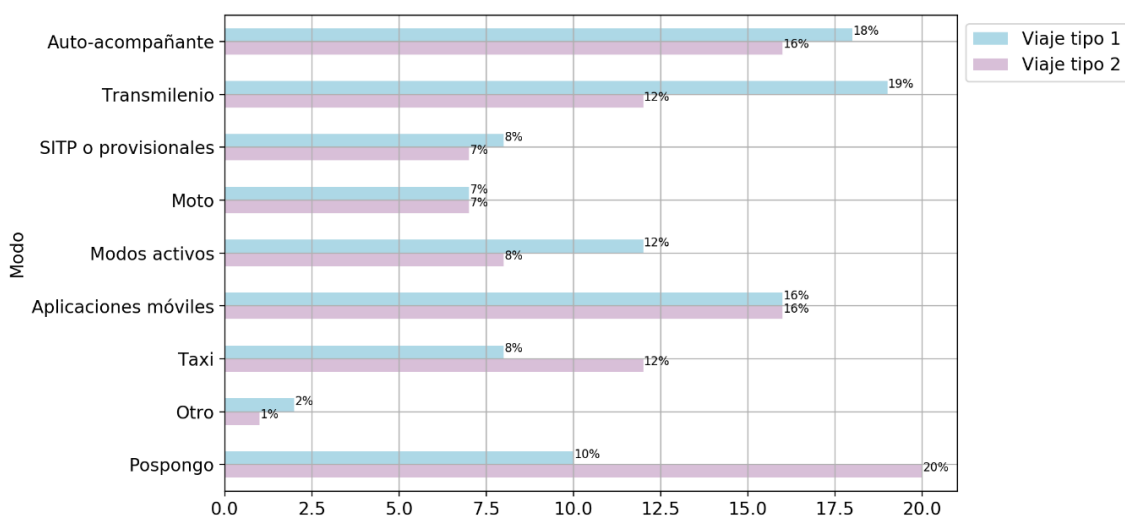


Figura 13: Partición modal según edad del viajero - Bogotá



Al agrupar los modos escogidos como segunda y tercera preferencia -cuando el modo elegido auto-chofer no está disponible- es posible notar que Transmilenio es el modo más relevante para viajes de Tipo 1, seguido de cerca por auto-acompañante y aplicaciones móviles. En cambio, en viajes de Tipo 2, la posibilidad de posponer es la elección más atractiva con un 20% (Figura 14).

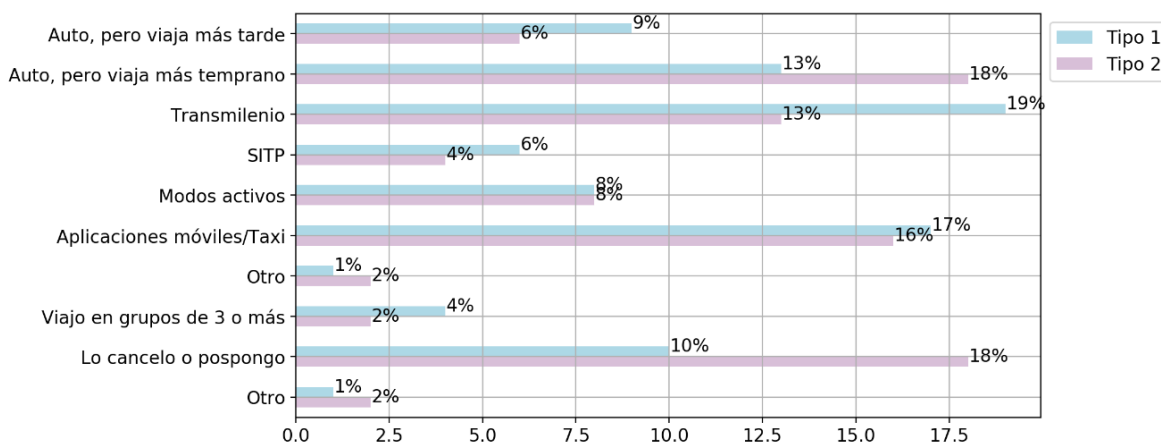
Figura 14: Modos alternativos (segunda y tercera opción) para usuarios auto-chofer¹⁵



En el caso de la restricción vehicular establecida por la medida de *Pico y Placa*, se consultó sobre la forma en que realizaría el viaje (si igualmente lo realizaría en automóvil o qué modo alternativo utilizaría). Para viajes de Tipo 1, 22% continuarían utilizando auto haciendo cambios en el horario de viaje, 20% utilizarían Transmilenio como alternativa y 17% aplicaciones móviles/taxi (Figura 15).

¹⁵ Los porcentajes son relativos a la cantidad de viajes Tipo 1 y Tipo 2, según corresponda.

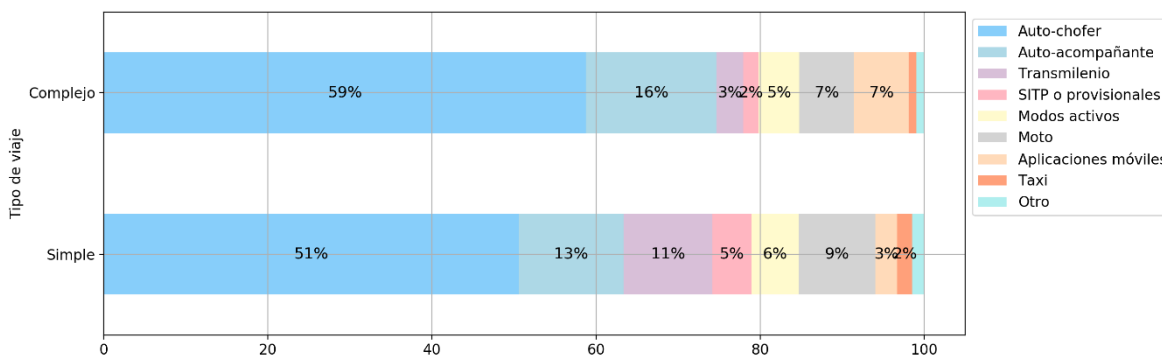
Figura 15: Modos alternativo ante restricción de Pico y Placa - Bogotá



Algo similar ocurría con los viajes de Tipo 2, pero con una mayor participación de “lo cancelo o pospongo”, con un 18%.

En Bogotá también se detecta la existencia de viajes complejos en auto. En efecto, del total de viajes registrados, 24% son viajes ligados (VL) y 34% tienen paradas intermedias (PI). Para estos viajes, auto-chofer y auto-acompañante se utilizan en un porcentaje relativo mayor, respecto de los viajes simples, mientras que la participación de Transmilenio y SITP descienden drásticamente (Figura 16).

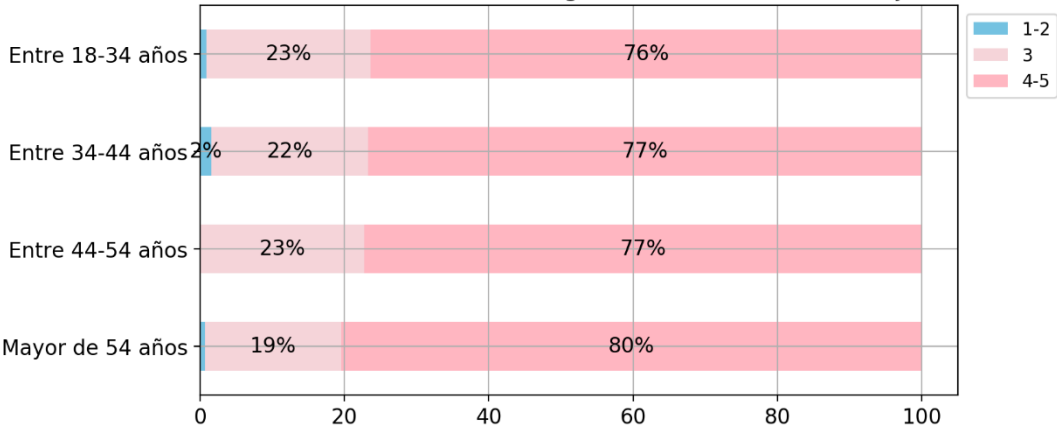
Figura 16: Partición modal según complejidad del viaje - Bogotá



En relación con los indicadores actitudinales, la puntuación para *norma social* es ligeramente inferior en el grupo entre 18 y 34 años; mientras que la evaluación otorgada al transporte público en este grupo es ligeramente mejor que la del resto. Por otro lado, la puntuación de la motocicleta es, en promedio, medio punto menor para el grupo mayor de 54 años respecto al grupo más joven. Además, la participación modal de transporte público es mayor entre quienes le asignan una mejor evaluación (puntuación superior a 3,5).

En la Figura 17 se observa que el grupo de más edad tiene una mayor proporción de viajeros que presentan puntuaciones promedio superiores a 3,5 en el indicador de *necesidad* (aproximadas a 4 y 5 según corresponda), aunque esta diferencia etaria no es tan marcada como en Santiago. Se observa, en general, puntuaciones mayores para el indicador de *necesidad* en Bogotá, posiblemente debido a que un mayor número de las razones consideradas en el indicador resultan de alta importancia para los usuarios¹⁶.

Figura 17: Puntuación de necesidad según tramo etario del viajero - Bogotá



Respecto a la relevancia de la motocicleta, se logró establecer que 60% de los viajeros que había adquirido una moto, consideraba a la restricción de *Pico y Placa* un factor importante o muy importante en su decisión. Además, quienes poseen motocicleta son mayormente hombres y personas trabajadoras o estudiantes. En este sentido, es importante destacar que la adquisición de motocicletas disminuye con la edad.

¹⁶ Recuérdese que el indicador de necesidad tiene asociadas distintas razones: permite transportar a otros, llevar cómodamente las cosas, ofrecer protección frente al mal clima, otorgar flexibilidad, distanciamiento social, entre otros.

5 Modelos para la Ciudad de Santiago

Esta sección da cuenta de los modelos de tenencia y uso de automóvil estimados para la ciudad de Santiago. Para el modelo estratégico (de tenencia), el modelamiento se realizó utilizando además datos de la encuesta de movilidad más reciente disponible en la ciudad (Encuesta Origen Destino 2012 de Santiago, EOD-2012¹⁷).

5.1 Modelo táctico de elección modal

Con los viajes reportados por los usuarios encuestados, se estimó modelos de elección modal que abordan la decisión táctica sobre el modo de transporte a utilizar en viajes de distinto tipo, según las alternativas de viaje detalladas a continuación. Luego de numerosas iteraciones, donde se probaron múltiples variaciones a la especificación del modelo, se obtuvo el mejor ajuste mediante un modelo híbrido de elección discreta de tipo logit jerárquico¹⁸ que incorpora variables latentes.

5.1.1 Supuestos y datos del modelo

El conjunto de alternativas disponibles para la elección modal era el siguiente:

- Auto-chofer: Corresponde a realizar el viaje completo en automóvil, conduciendo.
- Auto-acompañante: Viaja como acompañante en automóvil, pero no es un servicio pagado.
- Motocicleta: Corresponde a realizar el viaje completo en motocicleta.
- Metro: Corresponde a usar Metro como modo principal (puede incluir otros modos).
- Taxi: Hacer el viaje en taxi tradicional, tomándolo en la calle.
- Aplicaciones móviles: Viajar utilizando servicios pagados como Uber, Didi, Cabify u otras.
- Taxi-colectivo: Viaje completo en taxi-colectivo.
- Caminata: Viaje completo caminando.
- Bicicleta: Usar bicicleta o scooter para el viaje completo.
- Otro modo.

¹⁷ La EOD 2012 es la última encuesta de movilidad disponible para la ciudad de Santiago, y se considera pertinente para este modelo a pesar de ser antigua, porque se estudia la decisión estratégica de tenencia de carro, bajo consideraciones de nivel socioeconómico, estructura del hogar y localización. Es importante notar también, que la información de esta encuesta es posterior a la puesta en operación del actual sistema integrado de transporte público en el año 2007.

¹⁸ Para su especificación, ver Ortúzar y Willumsen (2011, Cap. 7).

A cada encuestado se le preguntó cómo solía hacer el viaje que estaba describiendo para la actividad seleccionada, a partir de las actividades habituales que había declarado al iniciar la encuesta. Esta pregunta constaba de tres partes: primero se consultaba el modo escogido; luego, se preguntaba de qué otra forma podría realizar el viaje si no tenía disponible el modo escogido; y, finalmente, se volvía a consultar lo mismo, considerando que tampoco tuviera disponible el segundo modo reportado. En la segunda o tercera elección, el encuestado podía responder que pospondría o dejaría de realizar el viaje.

Para definir la disponibilidad de cada modo y sus niveles de servicio asociados, se utilizaron los siguientes criterios:

- Bus: se supuso que siempre estaba disponible.
- Caminata: para las personas menores de 55 años, todos los viajes con tiempo de caminata menor a 35 min, y para mayores de 55 años con tiempo de caminata menor a 30 min^{19, 20}.
- Auto-chofer: se consideró disponible si era el modo seleccionado o si el encuestado respondió afirmativamente a la consulta directa de si lo tenía disponible para el viaje específico.

El resto de los modos se consideró disponibles si fueron reportados como modos escogidos, si el entrevistado los utilizaba con alguna frecuencia (para bicicleta) y si respondió afirmativamente ante la consulta directa de ser usuario (para aplicaciones móviles).

Para determinar los niveles de servicio, se utilizaron tres API's de Google Maps: matriz de distancia, direcciones y geolocalización. Para estimar los tiempos de viaje de cada modo, se asumió que los viajes en horario punta mañana y punta tarde se iniciaban a las 07:30 y 18:30 de un día laboral, respectivamente. Para estimar los niveles de servicio de los viajes en horario fuera de punta, se consideró las 12:00 de un día laboral. Se consideró tiempos de espera y caminata, que fueron consultados directamente al encuestado en el caso del taxi, taxi colectivo y aplicaciones móviles.

Los costos de viaje fueron obtenidos de acuerdo con las tarifas reportadas en cada modo²¹. Para auto-chofer se consideró el costo de estacionamiento y se usó el rendimiento por tipo de vehículo para estimar los costos en combustible; auto-acompañante, bicicleta y caminata se consideraron gratuitos, y el costo de taxi-colectivo se calculó según la distancia del viaje (Domarchi *et al.*, 2019).

¹⁹ Valores calculados para tiempo de viaje en caminata por rango etario según EOD-2012.

²⁰ No se consideró viajes cuya distancia fuera menor a 750 m, lo que equivale a seis cuadras.

²¹ Para los modos Metro, bus, aplicaciones móviles y taxi.

5.1.2 Modelación

El modelo táctico, de elección de modo de transporte, consideró las 921 observaciones de viajes reportadas para Santiago. El modelo contiene variables explicativas tradicionales (tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de caminata, costo de viaje, y cantidad de transbordos), variables latentes (actitudinales y perceptuales), y constantes modales específicas (que captan todo aquello no explicado por las variables). El modelo con mejor ajuste posee una estructura jerárquica que agrupa los modos estrictamente privados (auto-chofer, auto-acompañante y motocicleta), mientras que el resto de los modos resultan independientes (no poseen correlación entre ellos).

Las variables sociodemográficas y de estructura del viaje utilizadas fueron las siguientes:

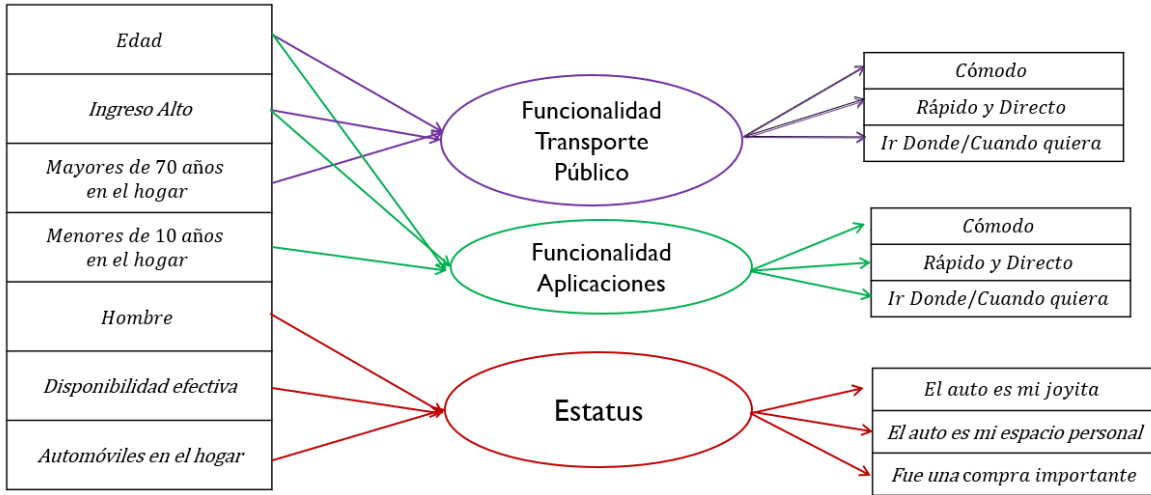
1. Ingreso: se utilizó el ingreso total del hogar dividiendo al costo. Esta variable también explica las variables latentes *funcionalidad de transporte público* y *funcionalidad de aplicaciones*.
2. Género: resultó significativo para las variables asociadas al *estatus* de usar automóvil.
3. Edad: resultó significativa en las variables latentes, como una variable continua.
4. Estructura del viaje: binaria, uno si el viaje es ligados (VL) o tiene paradas intermedias (PI).
5. Estructura del hogar: variable binaria, reporta si hay adultos mayores de 70 años en el hogar.
6. Tipo de viaje: variable binaria que incide en la utilidad de auto-chofer. Se activa para viajes Tipo 1, dejando los viajes Tipo 2 como referencia (toma valor cero).
7. Disponibilidad efectiva: razón entre el número de automóviles y el número de licencias de conducir en el hogar, con un máximo de 1.

La Figura 18 muestra las variables latentes que presentaron mejor ajuste e ilustra su relación con los indicadores de percepción que ellas explican (ecuaciones de medición) y con las características sociodemográficas que las explican (ecuaciones estructurales).

5.1.3 Resultados modelo elección modal - Santiago

La Ecuación (1) muestra la función de utilidad de las alternativas distintas a transporte público mayor, aplicaciones y auto-chofer. La Ecuación (2) muestra la utilidad para transporte público mayor y aplicaciones, y la Ecuación (3) la utilidad del modo auto-chofer.

Figura 18: Variables latentes del modelo híbrido - Santiago



$$V_i = \alpha_i + \beta_{TV}TV_i + \beta_{Cosing} \frac{Costo_i}{Ingreso} + \beta_{Transbordos}Transbordos_i \quad (1)$$

$$V_i = \alpha_i + \beta_{TV}TV_i + \beta_{Cosing} \frac{Costo_i}{Ingreso} + \beta_{Transbordos}Transbordos_i + \lambda^i_{Funcionalidad} Funcionalidad^i \quad (2)$$

$$V_i = \alpha_i + \beta_{TV}TV_i + \beta_{Cosing} \frac{Costo_i}{Ingreso} + \beta_{EV} \delta_{EV} + \beta_{Mayores70} \delta_{Mayores70} + \beta_{Tipo} \delta_{Tipo} + \beta_{DispAutos} \min\left(\frac{NVeh}{NLic}; 1\right) + \beta_{Transporta} \delta_{Transporta} + \lambda_{Estatus} Estatus \quad (3)$$

TV_i corresponde al tiempo total de viaje del modo i . En el auto-chofer, también se incorporan parámetros específicos de la estructura del viaje (EV), estructura del hogar (Mayores de 70 años), Tipo de viaje, Disponibilidad efectiva de automóvil, transportar a alguien y la variable latente $Estatus$. En los modos transporte público y aplicaciones, aparece la variable latente $Funcionalidad$. Las restantes variables de servicio son costo dividido por el ingreso y número de transbordos.

La Tabla 2 presenta el mejor modelo de elección modal estimado; como se puede ver los parámetros tienen signos coherentes y, en su mayoría, son significativos al 95% de confianza (test $t > 1,64$). En particular, la significancia estadística de las variables costo/ingreso (para otros modos) y transbordos es baja, sugiriendo que no son significativas al elegir modo²². Las constantes modales no significativamente distintas de cero (distintas de la constante de referencia) se eliminaron del modelo. Además, el modelo contiene parámetros específicos asociados a los modos auto-chofer,

²² Solo se mantuvieron en el modelo para mostrar este leve efecto.

aplicaciones, Metro y bus (que se agregan a las constantes). Por su parte, el parámetro estructural del nido transporte privado está entre 0 y 1, acorde a la teoría. Que el resto de los modos no exhiba suficiente correlación entre sí como para poder agruparlos, implica que estos se perciben como muy diferentes entre sí.

Tabla 2: Parámetros estimados en modelo de elección modal - Santiago

	Parámetro	Valor	Test-t
Constantes modales	Uber y apps	-1,01	-3,07
	Bicicleta	-0,75	-3,03
	Auto-chofer	1,49	4,67
	Metro	1,82	9,76
	Motocicleta	2,05	6,34
	Auto-acompañante	2,16	9,67
Niveles de servicio	Costo/ingreso automóvil y motocicleta	-0,23	-1,07
	Costo/ingreso otros modos	-0,10	-0,68
	Tiempo de viaje	-0,01	-3,71
	Transbordos	-0,08	-0,83
Parámetros específicos a automóvil como chofer	Disponibilidad efectiva	0,95	3,59
	Estructura de viaje	0,30	2,21
	Tipo I	0,17	1,98
	Transportar a alguien	0,36	2,32
	Mayores de 70	0,61	2,52
Variables latentes	Funcionalidad transporte público	0,32	2,48
	Funcionalidad Uber y aplicaciones	1,04	4,41
	Estatus del automóvil	0,32	2,68
Variables explicativas de las variables latentes	Funcionalidad TP - Edad	-0,01	-3,11
	Funcionalidad TP - Mayores de 70	0,42	3,68
	Funcionalidad TP - Ingreso Alto	-0,29	-2,78
	Funcionalidad Apps - Edad	-0,01	-1,79
	Funcionalidad Apps - Menores de 10	-0,26	-3,20
	Funcionalidad Apps - Ingreso Alto	0,13	1,75
	Estatus – Hombre	0,25	2,51
	Estatus – Disponibilidad efectiva	0,28	1,82
	Estatus - Vehículos en el hogar	0,11	1,64
	Nido moto y autos	0,62	2,14
	Log-verosimilitud final	-908,58	-

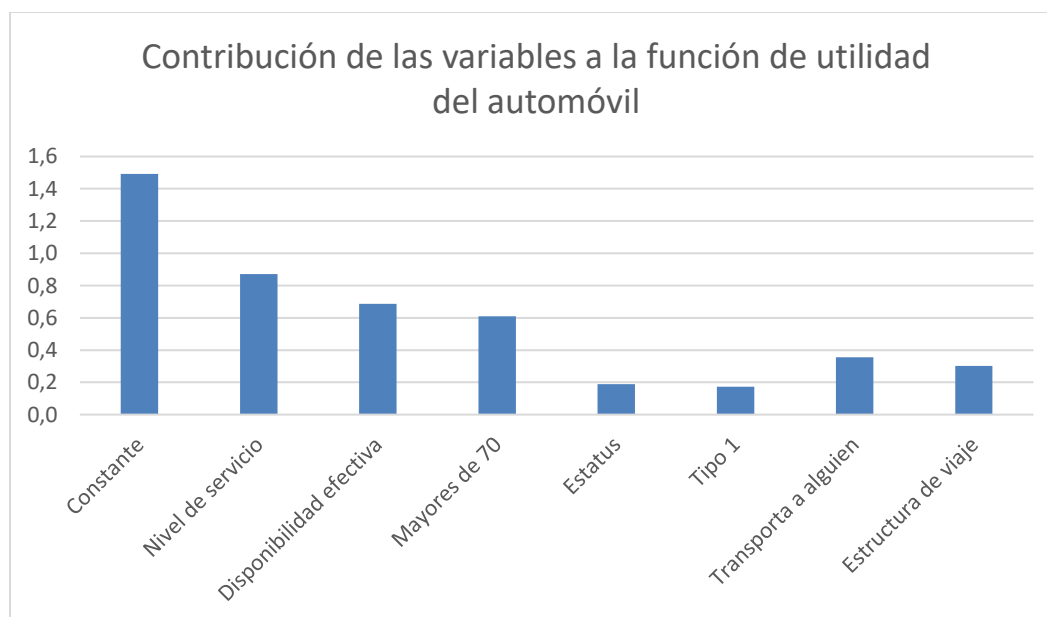
Los viajes Tipo 2 son la clase de referencia. El signo de esta variable indica que este tipo de viajes tiene menor probabilidad de hacerse en automóvil (si todo lo demás es constante). Esto contrasta con lo que se presentará más adelante en el modelo de Bogotá, donde se estima menos probable realizar los viajes de Tipo 1 en automóvil. Posiblemente esto se deba a que, a diferencia de ese caso, en Santiago no hay desincentivos a utilizar el automóvil en horarios punta, o en zonas o momentos de congestión, donde, además, el transporte público mayor suele presentar su peor desempeño. De hecho, sin restricción vehicular, ni tarificación por congestión, solo el costo y la disponibilidad de estacionamiento dificultan el uso de automóvil en horas punta o por extensos períodos del día, y aunque en zonas de alta atracción los estacionamientos son caros, muchas personas disponen de estacionamientos para sus viajes obligados.

El mejor desempeño del sistema de transporte público en horario fuera de punta también pudiera explicar el resultado de menor preferencia de automóvil para viajes no obligados o más flexibles.

Los parámetros específicos asociados a hogares con adultos mayores de 70 años, y a viajes con paradas intermedias o viajes ligados, o asociados a transportar a alguien, también tienen signo positivo. Es decir, en todos esos casos, aumenta la probabilidad de realizar el viaje en automóvil.

La Figura 19 muestra la relevancia de cada componente de la función de utilidad, considerando un individuo promedio.

Figura 19: Contribución de las variables en la función de utilidad del automóvil - Santiago



La Tabla 3 hace una comparación de la probabilidad de elegir auto particular de acuerdo al modelo, tomando como referencia un individuo promedio. Se considera una estructura de viaje Tipo 2 simple, con Disponibilidad Efectiva de automóvil en el hogar en nivel medio, sin necesidad de transportar a alguien y sin presencia de adultos mayores en el hogar. En la segunda columna se observa cuánto aumenta la probabilidad si cualquiera de esas variables se activa.

Tabla 3: Variación en la probabilidad de utilizar automóvil - Santiago

Probabilidad de usar automóvil para viaje promedio		
Característica	Caso promedio	Caso promedio donde la característica está presente
Estructura de viaje compleja	39,96%	44,83%
Viaje de tipo 1	39,96%	42,74%
Alta disponibilidad de automóvil	39,96%	44,17%
Transporta a alguien	39,96%	45,72%
Mayores de 70 en el hogar	39,96%	46,11%

Nota: el caso promedio representa un individuo que realiza un viaje Tipo 2 simple, con disponibilidad efectiva de automóvil en el hogar en nivel medio, sin necesidad de transportar a alguien, sin presencia de adultos mayores en el hogar, y que irrealmente posee todas las alternativas disponibles. Esta Tabla se presenta solo para observar las variaciones porcentuales de la probabilidad de elección dependiendo del contexto del viaje. Por ejemplo, si el sujeto promedio realiza un viaje complejo en lugar de un viaje simple, la probabilidad de usar automóvil aumenta de 39,96% a 44,83%.

Finalmente, respecto a los componentes actitudinales, cada variable latente presente en el modelo tiene parámetro positivo. Esto indica que, al aumentar el *estatus* o la *funcionalidad* percibida de un modo, su probabilidad de elección aumenta. En particular, la *funcionalidad* percibida de transporte público disminuye con la edad del usuario. Del mismo modo, personas de hogares con ingreso alto perciben una *funcionalidad* más baja de transporte público. No obstante, si hay personas mayores de 70 años en el hogar, la *funcionalidad* percibida del transporte público aumenta y resulta más probable escoger dichos modos. Si un usuario joven promedio, que dispone de automóvil y transporte público entre sus alternativas de viaje, pasara de tener ingreso medio a ingreso alto en su hogar, la probabilidad de usar transporte público mayor disminuiría de 18% a 13%.

La *funcionalidad de aplicaciones móviles* como Uber, se percibe como más alta para usuarios jóvenes y usuarios de ingreso alto, y más baja cuando existen hijos menores de 10 años en el hogar²³. Para una persona joven promedio que dispone de automóvil, transporte público y aplicaciones entre sus alternativas, la probabilidad de elegir aplicaciones móviles aumentaría en 1%, aproximadamente, si su ingreso pasara de medio a alto. Este valor, relativamente pequeño, se debe a que la probabilidad de elegir aplicaciones móviles es, en sí misma, muy pequeña.

La preferencia por el automóvil es explicada especialmente por el nivel de *Estatus*²⁴ que el usuario asigna al automóvil, el cual es más elevado para hombres y presenta una relación positiva con la motorización del hogar. Si consideramos un hombre promedio de la muestra, el aumento de un vehículo en su hogar genera un aumento en probabilidad de elegir automóvil de 38% a 43%, en parte explicado por la relación con el nivel de *Estatus* esperado.

Finalmente, la disposición al pago por ahorrar tiempo de viaje (valor subjetivo del tiempo) que se puede inferir del modelo, se calcula como la razón entre los parámetros del tiempo de viaje y del costo (Gaudry *et al.*, 1989). Como el costo se dividió por el ingreso del hogar, para hogares de ingreso bajo (Ch\$ 400.000) el estimador puntual del valor subjetivo del tiempo resultó ser 2,26 USD/hora. Para hogares de ingreso medio (1.253 USD) alcanzó a 5,66 USD/hora y para hogares de ingreso alto (2.506 USD) a 11,32 USD/hora de viaje. Aunque el orden de magnitud de estos valores es consistente con la literatura (ver la discusión en Jara-Díaz *et al.*, 2005), sus intervalos de confianza son bastante altos, dados los errores estándar de cada parámetro (Armstrong *et al.*, 2001).

5.2 Modelo estratégico de tenencia de automóvil

Estos modelos se estimaron utilizando información proveniente de dos bancos de datos:

1. La Encuesta Origen-Destino de Viajes de Santiago (EOD-2012), que contiene información sobre la composición socioeconómica de los hogares, características de transporte (posesión de vehículo y licencia de conducir) y los viajes realizados por cada integrante en un día específico, incluyendo origen, destino, propósito y modos de transporte utilizados.

²³ En Santiago no se permite circular con menores sin silla especial, y los servicios de vehículos livianos por aplicación (tipo Uber) no suelen disponer de estos elementos (existe Uber Kids, en ese proveedor, pero con bajísima oferta efectiva). Por esto, la posibilidad de utilizar estos servicios cuando se viaja con niños menores depende del chofer, a riesgo de multa. Por esta razón el resultado observado (signo negativo) es esperable.

²⁴ Los indicadores que definen *Estatus* son “mi auto es mi joyita”, “mi auto es mi espacio personal” y “comprar auto fue importante para mí”.

2. La encuesta recopilada en el marco del presente estudio, que contiene información sobre 489 hogares también localizados en el Área Metropolitana de Santiago.

5.2.1 Variables de modelación

5.2.1.1 Variable dependiente: tasa de motorización

La variable dependiente es la cantidad de vehículos disponibles por hogar. Un 60% de los hogares de la EOD-2012 declara no tener vehículo, y menos de 8% cuenta con más de un automóvil. La tasa media de motorización es 0,494 vehículos por hogar. En la encuesta del estudio, por su parte, se observa una tasa de motorización de 1,28 vehículos por hogar.

5.2.1.2 Variables independientes

La modelación consideró cuatro categorías de variables explicativas: (i) nivel de ingreso; (ii) estructura del hogar; (iii) atributos de accesibilidad; y (iv) variables actitudinales del jefe o jefa del hogar.

- Nivel de ingreso: se utilizó el ingreso familiar per cápita como un indicador del nivel socioeconómico. La literatura muestra que el ingreso correlaciona positivamente con la posesión de automóvil.
- Estructura del hogar: se analizó mediante diferentes variables, tales como la cantidad de trabajadores, cantidad de integrantes económicamente activos, cantidad de hijos, cantidad de integrantes menores de 14 años.
- Variables de accesibilidad y uso de suelo: se calculó la densidad de hogares como el número de hogares en radios de 500, 1000 y 1500 m desde el hogar del encuestado; el número de paraderos de buses en un radio de 300 m del hogar; el número de estaciones de Metro en un radio de 1 km alrededor del hogar; y un indicador de diversidad del uso de suelos.

Se utilizaron 16.720 observaciones, provenientes de la EOD-2012 de Santiago y 261 de la encuesta recopilada en este proyecto. Las variables explicativas que resultaron ser significativas se presentan en la Tabla 4.

5.2.2 Resultados modelo de tenencia - Santiago

En primer lugar, se estimó un modelo *logit multinomial* (MNL), donde las alternativas correspondían a tener cero, uno y dos o más vehículos. Se utilizó como referencia la alternativa de no tener un vehículo y se estimó coeficientes específicos para cada variable explicativa, dado que no se contaba con variabilidad de los atributos entre distintas opciones.

Tabla 4: Variables de modelación - Santiago

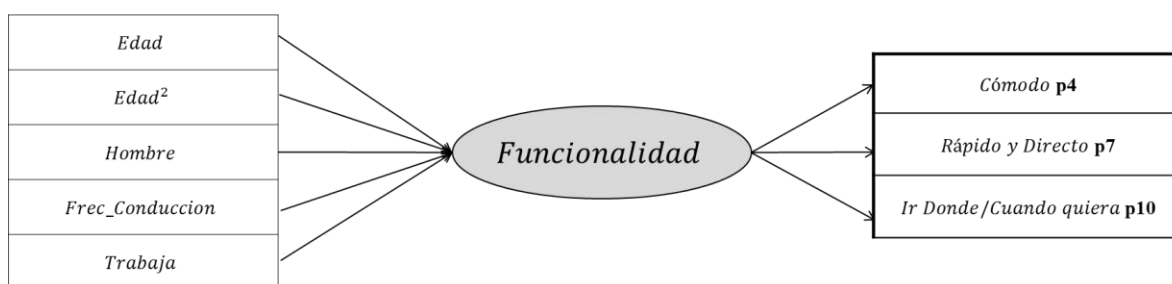
Tipo de variable	Variable	Forma funcional
Dependiente	Posesión de automóvil en el hogar	Variable categórica en tres niveles: 0 automóviles (<i>base</i>) 1 automóvil 2 o más automóviles
Ingreso	Estrato de ingreso per cápita	Variable categórica, con los siguientes niveles (en miles de pesos chilenos): 0: Menos de 65 (<i>base</i>) 1: Entre 65 y 125 2: Entre 125 y 150 3: Entre 250 y 500 4: Entre 500 y 750 5: Entre 750 y 1.500 6: Más de 1.500
Estructura del hogar	Estructura del hogar	Variable categórica en cuatro niveles: 1: Hogar unipersonal (<i>base</i>) 2: Hogar sin hijos. 3: Hogar con hijos, todos menores de 14 años 4: Hogar con hijos en que al menos uno de ellos es mayor de 14 años
	Personas activas	Variable de tamaño (continua), igual al número de personas laboralmente activas en el hogar
	Personas no activas	Variable de tamaño (continua), igual al número de personas no activas en el hogar
Accesibilidad y uso de suelo	Índice de accesibilidad	Índice de accesibilidad ID estimado para un radio de 1.500 m del hogar; toma valores entre 0 y 1
	Densidad de hogares	Densidad habitacional (hogares/hectárea), en un radio de 500 m alrededor del hogar
	Paraderos	Número de paraderos de buses localizados en un radio de 500 m alrededor del hogar

A continuación, se estimó un modelo híbrido de elección discreta, basado en el anterior, incorporando distintas variables actitudinales, siendo la variable latente *funcionalidad*, que representa la percepción sobre las potenciales ventajas funcionales que tiene el automóvil para los jefes de hogar, la que mejores ajustes presentó. En términos generales, esta variable se refiere a

atributos instrumentales del automóvil, que recogen características de carácter más bien práctico, como rapidez y flexibilidad (ir donde/cuando quiera), así como la sensación de comodidad.

La Figura 20 muestra que la variable *Funcionalidad* explica tres de los indicadores del cuestionario actitudinal (“*es cómodo viajar en auto*”, “*es rápido y directo viajar en auto*”, “*puedo ir donde y cuando quiera en auto*”). La ecuación estructural, por otro lado, explica la variable latente en función de variables como la edad, género, frecuencia de conducción y condición laboral (todo referido al jefe o jefa de hogar).

Figura 20: Variable latente Funcionalidad especificada en el modelo híbrido - Santiago



Los modelos MNL e híbrido se muestran en la Tabla 5. Notar que el efecto del nivel de ingreso en la tasa de motorización es positivo, significativo y creciente, según lo esperado, y que su magnitud crece al considerar la probabilidad de contar con más de un vehículo en el hogar²⁵.

Las variables de estructura del hogar operan, en general, de acuerdo con lo esperado; esto es, que un hogar unipersonal tiene menos probabilidad de adquirir un vehículo mientras que un hogar con más personas, especialmente personas no activas (incluyendo a los hijos), tiene mayor probabilidad de adquirir uno o más vehículos.

Por su parte, las variables de uso de suelo presentan el signo esperado (negativo) y son significativas en ambas especificaciones. Adicionalmente, presentan una relación creciente; esto es, tienen mayor incidencia a medida que se considera un mayor número de vehículos. Asimismo, la variable número

²⁵ Al comparar los valores de los parámetros, es necesario considerar la constante, pues el ingreso opera como variable categórica. Entonces, los parámetros reales son la suma entre la constante y cada parámetro específico, en este caso, de ingreso. Así, dado que las constantes son distintas en ambos casos (un auto y dos o más autos), lo que se observa es que la diferencia (en aporte a la utilidad) aumenta en casi la misma proporción para ambos casos, al ir aumentando de rango de ingreso.

de paraderos de buses en el entorno es altamente significativa: en general, las zonas con mayor conectividad a la red de transporte público poseen una menor tasa de motorización.

Por otro lado, la variable latente *funcionalidad* tiene coeficiente positivo y significativo, por lo que la especificación híbrida debe ser preferida al MNL. Entre las variables latentes probadas, la evaluación subjetiva de la *funcionalidad* del vehículo por parte de los usuarios es la que presenta mayor relación con la tasa de motorización, generando un incremento en la probabilidad de contar con uno o más autos en el hogar.

Tabla 5: Resultados de los modelos de elección discreta de tenencia - Santiago

Atributos	MNL				Modelo híbrido			
	1 veh.		2 ó más veh.		1 veh.		2 ó más veh.	
	Coef.	Test t	Coef.	Test t	Coef.	Test t	Coef.	Test t
Constante	-2,896	-21,1	-8,233	-17,9	-3,405	-11,7	-8,770	-16,3
Ingreso								
0 (menos de 65)	Base	-	-	-	Base	-	-	-
1 (entre 65 y 125)	0,707	7,5	1,409	3,8	0,817	6,7	1,518	4,0
2 (entre 125 y 250)	1,546	16,4	2,969	7,9	1,810	10,5	3,231	8,1
3 (entre 250 y 500)	2,530	24,3	4,930	12,6	3,003	11,4	5,412	11,9
4 (entre 500 y 750)	3,682	26,0	7,030	17,0	4,363	11,6	7,718	14,3
5 (entre 750 y 1.500)	4,462	25,7	8,317	19,1	5,275	11,9	9,144	15,3
6 (más de 1.500)	5,032	13,7	9,414	16,5	5,865	9,8	10,258	13,8
Número de personas activas	-	-	0,405	11,3	0,040	1,3	0,446	9,8
Número de personas no activas	0,262	11,2	0,712	17,4	0,324	8,3	0,778	14,8
Estructura del hogar								
1 (Unipersonal)	Base	-	-	-	Base	-	-	-
2 (Sin hijos)	0,723	8,6	1,999	9,3	0,824	6,9	2,120	9,0
3 (Sólo hijos < 14)	0,925	11,2	2,417	10,9	1,050	7,9	2,564	10,4
4 (Al menos un hijo > 14)	1,148	12,7	2,288	9,7	1,287	8,5	2,450	9,3
Índice de diversidad	-0,701	-4,8	-1,482	-5,1	-0,868	-4,7	-1,678	-5,3
Densidad (hogares/há)	-0,001	-3,7	-0,003	-3,6	-0,001	-3,4	-0,003	-3,5
Número de paraderos de buses	-0,027	-8,8	-0,080	-13,5	-0,034	-7,2	-0,090	-11,8
Funcionalidad	-	-	-	-	1,016	3,9	1,051	3,8
Factor de escala (test t versus 1)	0,388	7,6			0,509	5,2		
Log-verosimilitud	-9.669,1				-9.637,1			
$\bar{\rho}^2$ (k)	0,173				0,176			

La Tabla 6 muestra la especificación de la componente híbrida. Las variables *conducción muy frecuente* y *edad* tienen una incidencia estadísticamente significativa en la variable latente. Esta última ingresa a la especificación en forma cuadrática, lo que implica que, manteniendo todo lo

demás constante, la *funcionalidad* percibida por los usuarios tiene un máximo para una edad cercana a los 55 años, a partir de la cual su percepción comienza a decrecer. Por otro lado, las mujeres parecen tener mejor percepción de la *funcionalidad* del automóvil, aunque la diferencia con los hombres es significativa a un nivel de confianza algo inferior al 90%.

Tabla 6: Ecuaciones estructurales y de medición del modelo híbrido de tenencia - Santiago

Tipo de ecuación	Variable	Coefficiente	Test-t
Ecuación estructural	Trabaja = 1	-0,281	-1,0
	Conducción muy frecuente = 1	0,445	2,3
	Hombre	-0,281	-1,6
	Edad	0,113	5,4
	Edad ²	-0,001	-4,2
Ecuación de medición (Parámetros ordinales)	τ_{p4} [Cómodo] (4)	4.472	2.1
	τ_{p4} [Cómodo] (5)	8.445	3.2
	τ_{p7} [Rápido y directo] (4)	4.677	2,6
	τ_{p7} [Rápido y directo] (5)	7.853	3.8
	τ_{p10} [Ir donde quiera] (4)	6.377	2.3
	τ_{p10} [Ir donde quiera] (5)	9.944	3.0
Ecuación de medición (Coeficientes variable latente)	z_{p4} [Cómodo]	3.689	4.3
	z_{p7} [Rápido y directo]	3.189	5.2
	z_{p10} [Ir donde quiera]	4.352	3.6

6 Modelos para la Ciudad de Bogotá

Esta sección da cuenta de los modelos de tenencia y uso de automóvil estimados para la ciudad de Bogotá. En el caso del modelo estratégico (de tenencia), el modelamiento se realizó utilizando además datos de la encuesta de movilidad más reciente disponible en la ciudad (Encuesta de Movilidad 2019 de Bogotá, EODH-2019).

6.1 Modelo táctico de elección modal

Con los viajes reportados por los encuestados, se estimaron modelos de elección de modo, que abordan la decisión táctica sobre el modo de transporte a utilizar en viajes de distinto tipo. La mejor

especificación fue un modelo híbrido de elección discreta de tipo MNL²⁶. A continuación, se describen los supuestos y datos usados en este modelo.

6.1.1 Supuestos y datos del modelo

El conjunto de modos disponibles en Bogotá es similar al de Santiago, pero se agregan algunas alternativas asociadas a la restricción de *Pico y Placa*, y específicas al sistema de transporte público local (SITP):

- Transmilenio: corresponde a usar Transmilenio como modo principal en un viaje en transporte público.
- SITP: SITP provisional o SITP zonal solo, pero no usando Transmilenio.
- Otro automóvil: cuando el auto principal tenía restricción de pico y placa.
- Cambio de horario para usar automóvil: el usuario cambia su horario de salida habitual porque tenía restricción de pico y placa.

Respecto a los niveles de servicio, el procedimiento fue igual que en el caso de Santiago, con las diferencias que se indican a continuación:

- El tiempo de acceso y egreso se obtuvo a partir de la distancia y la velocidad promedio del modo de acceso. Para el tiempo de espera se utilizó el tiempo de espera de Transmilenio en la zona de análisis de transporte (ZAT).
- El tiempo de viaje en vehículo se calculó como la distancia entre la estación de origen y destino de Transmilenio, multiplicada por la velocidad promedio del vehículo²⁷ según el horario reportado de viaje.
- Los costos se obtuvieron de acuerdo con las tarifas de cada modo²⁸. En el caso de automóvil y motocicleta, se utilizó el rendimiento promedio para obtener los costos de combustible.

6.1.2 Modelación

El modelo consideró las 874 observaciones de viajes reportados para Bogotá. En la función de utilidad se consideraron variables del nivel de servicio de los modos, constantes modales específicas, variables relacionadas con la estructura y características propias del viaje. El mejor modelo

²⁶ Para su especificación, ver Ortúzar y Willumsen (2011, Capítulos 7 y 8).

²⁷ Información obtenida del informe Transmilenio en cifras 2020.

²⁸ Transmilenio, SITP, aplicaciones móviles y taxi.

encontrado, incorpora cuatro variables latentes: tres de percepción de modo y una actitudinal. Las variables sociodemográficas y de estructura del viaje utilizadas son las siguientes:

1. Estructura del viaje: variable binaria, reporta si la persona viaja acompañada
2. Estructura del hogar: variable binaria, reporta si hay adultos mayores de 60 años en el hogar.
3. Tipo de viaje: variable binaria que incide en la utilidad de auto-chofer. Se activa para viajes Tipo 1, dejando a los viajes Tipo 2 como referencia.

La Figura 21 muestra las variables latentes que presentaron mejor ajuste, y los indicadores y variables socioeconómicas involucradas en sus ecuaciones estructurales y de medición.

6.1.3 Resultados modelo de elección modal - Bogotá

La Ecuación (4) muestra la función de utilidad de las alternativas auto-acompañante, caminata, bicicleta, taxi, y aplicaciones móviles. La Ecuación (5) define la utilidad de la motocicleta y transporte público (SITP y Transmilenio), y la Ecuación (6) la utilidad de los modos auto-chofer, otro carro y cambio de horario.

$$V_i = \alpha_i + (\beta_{TV} + \beta_{60años})TV_i + \beta_{Costo}Costo_i \quad (4)$$

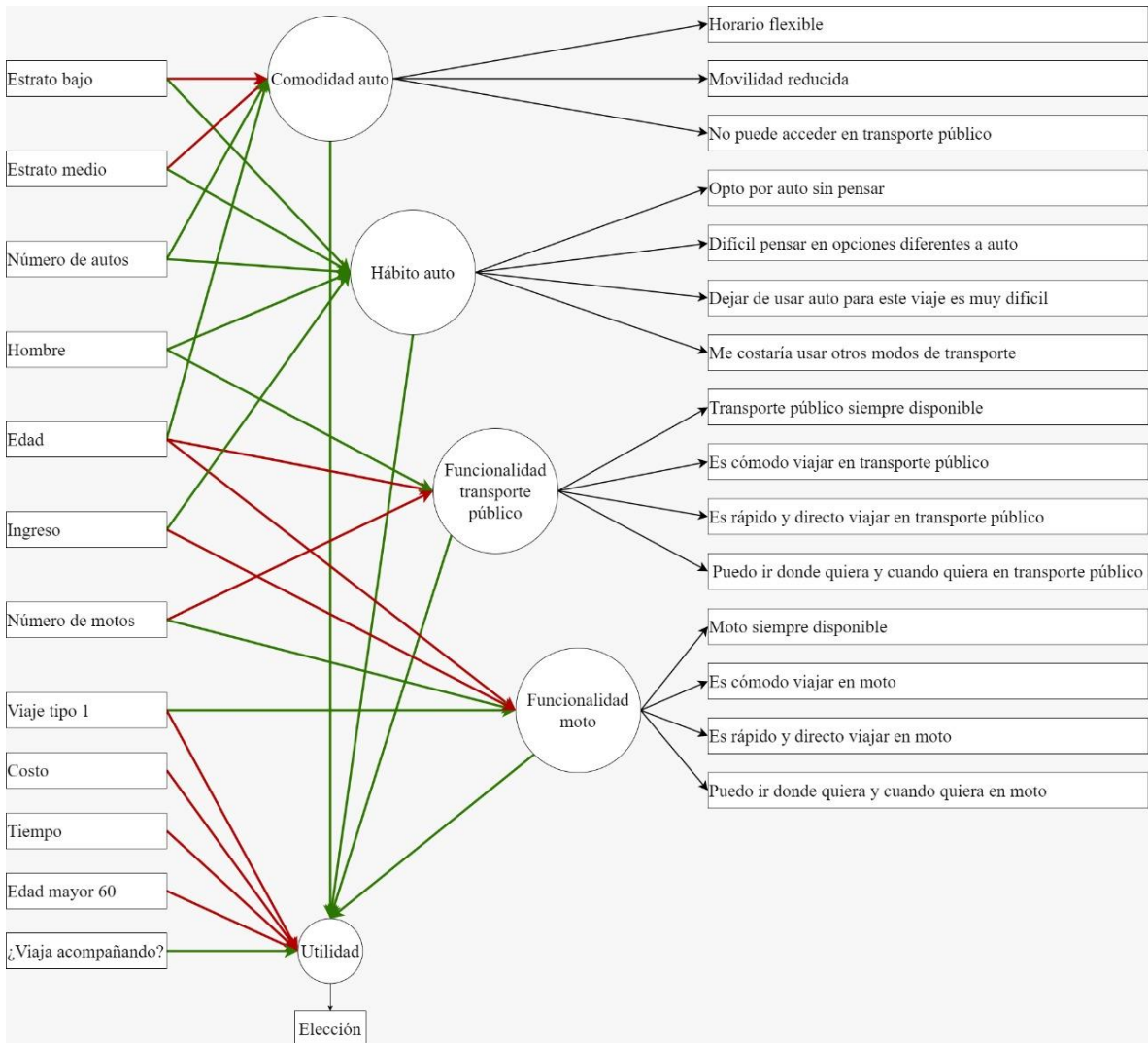
$$V_i = \alpha_i + (\beta_{TV} + \beta_{60años})TV_i + \beta_{Costo}Costo_i + \lambda_{Func}Funcionalidad_i \quad (5)$$

$$V_i = \alpha_i + (\beta_{TV} + \beta_{60años})TV_i + \beta_{Tipo1}Tipo1 + \beta_{Acompañ}ViajaAcompañado_i + \lambda_{Hábito}Hábito_i + \lambda_{Comod}Comodidad_i \quad (6)$$

Al igual que en el modelo de Santiago, TV_i corresponde al tiempo total de viaje del modo i , $Costo_i$ corresponde al costo del modo i . Para los modos motocicleta y transporte público, se incorpora una variación sistemática del tiempo de viaje respecto a la estructura del hogar (en este caso, activa cuando hay personas mayores de 60 años), y la variable latente *funcionalidad*. En las alternativas auto-chofer, otro carro y cambio de horario, no afecta el costo, el tiempo de viaje posee una variación sistemática respecto a la estructura del hogar (también asociada a la presencia de mayores de 60 años), un parámetro específico asociado al Tipo de viaje, la estructura del viaje (indica si viaja acompañado), y las variables latentes *hábito* y *comodidad*.

La Tabla 7 muestra el modelo de elección modal que obtuvo parámetros con mayor significancia y signos coherentes. Como se puede ver, los parámetros asociados al costo y tiempo de viaje tienen el signo esperado (negativo).

Figura 21: Representación del modelo híbrido de elección discreta - Bogotá



Se fijó la constante específica del modo SITP como referencia, y las constantes que no resultaron significativamente distintas de cero se eliminaron del modelo. La constante del automóvil tiene un valor alto, lo que sugiere que hay elementos explicativos aún no captados por el modelo.

A diferencia de Santiago, los resultados indican que en viajes de Tipo 1 disminuye la probabilidad de elegir auto como chofer, lo que puede ser consecuencia que en hora punta es cuando rige la restricción de pico y placa en la ciudad, y son las horas más congestionadas (muchos de estos viajes están asociados a actividades obligadas en horario punta).

Tabla 7: Resultados modelo de elección modal - Bogotá

	Atributo	Coeficiente	Test t	
Constantes modales	Auto-Chofer	6,689	7,396	
	Transmilenio	1,979	10,687	
	Auto-Acompañante	1,709	6,04	
	Motocicleta	3,325	4,136	
	Cambio de Horario	6,765	5,99	
	Otro Auto	6,242	5,66	
Variables de servicio	Costo de viaje	-0,009	-8,19	
	Tiempo de viaje	-0,010	-2,20	
	<i>Mayores de 60 años</i>	-0,005	-1,44	
Específicas del auto	Viaja acompañado	1,120	1,65	
	Viaje Tipo I	-1,583	-1,62	
<i>Variables Latentes según modo</i>	Hábito (Auto)	2,291	4,65	
	<i>Hombre</i>	0,295	2,04	
	<i>Clase baja</i>	1,347	3,76	
	<i>Clase media</i>	1,094	3,43	
	<i>Número de autos hogar</i>	0,334	4,32	
	<i>Ingreso hogar</i>	0,100	3,89	
	Comodidad (Auto)	0,435	1,15	
	<i>Edad</i>	0,003	0,81	
	<i>Clase baja</i>	-0,433	-1,49	
	<i>Clase media</i>	-0,231	-0,88	
	<i>Número de autos hogar</i>	0,162	1,91	
	Funcionalidad (Moto)	3,033	4,52	
	<i>Edad</i>	-0,015	-4,43	
	<i>Número de motos hogar</i>	0,953	12,11	
	<i>Viaje Tipo 1</i>	0,152	1,53	
	<i>Ingreso hogar</i>	-0,035	-1,87	
	Funcionalidad (T. Público)	0,251	1,25	
	<i>Edad</i>	-0,006	-1,81	
	<i>Número de motos hogar</i>	-0,149	-2,08	
	<i>Hombre</i>	0,258	2,52	
		Log-Verosimilitud (final)	8.048,5	-

El parámetro específico asociado a hogares con adultos mayores de 60 años, indica que aumenta la importancia del tiempo de viaje en las alternativas motocicleta, transporte público, auto-chofer, otro carro y postergar el viaje, ante la presencia de adultos mayores en el hogar. Por otro lado, el

parámetro asociado a la estructura del viaje, indica que viajar acompañado aumenta la probabilidad de realizar el viaje en automóvil.

Comodidad y *hábito*, las dos variables latentes asociadas al automóvil como chofer, tienen signo positivo; es decir, aumentan la probabilidad de elegir carro. De acuerdo con el modelo, ser hombre favorece un mayor nivel de *hábito*, y el *hábito* es mayor para usuarios asiduos de menor ingreso. Un mayor número de autos en el hogar también implica mayor grado de *hábito* en su uso.

La *comodidad* fue identificada a través de “la flexibilidad de horario en el viaje”, “la posibilidad de transportar personas con movilidad reducida” y “la falta de acceso a transporte público”, y se refiere a lo cómodo que resulta el automóvil (no a la comodidad como concepto general de confort o calidad de servicio). Esta variable se ve influenciada por características sociodemográficas de las personas (i.e., estrato) y por la cantidad de autos en el hogar. La referencia en este caso son individuos de clase alta y se observa que, a mayor ingreso, mayor nivel de comodidad percibida del modo auto. Finalmente, mientras mayor es el número de autos en el hogar, el individuo se siente más cómodo usando el automóvil.

6.2 Modelo estratégico de tenencia de vehículos

Este modelo se estimó utilizando información proveniente principalmente de dos bancos de datos:

1. La Encuesta de movilidad de Bogotá (EODH-2019), que contiene información sobre la composición de los hogares, características de transporte (posesión de vehículo) y los viajes realizados por cada integrante en un día específico, incluyendo origen, destino, propósito y modos de transporte utilizados.
2. La encuesta recopilada en el marco del presente estudio, que contiene información sobre 435 hogares también localizados en el casco urbano de Bogotá.

6.2.1 Variables de modelación

Con la información de la encuesta de movilidad de Bogotá 2019 (EODH-2019) y de usos de suelo de la ciudad, se formularon modelos probabilísticos para entender los factores que explican la tenencia de automóvil y motocicleta en los hogares de Bogotá. Las variables independientes probadas en los modelos se construyeron de forma equivalente o comparable al caso de Santiago. En la Tabla 8 se muestra su descripción, y se indica si están o no presentes en el modelo final.

Tabla 8: Variables del modelo estratégico de tenencia de vehículos motorizados - Bogotá

Variable	Descripción	Modelo final
Nivel de ingreso	Reportado en la EODH-2019, categorizado en nueve intervalos	Sí
Estructura del hogar	Variable categórica donde: 1: Hogar unipersonal 2: Hogar sin hijos 3: Hogar con hijos mayores de 14 años 4: Hogar con al menos un hijo menor de 14 años	Sí
Diversidad de suelo	Se estimó el índice de diversidad a 500 m, 1 y 1,5 km del hogar.	Sí
Densidad poblacional	Número de hogares por hectárea, promediados en un radio de 500 m, 1 km y 1,5 km del hogar	Sí
Proximidad Transmilenio	Número de estaciones de Transmilenio en un radio de 1 km del hogar	Sí
Proximidad a SITP	Número de paraderos de SITP en un radio de 300 m del hogar	Sí
Estrato	Define el estrato socioeconómico. Toma valores entre 1 y 6	No
Personas en el hogar	Número total de personas en el hogar	No
Menores de 14 años	Número de habitantes menores de 14 años en el hogar	No
Menores de 18 años	Número de habitantes menores de 18 años en el hogar	No
Trabajadores en el hogar	Número de personas que reportan alguna actividad económica	No
Número de hijos	Número de hijos en el hogar	No
Personas laboralmente activas en el hogar	Número de trabajadores en el hogar, más las personas que declararon estar buscando empleo al momento de la encuesta	No

En una segunda etapa, se incluyeron variables que explicaran la tenencia de motocicleta, tales como el ingreso promedio del hogar, el número de hombres activos laboralmente y la ubicación del hogar en la periferia (ver definiciones en la Tabla 9).

Tabla 9: Nuevas variables definidas para modelo de tenencia de motocicleta - Bogotá

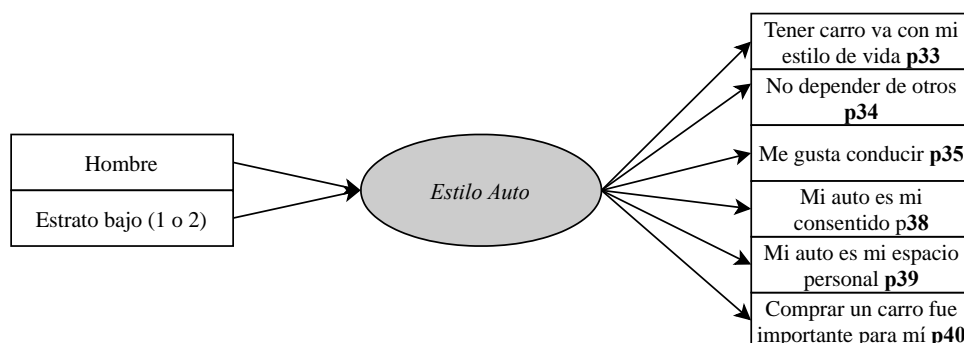
Variable	Descripción
Ingreso promedio del hogar	Ingreso total del hogar (en millones COP) dividido por el número de personas en el hogar
Número de hombres activos	Número de hombres laboralmente activos en el hogar
Hogar en la periferia	Variable que toma el valor 1 si el hogar está ubicado en la periferia de la ciudad y 0 si el hogar está en el centro expandido de la ciudad

6.2.2 Resultados modelo de tenencia - Bogotá

El modelo con mejor ajuste resultó ser un modelo logit multinomial (MNL) híbrido, donde las alternativas correspondían a tener solo moto, solo carro, moto y carro, o ninguno. En este caso, se utilizó como base la alternativa de no tener moto ni carro en un hogar unipersonal. Se estimó coeficientes específicos para cada variable explicativa, dado que no se contaba con variabilidad de los atributos entre distintas opciones.

La Figura 22 muestra la variable latente finalmente incorporada: *Estilo auto*, que representa la actitud de los propietarios de auto, que tienen un estilo de vida muy dependiente del automóvil. Como se muestra en la figura, esta variable explica cinco indicadores del cuestionario actitudinal (aseveraciones del costado derecho). La ecuación estructural explica la variable latente en función de variables socioeconómicas del jefe del hogar, su género y el estrato al que pertenece.

Figura 22: Variable latente Estilo automóvil utilizada en el modelo híbrido - Bogotá



Los resultados del modelo MNL híbrido se presentan en la Tabla 10 y dan cuenta que la utilidad de tener únicamente motocicleta aumenta según el nivel de ingreso, hasta llegar a los ingresos medios (4 y 5). A partir de este punto no se nota una tendencia clara, e incluso los niveles de ingreso más altos no parecen significativos. Además, los hogares con hijos reciben mayor utilidad al adquirir una moto, y la utilidad aumenta al tener hijos menores de 14 años. En este caso, las características de uso de suelo de la zona residencial no son significativas, a excepción de la asociada a que el hogar esté en la periferia, que es significativa para la tenencia de solo motocicleta en el hogar. Por otra parte, la tenencia de un automóvil en el hogar crece constantemente con el nivel de ingreso, y aumenta al tener hijos en el hogar. Sin embargo, la utilidad de tener únicamente un automóvil en el hogar disminuye cuando los hijos son menores de 14 años.

Tabla 10: Resultados modelo híbrido de tenencia de vehículos - Bogotá

Parámetro	Modelo MNL híbrido					
	Solo Moto		Solo Auto		Auto y Moto	
	Coef.	Test-t	Coef.	Test-t	Coef.	Test-t
Constante	-4,159	-20,55	-3,767	-3,32	-5,612	-20,44
Nivel de ingreso = 2	0,608	5,90	1,505	3,32	1,017	5,32
Nivel de ingreso = 3	0,573	4,50	2,382	3,39	1,352	6,47
Nivel de ingreso = 4	0,793	5,38	3,099	3,49	2,215	10,77
Nivel de ingreso = 5	0,776	5,18	3,675	3,50	2,465	12,48
Nivel de ingreso = 6	0,409	2,00	4,457	3,41	2,718	13,11
Nivel de ingreso = 7	0,708	2,86	5,329	3,43	3,109	13,43
Nivel de ingreso = 8	0,426	1,22	5,955	3,31	2,754	9,52
Nivel de ingreso = 9	-0,187	-0,34	6,468	3,44	3,348	11,37
Hogar sin hijos	0,058	0,39	0,609	2,63	0,263	1,31
Hogar con hijos mayores de 14	0,265	1,76	1,038	3,13	0,864	4,30
Hogar con al menos un hijo menor de 14	0,438	3,22	0,593	2,95	0,968	5,10
Número de hombres activos = 1	1,292	12,24	0,250	2,31	1,258	9,09
Número de hombres activos = 2	1,771	12,82	-0,296	-0,97	1,890	11,07
Número de hombres activos > 2	1,142	4,30	-0,774	-1,61	1,479	5,34
Índice de intensidad de uso de suelo comercial	-0,204	-1,08	-0,915	-2,86	-0,341	-1,62
Densidad (habitantes/ha)	0,001	1,74	-0,003	-2,32	0,001	1,47
Número de estaciones de Transmilenio	-0,702	-1,36	-1,166	-1,79	-0,908	-1,41
Número de estaciones de SITP	-0,003	-0,29	-0,042	-2,53	-0,009	-0,78
Hogar es parte de la periferia	0,591	4,14	0,178	1,37	0,099	0,68
Factor de escala	0,533	12,73				
Estilo auto			2,510	2,17		
Log verosimilitud final	-10.065,20					

La presencia de un hombre activo laboralmente en el hogar resulta positiva y significativa en la utilidad de tener automóvil en el hogar, pero no posee una tendencia clara al aumentar el número de hombres en el hogar, como sí ocurría en el caso de la motocicleta. Las variables espaciales y de uso de suelo resultan significativas y con signo negativo, es decir, en las zonas residenciales con más

paraderos de transporte público, mayor uso comercial, o menor densidad, disminuye la probabilidad de tenencia de solo automóvil.

En el caso de tenencia de ambos modos, y al igual que en la tenencia de solo automóvil, la incidencia del nivel de ingreso aumenta constantemente y todas sus categorías son significativas, mientras que las variables espaciales de densidad y número de estaciones de SITP son significativas y negativas. La presencia de hombres laboralmente activos en el hogar aumenta la probabilidad de tenencia de ambos modos. La tenencia de ambos modos aumenta al tener hijos en el hogar, observándose mayor utilidad en esa alternativa para hogares con hijos menores a 14 años.

Finalmente, la variable latente *Estilo auto* tiene un coeficiente positivo y significativo. Se le dio este nombre, aunque el conjunto de indicadores que naturalmente se agruparon para formarlo es amplio: uno que específicamente indica “el carro va con mi estilo de vida”, pero además aseveraciones asociadas a placer e independencia (“me permite no depender de otros” y “me gusta conducir”) y tres aspectos más afectivos (“mi auto es mi consentido”, “es mi espacio personal” y “comprar un auto fue importante para mí”). En consecuencia, según estos resultados, se constata que a medida que el jefe de hogar más se identifica con tipo de valoraciones subjetivas (asociadas a su estilo de vida o valoración específica del carro) mayor es la probabilidad de efectivamente contar con un auto en ese hogar.

La Tabla 11 muestra los resultados de la ecuación estructural y las ecuaciones de medición. Las variables género y estrato tienen una incidencia estadísticamente significativa en la variable latente. En este caso, parece que los hombres tienen un estilo de vida más orientado al uso del automóvil, mientras que las personas que están en estratos bajos tienden a tener un estilo de vida más alejado del uso del mismo. Los parámetros del modelo ordinal son consistentes; todas las respuestas a estos indicadores se agruparon ampliamente en las categorías 3 y superior. Finalmente, los indicadores del cuestionario son explicados de manera adecuada por la variable latente, considerando que los tres coeficientes de la ecuación de medición son estadísticamente significativos.

Tabla 11: Ecuación estructural y de medición modelo híbrido tenencia de auto y moto - Bogotá

Tipo de ecuación	Variable	Coef.	Test-t
Ecuación estructural	Hombre	0,290	5,24
	Estrato 1 o 2	-0,458	-5,81
Ecuación de medición Coeficientes de variable latente	z_p33 [estilo auto]	1,676	3,16
	z_p34 [no depender de otros]	1,917	3,24
	z_p35 [me gusta conducir]	2,543	3,95
	z_p38 [auto es mi consentido]	1,833	4,03
	z_p39 [auto es mi espacio personal]	1,200	3,09
	z_p40 [comprar un auto fue importante]	2,567	3,23
	Ecuación de medición Parámetros ordinales	tau_p33 [estilo auto] (1)	-4,028
tau_p33 [estilo auto] (2)		-1,873	-3,73
tau_p33 [estilo auto] (3)		0,599	1,92
tau_p33 [estilo auto] (4)		6,928	6,13
tau_p34 [no depender de otros] (1)		-6,180	-6,70
tau_p34 [no depender de otros] (2)		-3,392	-5,02
tau_p34 [no depender de otros] (3)		0,029	0,08
tau_p35 [me gusta conducir] (1)		-6,160	-6,63
tau_p35 [me gusta conducir] (2)		-3,688	-4,91
tau_p35 [me gusta conducir] (3)		-0,431	-1,00
tau_p38 [auto es mi consentido] (1)		-6,064	-7,52
tau_p38 [auto es mi consentido] (2)		-3,706	-6,54
tau_p38 [auto es mi consentido] (3)		-1,535	-3,67
tau_p38 [auto es mi consentido] (4)		0,997	3,19
z_p39 [auto es mi espacio personal] (1)		-3,530	-6,89
z_p39 [auto es mi espacio personal] (2)		-1,456	-3,88
z_p39 [auto es mi espacio personal] (3)		0,740	2,59
z_p40 [comprar un auto fue importante] (1)		-7,267	-4,95
z_p40 [comprar un auto fue importante] (2)		-5,979	-5,34
z_p40 [comprar un auto fue importante] (3)		-4,003	-4,37
z_p40 [comprar un auto fue importante] (4)	-0,504	-1,09	

7 Discusión de Resultados

El estudio, realizado en las ciudades de Santiago y Bogotá, consideró una muestra de usuarios con licencia de conducir y vehículo en el hogar. Se consultó por viajes realizados con cierta regularidad para distintos propósitos, considerando solo aquellos que involucraran desplazamientos sobre los 500 m de distancia. Por lo tanto, dado el foco del estudio, se trata de una muestra concentrada en personas y viajes con mayor propensión a usar automóvil, y no de una muestra representativa de los habitantes de cada ciudad.

En ambas ciudades se observa que, cuando estos viajeros tienen disponible un vehículo privado, lo utilizan la mayoría de las veces tanto para viajes de Tipo 1 (que se realizan regularmente, hacia un mismo destino en horario fijo), como para viajes de Tipo 2 (regulares, pero con destino u horario no necesariamente fijo). Este modo es seguido, inmediatamente, por el auto como acompañante (entre 14% y 19% de los casos en Santiago, y entre 12% y 14% en Bogotá, para viajes de Tipo 1 y Tipo 2, respectivamente). Si a ello se agrega la motocicleta, que tiene especial relevancia en Bogotá, más del 75% de los viajes regulares reportados, sobre el umbral de distancia definido, se hacen en modos motorizados privados cuando estos están disponibles.

7.1 Tenencia de automóvil en la ciudad

Entre los factores que determinan la posesión de automóvil en Santiago, la variable latente *funcionalidad* del auto resultó significativa. Esta variable aumenta en el caso de viajeros frecuentes y con la edad del individuo, pero en forma cuadrática; esto implica que, manteniendo todo lo demás constante, la funcionalidad percibida por los usuarios tiene un máximo para una edad cercana a los 55 años, a partir de lo cual su puntuación comienza a decrecer. Las jefas de hogar presentan mayor percepción de la funcionalidad del auto. Asimismo, el efecto del ingreso en la tasa de motorización es positivo, significativo y creciente, según lo esperado y acorde a lo observado en la literatura, y su magnitud crece al considerar la probabilidad de contar con más de un vehículo en el hogar.

En el caso de Bogotá, en cambio, la tenencia de automóvil se observa asociada casi exclusivamente a los estratos de mayor nivel de ingreso, y para los estratos restantes es muy importante el uso y adquisición de motocicleta. La variable latente *Estilo* (definida por los indicadores “tener carro va con mi estilo de vida”, “me permite no depender de otros”, “me gusta conducir”, “mi auto es mi consentido”, “mi auto es mi espacio personal” y “comprar carro fue importante para mí”), resultó significativa. Esta variable se refiere al jefe de hogar, e incide positivamente en la probabilidad de

tener auto (no así en la de tener moto o ambos modos), presentando niveles más altos cuando el jefe de hogar es hombre y de menor nivel de ingreso.

Respecto a la composición del hogar y su impacto en la tenencia de vehículo particular, el número de personas inactivas incide en la utilidad percibida de adquirir uno o más automóviles (significativa en Santiago). Adicionalmente, la presencia de hijos también aumenta dicha utilidad y, también, de tener más de un automóvil. En Santiago, se observa más claramente el efecto de la estructura familiar en la adquisición de vehículos. En Bogotá, por su parte, la cantidad de hombres activos del hogar resultó significativa y se observa que induce mayor adquisición de moto o moto y auto, pero disminuye la tenencia de automóvil solo.

En cuanto a la localización de los hogares y su entorno, en Santiago se observa que, a mayor diversidad de uso de suelo en la zona de residencia, hay menor utilidad percibida de tener auto, y menor aún de tener dos o más autos. Este mismo efecto se observa al aumentar la densidad de hogares en la zona. Algo similar ocurre con la alternativa de tener solo auto en Bogotá, pero el indicador de uso de suelo más adecuado resultó ser la intensidad de uso comercial. En la tenencia de solo moto, en cambio, es incidente el hecho de vivir en la periferia (aumenta la utilidad percibida de la moto). Finalmente, la conectividad al sistema de transporte público también quedó incorporada en los modelos de tenencia; en Bogotá disminuye la utilidad percibida de tener solo auto (no es significativa para las otras dos alternativas), y en Santiago, reduce la utilidad percibida de tener un auto y también, en mayor medida, la de tener dos o más autos en el hogar.

De manera importante, los resultados muestran que, mientras más disponible está el vehículo privado en los hogares, más se utiliza individualmente. De hecho, cuando el vehículo está efectivamente disponible para el viaje, el modo auto-chofer es seguido en importancia por el auto-acompañante y, si a ello se agrega la motocicleta (de especial relevancia en Bogotá), se observa que más del 75% de los viajes habituales se hacen en modos motorizados privados. Si observamos el caso de Santiago, destaca que el indicador de *disponibilidad efectiva* (número de vehículos/total de licencias del hogar) es uno de los atributos que más explica la utilidad percibida del automóvil, aumentando hasta 20% su probabilidad de uso.

Otro indicio de la persistencia del modo se observa al analizar el cambio modal entre viajes de Tipo 1 y Tipo 2. Si se consideran los viajes en todos los modos, 61% de los viajeros mantiene el modo para el segundo viaje registrado; no obstante, si el individuo declaró utilizar auto-chofer en el viaje Tipo

1, en 80% de los casos también declara utilizarlo para el viaje Tipo 2. Resulta de interés mencionar que, para Bogotá, cuando se consultó a los usuarios de auto-chofer qué harían en caso de no poder utilizar el vehículo debido a la restricción de *Pico y Placa*²⁹, agregando como alternativas, además de posponer o diferir el viaje, usar “otro automóvil del hogar”, o “el mismo auto pero cambiando de horario”, en el caso de viajes Tipo 1 poco más de un quinto de los encuestados declaró que preferiría diferir el horario del viaje (24% en viajes Tipo 2), mientras que la alternativa de cancelar o posponer el viaje alcanzó un 10% (18% en el caso de viajes Tipo 2). Esto da cuenta de la fuerte resistencia a cambiar a modos alternativos distintos del automóvil.

Por su parte, entre los factores que desincentivan la tenencia de vehículo particular destaca que zonas más variadas en cuanto a uso de suelo hacen decrecer la probabilidad de tener uno o más autos en el hogar. En particular, se observa una menor probabilidad de adquirir un automóvil en zonas más densamente pobladas. Respecto de la oferta de transporte público, la cantidad de paraderos en el radio de influencia del hogar también disminuye la probabilidad de tener uno o más automóviles, observándose que los hogares en la periferia (particularmente en Bogotá), tienen mayor probabilidad de tener un vehículo. En efecto, el modo resulta muy preferido para viajes largos, donde el transporte público de ambas ciudades es menos competitivo.

7.2 Condiciones que hacen preferible el uso del automóvil

Para explicar la utilidad de auto-chofer en Santiago, resultaron positivas y estadísticamente significativas las variables *disponibilidad efectiva de auto* en el hogar, la *estructura del viaje* (viajes más complejos se asocian a mayor utilidad del auto-chofer), *transportar a alguien más* en el mismo viaje, y tener *personas mayores de 70 años* en el domicilio. Así, todos estos elementos aumentan la probabilidad de realizar viajes habituales en automóvil. Finalmente, resultó positiva y significativa la variable latente *Estatus* y un parámetro dicotómico asociado a si el viaje era de Tipo 1.

Con base en lo anterior, si se considera un individuo promedio con todas las variables específicas activas, se puede ver que la constante modal aporta un 32% del valor de la función de utilidad de auto-chofer, las variables de servicio un 19%, la disponibilidad efectiva de vehículo en el hogar³⁰ un 14%, la presencia de adultos mayores de 70 años un 13%, la necesidad de transportar a alguien un

²⁹ Restricción que limita la circulación en horario punta, según dígito de patente par o impar.

³⁰ Variable definida como la razón entre el número de vehículos del hogar y el número de licencias de conducir de sus residentes, con valor máximo unitario.

8% y una estructura de viaje compleja (con paradas intermedias o viajes ligados) un 6%. En este caso hipotético, además, que el viaje sea Tipo 1 aportaría un 4% y la variable latente *Estatus* (que se comenta más adelante) otro 4% de la utilidad. Así, las variables no tradicionales resultan de importancia superior a las variables clásicas de servicio del modo (tiempos, costos, transbordos).

La preferencia por auto es explicada, en parte, por el nivel de *Estatus* que el usuario asigna al automóvil; este es más alto para hombres y presenta una relación positiva con la motorización del hogar (tanto con el número de vehículos del hogar, como con la proporción de autos respecto al total de licencias). Por otro lado, la variable latente *funcionalidad* resultó significativa en la utilidad de transporte público y aplicaciones móviles: aunque en el primer caso la funcionalidad disminuye con la edad y nivel de ingreso, en el segundo disminuye con la edad, pero aumenta con el nivel de ingreso. Cabe constatar que el ingreso no solo afecta la utilidad de esta manera, sino también como un efecto directo (el modelo considera la variable costo/ingreso³¹). Para tener una noción del efecto, consideremos el caso de un usuario joven, que dispone de automóvil y transporte público entre sus alternativas de viaje; si este pasara de tener ingreso medio a ingreso alto en su hogar, su probabilidad de usar transporte público disminuiría de 18% a 13%.

En el caso de Bogotá, la constante del modo auto tiene un valor comparativamente alto, lo que sugiere que hay elementos aún no captados por el modelo. No obstante, a diferencia de Santiago, el costo del viaje sí resulta significativo, es decir, es incidente en la decisión. La utilidad del modo crece cuando el usuario viaja acompañado y se observan dos variables latentes asociadas a autochofer: *comodidad* y *hábito*, con signo positivo; es decir, aumentan la probabilidad de elegir auto. De acuerdo al modelo, ser hombre se asocia a un mayor nivel de hábito, y el hábito es mayor para usuarios de menor ingreso (esto sugiere que una persona de menor ingreso que utiliza automóvil se habituaría más al modo que una persona de mayor ingreso). Un mayor número de autos en el hogar también implica mayor hábito en su uso. La *comodidad* se refiere a que tan “cómodo” resulta el auto para el usuario y fue identificada a través de tres indicadores: (i) otorga flexibilidad de horario; (ii) permite transportar personas con movilidad reducida; y (iii) falta acceso a transporte

³¹ Es importante señalar que el costo del viaje es muy poco incidente en la decisión. Esto no solo en el mejor modelo encontrado (en que la variable presenta signo correcto, pero es poco significativa), sino que en todos los modelos estimados. Es posible que esto se deba a que, en la decisión de utilizar auto, los costos de los distintos modos se sopesan en un horizonte temporal distinto, por ejemplo, considerando un conjunto de desplazamientos y actividades, ya sea mensuales o anuales.

público para realizar el viaje. El nivel de *comodidad* percibida del auto aumenta con el ingreso y con el número de autos en el hogar³².

En Santiago se observó una levemente mayor probabilidad de realizar el viaje en auto-chofer en el caso de viajes regulares, con destino y horario fijo, en comparación a viajes con destino u horario variable (viajes Tipo 2). Esto contrasta con lo observado en el modelo de Bogotá, donde sucede precisamente lo contrario; posiblemente esto se deba a que en Santiago no hay un desincentivo a utilizar el auto en horario punta, o en zonas o momentos de congestión (en que, además, el transporte público mayor suele presentar su peor desempeño), por lo que el auto parece una mejor alternativa para viajes obligados. De hecho, sin restricción vehicular, ni tarificación por congestión, solo el costo y la disponibilidad de estacionamiento dificultan el uso de auto en horas punta o por extensos períodos del día, y aunque en zonas altamente atractivas los estacionamientos son bastante caros, muchas personas disponen de estacionamiento propio (o en su oficina) para sus viajes obligados. Por otro lado, el mejor desempeño del sistema de transporte público en horario fuera de punta, en parte debido al menor nivel de congestión, también pudiera explicar el resultado de menor preferencia de auto para viajes no obligados o más flexibles (que suelen realizarse especialmente en esos horarios).

Otro aspecto por destacar de los resultados obtenidos es que, cuando los viajes consideran paradas intermedias, o se asocian a otros viajes ligados, aumenta la preferencia por el uso del automóvil. Adicionalmente, entre las variables actitudinales, el indicador de *Necesidad*³³ obtuvo puntuaciones muy altas (un promedio de 3,9 en ambas ciudades, en escala de 1 a 5) y la variable latente *Comodidad*³⁴ resultó significativa en el modelo de uso de vehículo privado en Bogotá. Todo lo anterior apunta a que el uso del vehículo particular responde a las necesidades de los hogares.

En cuanto a otros aspectos actitudinales, las mayores puntuaciones medias referidas al automóvil particular se observan en el conjunto de indicadores asociados a *Norma Social* y *Estatus* (medias de 4,0 y 3,9 respectivamente, en Santiago y Bogotá). Un resultado interesante del estudio es que el

³² Notar que la *comodidad* a que se hace referencia es en el sentido de los indicadores asociados a esta variable latente, y no al sentido tradicional de comodidad como aspecto de confort o calidad de servicio.

³³ Conformado por las afirmaciones: “me permite llevar a otros”, “me permite llevar cómodamente mis cosas”, “me ofrece protección contra el mal clima”, “requiero flexibilidad para adaptar mis horarios o destinos durante el día”, entre otras

³⁴ Conformada por las afirmaciones: “requiero flexibilidad para adaptar mis horarios”, “me permite transportar personas con movilidad reducida”, y “no puedo acceder a mi destino por transporte público”.

*estatus/estilo*³⁵ aparezca como significativo, aunque de manera diferente, en ambas ciudades. En Bogotá, la variable aparece ligada a la tenencia, y no al uso. En Santiago, está asociada solamente con el uso. Así, pareciera que en Bogotá los aspectos vinculados a dicha variable (“sentir que el carro va con mi estilo de vida”, “que permite no depender de otros”, “que es mi espacio personal”, entre otros) fomentan la adquisición. En tanto, similares aspectos actitudinales (sentir que “mi auto es mi joyita”, que es “mi espacio personal”, o verlo como una adquisición “importante”) fomentan el uso. A favor de los modos de transporte público y aplicaciones, los modelos estimados en el estudio muestran que cuando el individuo percibe un mayor nivel de *Funcionalidad* en ellos, aumentan sus preferencias de uso (aunque no en cuanto a tenencia), no obstante, la funcionalidad es más un resultado de la experiencia que algo en lo que pueda inducirse un cambio de percepción. Por ejemplo, mientras en algunas ciudades de la región no es *mal visto* usar el transporte público, en otras ciudades existe un fuerte imaginario social que asocia a este modo con personas de bajo ingreso, lo que refuerza aún más la movilidad en automóvil.

7.3 Alternativas realmente consideradas

Después del auto-chofer, los modos que siguen en la preferencia de los usuarios con automóvil disponible son el Metro en Santiago y Transmilenio en Bogotá. Los modos restantes – tanto activos como motorizados, incluyendo al bus – no superan el 5% en cuanto a uso en los viajes declarados.

Al analizar las alternativas declaradas por los encuestados, ante la consulta sobre qué modo utilizarían si no tuvieran disponible el escogido, tras Metro y Transmilenio aparece la opción de utilizar servicios de transporte por aplicaciones, con más menciones que el bus o que los modos de transporte activos (en su conjunto). Este es un fenómeno interesante, pues, aunque no se trata de una alternativa fuerte en cuanto a uso declarado, sí es altamente mencionada cuando “no se cuenta con el auto”.

Al analizar los resultados generales sobre los indicadores actitudinales consultados, medidos en una escala Likert de 1 a 5, en Santiago se observa una media de 3,6 para el conjunto de indicadores referidos a la *Funcionalidad* del automóvil particular, en contraste con un 2,8 asociado al transporte

³⁵ Los indicadores que definen *Estilo* son las afirmaciones: “tener carro va con mi estilo de vida”, “me permite no depender de otros”, “me gusta conducir”, “mi auto es mi consentido”, “mi auto es mi espacio personal”, y “comprar carro fue importante para mí”.

público. Las aplicaciones, en tanto, reciben un valor medio de 3,2. En Bogotá, aunque la puntuación de este indicador es algo menor para el automóvil, las diferencias son similares.

Todo lo anterior da cuenta que los usuarios asiduos de automóvil ven como alternativa principal a los servicios de Metro y Transmilenio (independiente del modo de acceso, y en desmedro del bus o los modos activos), las aplicaciones móviles en Santiago y la motocicleta en Bogotá.

En relación con la motocicleta, y a diferencia del automóvil, su uso es más funcionalista, y pareciera que, para un grupo de la población de Bogotá, se hubiera vuelto la única opción de movilidad. El primer indicio para asegurar esto es que las variables de uso de suelo asociadas a tener menos dependencia al automóvil (como la densidad, proximidad al transporte público y la diversidad de usos de suelo), no aparecen significativas en los modelos de tenencia de moto estimados en el estudio. Sí es influyente no vivir en zonas céntricas (donde se centralizan las actividades atractoras de viajes).

8 Desafíos de Política

Los factores ya mencionados, referentes a hábitos, percepciones y necesidades, que influyen en las decisiones de adquirir y utilizar un vehículo, constituyen importantes elementos para reflexionar sobre los desafíos de lograr una movilidad urbana más eficiente, sostenible e inclusiva en ciudades de ALC. El incremento de las tasas de motorización, el descenso en el uso del transporte público y la falta de coordinación en la planificación del uso del suelo y transporte han tenido un severo impacto en los niveles de congestión, contaminación y otras externalidades (accidentes, ruido). Con respecto a la congestión, por ejemplo, la región alberga cuatro de las cinco ciudades más congestionadas del mundo (Bogotá, Río de Janeiro, Ciudad de México y San Pablo), en las cuales los costos económicos generados por ésta equivalen a los recursos que estas ciudades invierten en salud o educación. En este contexto, el uso del automóvil presenta desafíos importantes de política pública.

A continuación, presentaremos cuatro reflexiones, a modo de conclusión de este estudio, sobre de qué manera son útiles los resultados obtenidos a fin de informar las decisiones de política pública para la construcción de una movilidad más sostenible en ciudades de la región. Estas reflexiones tienen como propósito fungir como punto de partida para futuros análisis más profundos acerca de qué medidas pueden ser implementadas por las ciudades para reducir los incentivos al uso

irrestringido del vehículo particular. Estas medidas, que se desprenden directa e indirectamente de los resultados aquí obtenidos, una vez destalladas y sopesadas en el contexto de cada ciudad, deben ser integradas a la batería de políticas que son necesarias para incentivar el cambio hacia una movilidad más sostenible, como son la mejora de la calidad del transporte público y la facilitación de la movilidad activa.

1. Es clave impulsar la integración del automóvil y la motocicleta con el transporte masivo como primera y última milla

Fomentar una movilidad más sostenible en nuestras ciudades requiere estimular el cambio modal especialmente para los viajes recurrentes, fomentando el uso de transporte masivo. Sin embargo, la *funcionalidad* y la *comodidad* del vehículo particular hacen que la gran mayoría de sus usuarios lo elija como principal opción para sus viajes habituales e, incluso, cuando no está disponible, modifiquen sus viajes para no cambiar de modo. Ahora bien, nuestros resultados también indican que, a medida que incrementa la accesibilidad al transporte masivo, también aumenta la elección del mismo frente al automóvil. En estos casos, en la ausencia de automóvil, los usuarios habituales ven como alternativa principal a servicios como Metro y BRT (Transmilenio), en las ciudades analizadas. Como mencionaremos más abajo, mejorar la calidad del transporte masivo, incluyendo su accesibilidad, es crítica para captar mayores usuarios en zonas de alta densidad poblacional.

Hay áreas, sin embargo, donde la baja densidad poblacional no hace sostenible la presencia de un transporte público de alto estándar como para satisfacer las diferentes necesidades de movilidad de sus residentes. En particular, en las últimas décadas, ha a florado la construcción de barrios de estratos medios y altos en zonas suburbanas, cuyos habitantes utilizan el automóvil - con dos o hasta tres vehículos por unidad familiar - para sus viajes recurrentes a los centros urbanos. La gran afluencia de estos vehículos en horarios pico genera grandes presiones sobre la capacidad de la infraestructura urbana. En estos casos, y en general en los desplazamientos de mayor distancia que se observan masivamente en ciudades de gran tamaño y fuerte segregación, es necesario fomentar un sistema de transporte multimodal que integre al transporte privado como primera y última milla de los servicios de transporte público de alto estándar (como Metro y Transmilenio, en las ciudades analizadas) y que, por otro lado, lo restrinja en aquellos momentos y lugares en que su uso es perjudicial para la sociedad. Así, en zonas suburbanas, los viajes en automóvil se podrían realizar hasta/desde las paradas de transporte público de alto estándar, dejando el tramo de viaje urbano a

modos más eficientes. Las medidas de *Park & Ride* han tenido buenos resultados en este sentido, cuando han sido acompañadas de restricciones a estacionamientos e ingresos a los centros urbanos y de mejoras en la calidad del transporte masivo (Calatayud et al., 2021). Por otro lado, dentro de las propias zonas urbanas, una adecuada conectividad multimodal, que considere la instancia de *drop off* desde el vehículo liviano, también permitiría reducir el uso de auto en los sectores más congestionados de la ciudad, al facilitar la ida a la estación o incluso fomentar los servicios de vehículo privado pagado (taxi, taxi colectivo, servicios por aplicaciones) para utilizarlos en tramos de acceso y egreso, de corta extensión.

Dada la fuerte preferencia por la movilidad privada en los estratos medios y altos en las ciudades de ALC, no es realista esperar un cambio modal sin que se mejore sustancialmente la calidad de los servicios de transporte público. Estudios recientes dan cuenta de deficiencias en materia de flota de transporte, accesibilidad, interoperabilidad, confiabilidad, disponibilidad de servicios y seguridad de los pasajeros (Rodríguez et al., 2020). Respecto a las ciudades analizadas, en 2019 los usuarios de transporte público de Santiago evaluaron con nota promedio 4,6 (en una escala de 1 a 7, donde 4 es la nota de aprobación) el sistema de transporte público de la ciudad (DTPM, 2020). En Bogotá, la cantidad de usuarios satisfechos con Transmilenio aumentó de 18% en 2016 a 23% en 2019, mientras que los usuarios satisfechos con el sistema de buses, SITP, disminuyó de 32% a 24% en los mismos años. Por otro lado, el transporte privado - automóvil y motocicleta - reporta que más del 80% de los usuarios se encontraba satisfecho el año 2019. Así, incrementar la calidad del transporte público exige acciones en diferentes dimensiones: disponibilidad de servicios, accesibilidad universal, información, tiempos de viaje y espera, atención al cliente, comodidad, seguridad e impacto ambiental, así como el reconocimiento de patrones de movilidad diferenciados según el género de los usuarios y condiciones de viaje distinta a las del usuario típico (Calatayud et al., 2021).

Por otro lado, los resultados sugieren que las aplicaciones móviles se encuentran entre las alternativas más utilizadas si el auto no está disponible, especialmente en Santiago. Por esto, es urgente poner foco en la regulación de las mismas y su integración como modo de acceso a la red de transporte público (en particular al Metro y estaciones de Transmilenio). El objetivo, en este sentido, sería regular su estructura tarifaria para favorecer su uso como modo de acceso y no como modo principal (mediante una tarifa diferenciada por longitud de viaje, por ejemplo), y facilitar la creación de sitios de combinación cómodos y bien localizados en torno a las estaciones de transporte masivo, desde donde estos servicios pueden cubrir la primera o última milla de los viajes recurrentes. Al regular este tipo de servicios, y favorecer su incorporación en puntos convenientes

de la red, se estaría ofreciendo un sistema multimodal más diverso y configurando una alternativa deseable para usuarios asiduos de automóvil, que no se cambiarían fácilmente a modos masivos de menor calidad.

Por otro lado, aunque los servicios por aplicaciones pueden ser una buena alternativa para la población de ingreso medio y alto - en particular, para los usuarios más asiduos de automóvil - no parecen tan atractivos para la población de ingreso bajo. En este sentido, en muchas ciudades de la región la motocicleta opera como un sustituto del automóvil particular para menores niveles de ingreso. De hecho, nuestro estudio ratifica esta preferencia. Si no se regula adecuadamente su uso, la motocicleta conlleva un riesgo significativo en términos de siniestros viales. En ALC, la mortalidad en siniestros viales que involucran motocicletas es particularmente alta, pues representa el 23% de las muertes totales (BID, 2020). La mejora de la calidad de los servicios de transporte mencionado anteriormente, unido a subsidios focalizados para la población de menores ingresos, pueden contribuir a reducir la utilización de motocicletas para los viajes recurrentes y, así, reducir la probabilidad de siniestros viales donde estas estén involucradas.

2. Es legítimo que las personas aspiren a tener y adquieran un auto o una moto. Ahora bien, los costos que su uso genera para la sociedad urgen a repensar sobre cuándo es sostenible su utilización.

Ante todo, se trata de evitar el paradigma de entender al vehículo particular como el *enemigo del transporte público*, pues los resultados del estudio muestran que el uso del automóvil (y también de la motocicleta) responde a necesidades de viajes hoy muchas veces difíciles de atraer por el sistema de transporte público, en especial si este es de baja calidad. En este sentido, en contextos urbanos crecientemente congestionados, el objetivo no es que los habitantes no usen el automóvil, sino lograr que empleen alternativas más sostenibles para sus viajes regulares. En lo que respecta a las ciudades aquí estudiadas, se observa que cuando los viajeros encuestados tienen efectivamente disponible un vehículo privado (incluyendo motocicleta), realizan más del 75% de sus viajes regulares en este. Además, mientras más disponible está el vehículo privado en los hogares, más se utiliza individualmente.

La experiencia internacional y la literatura en el sector señalan que, en estas situaciones, para reducir el impacto que el uso del automóvil tiene en el bienestar social, se requieren tanto políticas de gestión de demanda del automóvil como mejores alternativas de transporte. El primer tipo de políticas incluye una batería de acciones relacionadas con restricciones y/o cobros por la utilización

del vehículo particular. Calatayud et al. (2021) presentan un análisis detallado de las mismas. Aquí señalaremos brevemente aquellas relacionadas con el desincentivo focalizado en zonas críticas de la ciudad. Varios esfuerzos pueden realizarse mediante la gestión de estacionamientos, desde acotarlos en sectores residenciales para privilegiar el uso del espacio y generar redes para los modos amigables (mejor peatonalización y ciclovías de buen estándar), hasta encarecerlos o limitarlos en zonas de densificación (en torno a estaciones de Metro, por ejemplo). Una política correcta debería ir en el sentido de encarecer, en forma efectiva, el uso del modo en aquellos momentos y zonas en que su uso contribuye a empeorar el sistema, sopesando las externalidades causadas; esto es, no se sugiere un desincentivo a la tenencia en general. Ahora bien, respecto de dicho encarecimiento, los resultados de esta investigación muestran que el costo de uso parece tener un efecto débil en la decisión de utilizar el modo, por lo que se requeriría de tarifas altas, en cortos períodos y zonas específicas, para apuntar en la dirección correcta de reducir la congestión.

No menos importante es que en las políticas públicas diseñadas se revisen los efectos indirectos e involuntarios que estas pueden tener. El caso de *Pico y Placa* en Bogotá, es un ejemplo de cómo una política tendiente a empujar a los conductores a cambiarse a otros modos alternativos de transporte, puede resultar en un efecto contraproducente: la compra masiva de un segundo carro o de una moto con placa diferente para evitar la restricción. En Santiago, se observó que medidas de restricción efectivas en el corto plazo terminaban siendo inocuas en el largo plazo. Considerando que la variable costo tiene un efecto de menor importancia a la hora de elegir modo de transporte, la iniciativa reciente de Bogotá, tendiente a implementar un pago por el cual los automovilistas pueden eximirse del *Pico y Placa*, va en una dirección correcta, ya que propone utilizar los recursos provenientes de la medida para fortalecer sistemas de transporte alternativos al vehículo particular.

Dada la fuerte preferencia por el uso del automóvil en ambas ciudades, y en los estratos medios y altos de la población, pueden considerarse medidas que incentiven el uso compartido de los mismos, ya sea dentro del grupo familiar, con cercanos o con otras personas del barrio, oficina o comunidad, aprovechando las nuevas tecnologías existentes. Al respecto, existen mecanismos concretos como tarifas variables según tasa de ocupación del vehículo y uso de carriles exclusivos para vehículos con alta ocupación, y pudiera pensarse también en el fomento de servicios específicos que faciliten el compartir auto. Estas medidas deben ir acompañadas de mejoras en la calidad del transporte público - incluyendo su accesibilidad - a fin de reducir el uso de vehículos particulares para viajes recurrentes en el mediano plazo.

Finalmente, dada la estrecha relación entre tenencia y uso del automóvil, y aprovechando la mayor flexibilidad de los estratos más jóvenes para utilizar diferentes modos de transporte, podría apuntarse a retrasar el momento de adquisición, lo que pudiera verse facilitado si se fomenta el uso de servicios de vehículos en arriendo, para su uso ocasional, y se refuerzan los modos más sostenibles como la bicicleta y el transporte público.

3. Lograr arraigar la imagen positiva de modos de transporte más sostenibles, convirtiéndolos en alternativas viables y atractivas frente al automóvil

En los últimos años, diferentes estudios en países avanzados han dado cuenta de la mayor sensibilidad de poblaciones más jóvenes al fomento de una movilidad más sostenible, incrementando el uso de la bicicleta, la caminata y el transporte público (UK Office for Science, 2019). Si bien los resultados para Santiago y Bogotá también muestran una mayor flexibilidad de estas poblaciones para el uso de diferentes modos de transporte, lo cierto es que existe un fuerte arraigo de variables como *Norma Social* y *Estatus* (con una puntuación promedio de 4,0 y 3,9 respectivamente, en Santiago y Bogotá), *Necesidad* (media de 3,9 en ambas ciudades, en escala de 1 a 5) y *Comodidad*³⁶ (la cual resultó significativa en el modelo de uso de vehículo privado en Bogotá), que incentivan el uso de vehículos particulares. También es interesante destacar que los constructos *Estatus*³⁷ y *Estilo*³⁸ aparecen como significativos, aunque de manera diferente en ambas ciudades. En Bogotá, el constructo *Estilo* aparece ligado a la tenencia, no al uso. En Santiago, en cambio, el constructo *Estatus* aparece asociado con el uso.

En todo caso, la utilización del automóvil muchas veces está asociada a elementos de percepción más que a variables observables como tiempo y costo del viaje. Nuevamente, no se trata de generar una guerra la automóvil, sino de educar a la población acerca de la disponibilidad de otros modos de transporte más sostenibles y de la necesidad de utilizarlos para los viajes recurrentes. Esto es, modos que permiten un estilo de vida activo, como la caminata y la bicicleta, y modos que generan

³⁶ Conformada por las afirmaciones: “requiero flexibilidad para adaptar mis horarios”, “me permite transportar personas con movilidad reducida”, y “no puedo acceder a mi destino por transporte público”.

³⁷ Los indicadores que definen *Estatus* son las afirmaciones: “mi auto es mi joyita”, “mi auto es mi espacio personal”, “comprarme auto fue importante”.

³⁸ Los indicadores que definen *Estilo* son las afirmaciones: “tener carro va con mi estilo de vida”, “me permite no depender de otros”, “me gusta conducir”, “mi auto es mi consentido”, “mi auto es mi espacio personal”, y “comprar carro fue importante para mí”.

una mejor utilización del espacio disponible a nivel urbano y una menor contribución al cambio climático, como el transporte masivo. En esta línea, sería útil pensar, por ejemplo, en campañas o contenidos educativos para que las generaciones futuras perciban a los modos más eficientes (en particular el transporte público y los modos activos) como una opción saludable y menos contaminante (factores perceptuales que no se han demostrado realmente incidentes en el desincentivo al uso), y como adecuados al estilo de vida y necesidades del usuario. Por ejemplo, asociarlos a conceptos de libertad, pertenencia o independencia, que están más orientados al estilo de vida o necesidad individual, lo que pudiera ser incidente, en especial, en cierta etapa del ciclo de la vida de la persona o familia.

A favor de los modos de transporte público y aplicaciones, los modelos estimados en el estudio muestran que cuando el individuo percibe un mayor nivel de *Funcionalidad* en ellos, aumentan sus preferencias de uso; no obstante, la funcionalidad es más un resultado de la experiencia que algo en que podría inducir un cambio de percepción. En términos de cambio de actitud frente a diferentes modos de transporte, la literatura es clara que las percepciones pueden ser cambiadas mediante la experimentación con diferentes opciones. En este sentido, muchos usuarios del automóvil nunca han utilizado transporte público o bicicleta. Así, políticas como la del *día sin carro*, que en Bogotá se lleva a cabo el primer jueves de cada año desde hace más de 20 años, tiene la intención de sacar a los conductores de su zona de confort, experimentando con otras opciones de transporte. Sin embargo, la mejora de la percepción de modos alternativos de transporte debe ir acompañado por acciones decididas a incrementar su calidad. Solo así será posible estimular un uso socio-ambientalmente más eficiente del automóvil.

4. *Diseñar ciudades menos dependientes del automóvil*

Nuestros datos muestran que, en zonas con uso de suelo más variado, o más densamente pobladas, decrece la probabilidad de tener uno o más autos en el hogar. La cantidad de paraderos de buses en el radio de influencia directa del hogar también disminuye la probabilidad de tener uno o más vehículos privados (y de motocicletas en el caso de Bogotá). Así, una planificación urbana que apunte a acercar los polos atractores de viajes a los hogares, generando zonas bien dotadas de servicios e infraestructura, debiera promover un natural desincentivo al uso del auto. Ello también podría contribuir a atacar cuestiones más estructurales, que hacen preferible al automóvil para viajes recurrentes; por ejemplo, la composición de la familia (la presencia de más hijos y personas

no activas incentiva la adquisición de mayor número de vehículos en el hogar³⁹) y la estructura de los viajes (si estos consideran paradas intermedias o se asocian a otros viajes ligados, se observa mayor preferencia por el uso del auto). Las zonas con uso variado del suelo, que acercan actividades laborales, comerciales, educativas y recreativas, entre otras, a las residencias habitacionales reducen el número de viajes ligados e incrementan la posibilidad de movilizarse en modos activos.

Diseñar ciudades menos dependientes del automóvil también requiere una coordinación en la planificación del uso del suelo y del transporte. Nuestros resultados invitan a reflexionar acerca de orientar cada vez más la planificación del transporte en torno al usuario actual y potencial. Las estrategias de transporte multimodal, unidas al uso creciente de la tecnología para la individualización de las necesidades de los usuarios son clave en este sentido. En efecto, un aspecto importante de nuestros resultados es que las decisiones sobre el uso del automóvil parecen responder muy fuertemente a las necesidades de los hogares, y mientras estas necesidades no se puedan resolver satisfactoriamente con otros modos, se seguirá observando un aumento de la tasa de motorización y, con ello, un alto uso del auto a medida que nuestras ciudades se van alejando de la pobreza. Repensar al transporte en torno a las preferencias de los usuarios también implica poder ofrecer opciones viables a las *necesidades* que hoy hacen más preferible el uso del vehículo particular.

³⁹ Lo anterior se concluye especialmente de los resultados de Santiago, habiendo controlado por el tamaño del hogar. En Bogotá, posiblemente debido a su baja tasa de motorización, solo se logró detectar como factores promotores de tenencia en este sentido, que el hogar tuviera hijos menores de 14 años y hombres activos.

9 Bibliografía

- Armstrong, P.M., Garrido, R.A. & Ortúzar, J. de D. (2001). Confidence intervals to bound the value of time. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* **37**, 143-161.
- Bahamonde-Birke, F.J. & Ortúzar, J. de D. (2014). On the variability of hybrid discrete choice models. *Transportmetrica A: Transport Science* **10**, 74–88
- Bahamonde-Birke, F.J., Kunert, U., Link, H. & 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.
- Ben-Akiva, M.E., Walker, J.L., Bernardino, A.T., Gopinath, D.A., Morikawa, T. & Polydoropoulou, A. (2002). Integration of choice and latent variable models. En: Mahmassani, H.S. (ed.), *In Perpetual Motion: Travel Behaviour Research Opportunities and Challenges*. Pergamon, Amsterdam.
- BID. (2020). Documento de Marco Sectorial de Transporte.
- Bollen, K.A. (1989). *Structural Equations with Latent Variables*. Wiley, Chichester.
- Domarchi, C., Coeymans, J.E. & Ortúzar, J. de D. (2019). Shared taxis: modelling the choice of a paratransit mode in Santiago de Chile. *Transportation* **46**, 2243–2268.
- Eriksson, L., Garvill, J. & Nordlund A.M. (2008). Interrupting habitual car use: the importance of car habit strength and moral motivation for personal car use reduction. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **11**, 10-23.
- Fajarindra Belgiawan, P., Schmöcker, J.D., Abou-Zeid, M., Walker, J. & Fujii, S. (2017). Modelling social norms: case study of students' car purchase intentions. *Travel Behaviour and Society* **7**, 12-25.
- Gao, Y, Rasoulib, S., Timmermans, H.J.P. and Wanga, Y. (2014). Reasons for not buying a car: a probit-selection multinomial logit choice model. *Procedia Environmental Sciences* **22**, 414 – 422.
- Gaudry, M.J.I., Jara-Díaz, S.R. & Ortúzar, J. de D. (1989). Value of time sensitivity to model specification. *Transportation Research Part B: Methodological* **23**, 151-158.
- Gutiérrez, M., Hurtubia, R., Ortúzar, J. de D. (2020). The role of habit and the built environment in the willingness to commute by bicycle. *Travel Behaviour and Society* **20**, 62-73.
- He, S. & Thøgersen, J. (2017). The impact of attitudes and perceptions on travel mode choice and car ownership in a Chinese megacity: the case of Guangzhou. *Research in Transportation Economics* **62**, 57-67.
- Hensher, D.A. & Reyes, A.J. (2000). Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport. *Transportation* **27**, 341–361.
- Ho, C.Q. & Mulley, C. (2013). Multiple purposes at single destination: a key to a better understanding of the relationship between tour complexity and mode choice. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **49**, 206–219.
- Jara-Díaz, S.R., Munizaga, M. & Guerra, R. (2005). Acerca de la enorme sensibilidad del valor subjetivo del tiempo a la especificación del ingreso en la función de utilidad. *Actas del XII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*.

- Kopnina, H. & Williams, M. (2012). Car attitudes in children from different socio-economic backgrounds in The Netherlands. *Transport Policy* **24**, 118-125.
- Liu, Y. & Cirilo, C. (2020). Modeling sequences of discrete and continuous variables over time with an application to the vehicle ownership and usage problem. *Transportmetrica B: Transport Dynamics* **8**, 332–350.
- Martins, E., Jakobsson, C. & Nässén, J. (2020). Understanding daily car use: driving habits, motives, attitudes, and norms across trip purposes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **68**, 306-315.
- Moody, J. & Zhao, J. (2019). Car pride and its bidirectional relations with car ownership: case studies in New York City and Houston. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **124**, 334-353.
- Olde Kalter, M.J., Paix Puello, L.L. & Geurs, K.T. (2020). Do changes in travellers' attitudes towards car use and ownership over time affect travel mode choice? A latent transition approach in The Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **132**, 1-17.
- Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport*. Wiley, Chichester.
- Silva-Ramos, E., Jakobsson Bergstad, C. & Nässén, J. (2020). Understanding daily car use: driving habits, motives, attitudes, and norms across trip purposes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **68**, 306-315.
- Steg, L., Vlek, C. & Slotegraaf, G. (2001). Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **4**, 151-169.
- Tan Van, H., Choocharukul, K. & Fujii, S. (2014). The effect of attitudes toward cars and public transportation on behavioral intention in commuting mode choice—a comparison across six Asian countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **69**, 36-44.
- TomTom. (2020). Traffic congestion ranking | TomTom Traffic Index. https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/
- UK Office for Science (2019). A time of unprecedented change in the transport system. *Government Office for Science*.
- Verplanken, B., Aarts, H. & Knippenberg, A. (1997). Habit, information acquisition, and the process of making travel mode choices. *European Journal of Social Psychology* **27**, 539-560.
- Verplanken, B. & Orbell, S. (2003). Reflections on past behaviour: a self-report index of habit strength. *Journal of Applied Social Psychology* **33**, 1313–1330.
- Whelan, G. (2007). Modelling car ownership in Great Britain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **41**, 205–219.
- Ye, X., Pendyala, R.M. & Gottardi, G. (2007). An exploration of the relationship between mode choice and complexity of trip chaining patterns. *Transportation Research Part B: Methodological* **41**, 96–113.
- Zegras, P.C. & Hannan, V.A. (2012). Dynamics of automobile ownership under rapid growth: case study of Santiago, Chile. *Transportation Research Record* **2323**, 80–89.
- Zhou, M. & Wang, D. (2019). Generational differences in attitudes towards car, car ownership and car use in Beijing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **72**, 261-278.