



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

MODELOS DE COMPORTAMIENTO DE USUARIOS DE TAXI COLECTIVO EN SANTIAGO

CRISTIAN ANDRES DOMARCHI GONZALEZ

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

Profesores Supervisores:

JUAN ENRIQUE COEYMANS AVARIA

JUAN DE DIOS ORTUZAR SALAS

Santiago de Chile, Diciembre, 2017

© 2017, Cristian Domarchi González



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

MODELOS DE COMPORTAMIENTO DE USUARIOS DE TAXI COLECTIVO EN SANTIAGO

CRISTIAN ANDRES DOMARCHI GONZALEZ

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

JUAN ENRIQUE COEYMANS AVARIA

JUAN DE DIOS ORTUZAR SALAS

SEBASTIAN RAVEAU FELIU

ALEJANDRO TUDELA ROMAN

HERNAN DE SOLMINIHAC TAMPIER

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Diciembre de 2017

*(A Melissa, porque es “mi amor, mi
cómplice y todo”).*

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el proyecto FONDEF D10E1049, que también aportó con información para su desarrollo. Acredito también el apoyo del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable CEDEUS (CONICYT/FONDAP/15110020) y el Instituto en Sistemas Complejos de Ingeniería (CONICYT: FB0816).

En primer lugar deseo agradecer a los profesores supervisores de mi trabajo. Sin el apoyo y consejo del profesor Juan Enrique Coeymans jamás habría considerado la posibilidad de iniciar un postgrado después de varios años de trabajo profesional. Sin la experiencia y sabiduría del profesor Juan de Dios Ortúzar no me habría sido posible concluirlo. Quedo eternamente agradecido de su exigencia y compromiso. Trabajar con profesionales de su prestigio y calidad humana ha sido una experiencia enriquecedora y un honor. Agradezco también la gentileza y excelente disposición de Francisco Bahamonde-Birke y Sebastián Raveau para responder mis dudas y ayudarme en la toma de decisiones, así como a Alejandro Tudela y Hernán de Solminihac por sus valiosos comentarios.

Agradezco a DICTUC el financiamiento parcial de mis estudios y la flexibilidad que me permitió –no sin dificultades– complementar estudio y trabajo en estos años. Doy gracias a todos mis compañeros de trabajo del ex Área Soluciones de Movilidad y de DICTUC-Transporte, por las conversaciones, la comprensión y el apoyo. Entrego mi reconocimiento al profesionalismo del equipo de trabajo cualitativo y a mi dedicado equipo de encuestadoras y digitadores, por su compromiso con este proyecto. También agradezco a los compañeros de estudio y del proyecto FONDEF que conocí en este tiempo, varios de los cuales contribuyeron a que la experiencia de volver a estudiar resultara inolvidable.

Doy gracias a Dios por su presencia permanente en mi vida. Agradezco el cariño de mis padres, mi hermana y mi creciente familia extendida, que ha sido fundamental para este logro. Y a Melissa, mi compañera de camino, mi eterna gratitud por su amor incondicional e infinita paciencia, y por entregarme la fuerza faltante en los momentos más difíciles. Sólo gracias a su apoyo es que esta larga historia pudo tener un final feliz.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Alcances	3
1.3 Estructura	4
2. TELON DE FONDO	5
2.1 Aspectos Normativos e Históricos	5
2.1.1 Definiciones normativas	6
2.1.2 Breve reseña histórica.....	7
2.2 La Operación de Taxis Colectivos en Santiago	10
2.2.1 Uso de taxi colectivo en Chile	10
2.2.2 La red de taxis colectivos de Santiago.....	12
2.2.3 Los usuarios del taxi colectivo en Santiago.....	16
2.3 El Taxi Colectivo como “Transporte Público Alternativo”	20
2.3.1 <i>Paratransit</i> : conceptos básicos	20
2.3.2 Estándar normativo del <i>paratransit</i>	22
2.3.3 Modelos de comportamiento de usuarios de <i>paratransit</i>	23
2.3.4 El taxi colectivo chileno como modo <i>paratransit</i>	24
3. MODELACION DE LA DEMANDA	26
3.1 Modelos de Elección Discreta.....	26
3.1.1 Modelo Logit Multinomial (MNL).....	28

3.1.2	Modelo Logit Jerárquico (NL).....	30
3.1.3	Modelo Logit Mixto (ML).....	32
3.1.4	Pruebas estadísticas para los modelos de elección discreta	34
3.2	Modelos Híbridos de Elección Discreta con Variable Latente	36
3.2.1	Planteamiento del modelo.....	36
3.2.2	Métodos de estimación	39
3.2.3	Sobre la aplicabilidad e interpretación de los resultados	43
4.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	45
4.1	Definiciones Básicas	45
4.1.1	Metodología general	45
4.1.2	Zonas y horarios de encuesta	48
4.1.3	Puntos de encuesta y método de muestreo.....	51
4.2	Diseño del Instrumento	53
4.2.1	Información del Viaje y del Usuario.....	54
4.2.2	Indicadores de percepción	55
4.3	Aplicación de la Encuesta	59
4.3.1	Encuesta piloto.....	60
4.3.2	Encuesta definitiva.....	60
5.	GENERACION DEL BANCO DE DATOS	65
5.1	Generación de alternativas	65
5.1.1	Disponibilidad de alternativas	65
5.1.2	Procedimiento de generación de rutas alternativas.....	67
5.2	Cálculos y Mediciones de Niveles de Servicio	71
5.2.1	Niveles de servicio en taxi colectivo	71
5.2.2	Niveles de Servicio en transporte público mayor	76
5.2.3	Resumen de niveles de servicio por modo.....	79
5.3	Expansión y Corrección de la Muestra	79
6.	ESTIMACION Y RESULTADOS.....	83
6.1	Modelos Básicos de Elección Discreta	83
6.2	Identificación y Análisis de Variables Latentes	91
6.2.1	Análisis del cuestionario de indicadores de percepción	91
6.2.2	Análisis factorial exploratorio	92
6.2.3	Análisis factorial confirmatorio	95

6.3	Modelos Híbridos de Elección Discreta.....	99
6.3.1	Criterios generales de modelación.....	99
6.3.2	Estructura general de los modelos híbridos.....	102
6.3.3	Resultados de los modelos híbridos.....	103
6.4	Análisis de los Modelos de Elección.....	110
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
7.1	Conclusiones.....	115
7.1.1	Sobre las Características Operativas del Taxi Colectivo.....	115
7.1.2	Sobre la Encuesta de Percepción.....	116
7.1.3	Sobre los Modelos de Comportamiento.....	117
7.1.4	Sobre Regulación y Política Pública.....	118
7.2	Recomendaciones.....	121
	BIBLIOGRAFIA.....	124
	A N E X O S.....	135
	Anexo A: Especificaciones de Encuesta.....	136
	Anexo B: Pauta de Grupos Focales.....	143
	Anexo C: Metodología de Medición de Tiempos de Espera.....	146
	Anexo D: Resultados de las Mediciones.....	149
	Anexo E: Análisis Factorial y Definición de Variables Latentes.....	155
	Anexo F: Cálculo de Elasticidades Agregadas.....	159
	Anexo G: Modelo de Imputación de Ingresos.....	161

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1: Volúmenes de viajes en taxi colectivo y comparación con totales de viajes .	11
Tabla 2-2: Total de viajes que usa taxi colectivo según modo y número de etapas	16
Tabla 2-3: Diferencias entre viajeros de taxi colectivo y de modo Bip! (Bus/Metro).....	18
Tabla 4-1: Agrupaciones de servicios de taxi colectivo según destino.....	52
Tabla 4-2: Información del viaje y el usuario recopilada en la encuesta	54
Tabla 4-3: Atributos relevantes en la elección del modo taxi colectivo en Santiago	57
Tabla 4-4: Indicadores de percepción sobre el taxi colectivo	59
Tabla 4-5: Total de encuestas válidas obtenidas según zona de encuesta y modo	61
Tabla 4-6: Estadística descriptiva de la muestra – Resumen	62
Tabla 5-1: Alternativas disponibles por usuario según modo escogido.....	66
Tabla 5-2: Valores medios, mínimos y máximos por atributo y tipo de alternativa.....	79
Tabla 5-3: Volumen de viajes (18:00–20:00), partición modal y factor de corrección ...	81
Tabla 6-1: Resultados de los modelos simples de elección discreta.....	88
Tabla 6-2. Resultados de <i>test</i> de razón de verosimilitud para modelos simples.....	89
Tabla 6-3: Evaluaciones medias en los indicadores de percepción	91
Tabla 6-4: Resultados del análisis factorial exploratorio.....	94
Tabla 6-5: Resultados del análisis factorial confirmatorio	97
Tabla 6-6: Modelos híbridos de elección discreta – Modelos de medición.....	106
Tabla 6-7: Modelos híbridos de elección discreta – Modelos estructurales	107
Tabla 6-8: Modelos híbridos de elección discreta – Modelos de elección	109
Tabla 6-9: Resumen de los valores subjetivos del tiempo según modelo.....	111
Tabla 6-10: Resumen de elasticidades de la demanda según atributo y modelo	112
Tabla A-1: Puntos de encuesta y servicios medidos	136
Tabla D-1: Resumen de las mediciones de tiempos de viaje	149
Tabla D-2. Resultados de la medición de frecuencia y tasas de ocupación.....	150
Tabla D-3. Resultados de la medición de longitudes de cola y tiempos de espera.....	153

Tabla G-1. Modelo de regresión lineal para imputación de ingresos 162

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2-1: Histograma de flota por empresa de taxi colectivo, Santiago	12
Figura 2-2: Cobertura de la red de taxis colectivos de Santiago.....	17
Figura 2-3: Comunas según % de viajes en taxi colectivo sobre el total de viajes en transporte público.....	19
Figura 3-1: Estructura de un modelo híbrido de elección discreta con variable latente ..	39
Figura 4-1: Zonas de encuesta y servicios que operan en ellas.....	50
Figura 4-2: Distribución de destinos de los encuestados	64
Figura 5-1: Ilustración del proceso de generación de alternativas de taxi colectivo	70
Figura 5-2: Histograma de distancias de viaje en taxi colectivo.....	72
Figura 5-3: Histograma de tiempos de espera por servicios de taxi colectivo.....	74
Figura 5-4: Tarifas de servicios de taxi colectivo según distancia de viaje	77
Figura 6-1. Estructura jerárquica de los modelos NL	85
Figura 6-2: Resumen del modelo de análisis factorial confirmatorio	98
Figura 6-3: Esquematización de estructura MIMIC.....	105
Figura A-1: Servicios de taxi colectivo que operan en Bellavista de La Florida.....	137
Figura A-2: Servicios de taxi colectivo que operan en Lo Ovalle	138
Figura A-3: Servicios de taxi colectivo que operan en Cal y Canto	139
Figura C-1: Curvas acumuladas de salidas y llegadas de usuarios de taxi colectivo.....	146

RESUMEN

El taxi colectivo es un modo de transporte público característico de las ciudades chilenas, que opera a través de vehículos livianos con una capacidad máxima de cuatro asientos, área de cobertura definida y recorrido en principio fijo (aunque eventualmente adaptable a las necesidades de los pasajeros). En Santiago, durante un día laboral normal se realizan casi 700.000 viajes utilizando este modo en alguna de sus etapas. Esto equivale a cerca de 4% del total de viajes de la ciudad, aunque la participación es superior en zonas y horarios con baja cobertura de bus y Metro. Este estudio representa un primer intento por considerar al taxi colectivo como una alternativa relevante de transporte, analizar los atributos que lo diferencian de otras opciones y modelar su demanda mediante modelos de elección discreta. Con este propósito, luego de un análisis de la red y su operación, se diseña y aplica una encuesta de preferencias reveladas (incluyendo indicadores de percepción) a una muestra de usuarios de transporte público en Santiago que tuvieran disponible al taxi colectivo como alternativa. Los resultados muestran una evaluación positiva de los atributos que distinguen la operación del taxi colectivo, tales como la posibilidad de ser dejado en un destino conveniente, viajando sentados y evitando transbordos. La valoración subjetiva de los atributos en los modelos de elección confirma la fuerte penalización otorgada por los usuarios a alternativas que impliquen transbordos o incrementos en el tiempo de caminata. El análisis de los resultados también muestra que la caracterización de los usuarios de taxi colectivo es altamente relevante en la discusión sobre su regulación y modernización, considerando que se requiere preservar sus atributos positivos en un contexto de integración eficiente con el resto del sistema de transporte público.

Palabras Claves: taxi colectivo, modelos de elección discreta, *paratransit*, planificación de transporte público

ABSTRACT

The shared taxi is a typical public transport mode in Chilean cities. It operates with light vehicles offering a maximum capacity of four seats, a predefined coverage area and a route that is fixed in principle, but can be adapted to meet passengers' needs. During a normal day in Santiago, almost 700,000 trips use shared taxis during one of their stages. This represents about 4% of the total trips in the city, although this modal share increases in zones and periods with low Metro and bus coverage. This study is a first attempt at studying shared taxis as a relevant transport alternative, analysing its main attributes and modelling its demand with discrete choice models. With this purpose, after an analysis of the network and its operation, a revealed preference survey (including perceptual indicators) was applied to public transport users in Santiago who had shared taxi as a feasible alternative. Results show a positive evaluation of the mode's unique attributes, such as the possibility of travelling seated, reducing the need to transfer and alighting at a convenient destination. The subjective valuation of the attributes derived from the discrete choice models confirm the strong penalty assigned by users to alternatives implying transfers or increased walking times. The analysis also shows that studying the characteristics of shared taxi users is highly relevant in a discussion about its regulation and modernization, considering that, while it is desirable to preserve the mode's positive attributes, this should be done in a context of an efficient integration with the rest of the transport system.

Keywords: shared taxi, discrete choice models, *paratransit*, public transport planning

1. INTRODUCCION

El taxi colectivo es un modo de transporte público característico de las ciudades de Chile, prestado a través de vehículos livianos con una capacidad máxima de cuatro asientos, área de cobertura definida y recorrido en principio fijo, aunque eventualmente adaptable a las necesidades de los pasajeros. Durante un día laboral normal del año 2012 en Santiago de Chile, 696.184 viajes usan taxi colectivo en una o más de sus etapas. Esto equivale a cerca un 4% del total de viajes de la ciudad y un 13% del total diario de viajes en transporte público (SECTRA, 2013a; Muñoz et al., 2015). La participación de mercado de este modo es superior en horario nocturno, así como en comunas con baja densidad habitacional, en que la red de taxis colectivos funciona como complemento a la red de transporte público mayor.

La relevancia del taxi colectivo para la ciudad, sobre todo en su rol de modo complementario a la red de buses y Metro, y en la flexibilidad que otorga llegando a zonas que pudieran no estar adecuadamente cubiertas por el transporte público mayor, es ampliamente reconocida (SUBTRANS, 2013). Adicionalmente, se valoran positivamente sus principales atributos: es un modo que habitualmente se describe como rápido, flexible, seguro, con un horario de funcionamiento extendido, y con una flota moderna (SOCHITRAN, 2013).

Sin embargo, la falta de integración operacional de la red de taxis colectivos con Transantiago, y algunas deficiencias de la regulación vigente, hacen que el modo comparta algunos elementos de lo que habitualmente se denomina “transporte público informal” o *paratransit* (Cervero y Golub, 2007; Amorós-Zurita, 2013), aunque con características específicas del contexto chileno. La forma de operación “informal” suele asociarse principalmente a una falta de regulación que puede traducirse en el aumento de externalidades como congestión, emisiones, ruido y accidentes, y a la informalidad en la operación (SOCHITRAN, 2013), que no resulta deseable desde el punto de vista de la planificación urbana.

El taxi colectivo es un modo poco estudiado en el contexto; así, incluso en Santiago, no se cuenta con una caracterización apropiada de la red y sus principales recorridos, ni con un perfil detallado de sus usuarios y las variables que inciden en la probabilidad de elección del modo. Esta investigación representa un primer intento por estudiar al taxi colectivo como una alternativa relevante de transporte para un gran número de usuarios en la ciudad de Santiago.

Dado que existe un número reducido de estudios enfocados en la red de taxis colectivos de Santiago, así como su flota, estructura de costos y otros aspectos económicos y operativos (MTT, 1992; MTT, 2002; FESUB Concepción, 2006), esta investigación tiene como foco fundamental el estudio de los usuarios del modo, con especial énfasis en identificar, medir y analizar su perfil, características y los atributos del modo que más valoran. De esta forma, será posible analizar las características que diferencian al taxi colectivo de las restantes alternativas en Chile (con especial énfasis en Santiago) y de otros sistemas de *paratransit* en el mundo, entender cuáles son deseables para sus usuarios y la sociedad en su conjunto, y cuáles deben regularse a fin de evitar el indeseado aumento en su informalidad.

1.1 Objetivos

El objetivo general de esta investigación es estimar modelos de comportamiento de usuarios que permitan analizar el efecto de distintos factores contextuales e individuales que podrían incidir en la probabilidad de elección del modo taxi colectivo en Santiago.

A partir de este objetivo general, se definen los siguientes objetivos específicos: 1) caracterizar la red de taxis colectivos operativa en Santiago; 2) diseñar y aplicar un instrumento de medición que permita caracterizar a los usuarios de taxi colectivo; 3) estimar modelos de comportamiento que permitan detectar las principales variables que inciden en la elección de este modo para los usuarios que lo tienen disponible y 4)

derivar de estos modelos algunas recomendaciones de política pública para la eventual regulación del modo.

1.2 Alcances

Este trabajo constituye una primera investigación focalizada en el modo taxi colectivo en Santiago y su relevancia como alternativa de transporte en la ciudad. Así, se trata de un trabajo exploratorio, dedicado a caracterizar de manera general la red y los usuarios de taxi colectivo a través de la sistematización y el análisis de información preexistente.

Considerando el carácter exploratorio del estudio, no se consideró una actualización masiva de la información de base de la red de taxis colectivos en Santiago, proceso que habría involucrado un trabajo de terreno que excedía ampliamente una tesis de Magíster. Asimismo, la construcción del banco de datos de alternativas para la estimación de modelos implicó un conjunto de procedimientos y heurísticas semi-automatizadas que no consideró una codificación de la red de servicios de taxis colectivos en Santiago, tarea que por su amplio alcance también quedó fuera de esta investigación.

Finalmente, al tratarse de un estudio exploratorio concentrado en un modo poco estudiado, la muestra no fue diseñada esperando plena representatividad del total de usuarios del modo, sino que se concentró en puntos específicos en que fuera posible obtener la mayor variabilidad posible en cuanto a servicios y demanda. En cualquier caso, se aplicaron factores de expansión y corrección de manera que la encuesta representara adecuadamente a cada uno de estos puntos, y se supone que éstos, a su vez, son análogos a otros sectores relevantes de Santiago con similares características operativas.

1.3 Estructura

La tesis está estructurada en siete capítulos. El segundo presenta una revisión bibliográfica concentrada en las características de la red y los usuarios del modo taxi colectivo en Santiago, así como sus semejanzas y diferencias con otros sistemas tipo *paratransit* en el mundo. El tercer capítulo describe la metodología empleada para estimar modelos de comportamiento. El capítulo cuarto presenta el diseño del experimento de recopilación de información en terreno, describiendo las principales características de los instrumentos utilizados, así como la metodología de muestreo. El capítulo quinto presenta y analiza el banco de datos obtenido como producto de la aplicación de estos instrumentos, mientras el capítulo sexto discute los resultados de la estimación de los modelos de comportamiento. Finalmente, el capítulo séptimo presenta las conclusiones del estudio, algunas recomendaciones de política pública derivadas de los resultados del mismo, y lineamientos para investigaciones futuras en este ámbito.

2. TELON DE FONDO

El taxi colectivo cumple un rol único en los sistemas de transporte público de las ciudades chilenas. El modo concentra volúmenes importantes de pasajeros en un servicio que, en muchos casos, complementa las redes de los modos de transporte público mayor (como bus y Metro), y en otros se constituye en una alternativa relevante y altamente competitiva. Comparativamente, el taxi colectivo es un modo de transporte menos regulado que los buses y el Metro, lo que, en conjunto con ciertos atributos propios del modo, como el tipo de vehículo utilizado, la atomización del mercado, y la flexibilidad de recorrido, ha llevado a que su estándar operativo sea significativamente distinto al del transporte público mayor.

En este capítulo se presentan y detallan algunas de las principales características normativas y operativas del taxi colectivo en el contexto chileno; también se destacan sus características únicas y se exponen sus principales similitudes y diferencias con sistemas de “transporte público alternativo” o *paratransit* operativos en distintas partes del mundo. Adicionalmente, se describen algunas de las principales características de la red y usuarios de taxi colectivo en el Gran Santiago, las que permiten orientar el diseño metodológico del instrumento de recopilación de información.

2.1 Aspectos Normativos e Históricos

El carácter único del modo taxi colectivo en los sistemas de transporte público de Chile puede entenderse analizando la normativa que actualmente lo rige. Un análisis histórico de su operación en Santiago permite observar que su regulación nunca ha sido el resultado de una planificación central rigurosa, sino más bien ha surgido de la necesidad de ordenar y gestionar un sistema espontáneo, que ha ido respondiendo de manera flexible a las necesidades de movilidad de la ciudad. Este hecho ha sido precisamente una de las principales características que definen el estándar del taxi colectivo como alternativa de transporte en la ciudad.

2.1.1 Definiciones normativas

El taxi colectivo y el taxi básico son modos que disminuyen la brecha entre el automóvil particular y el transporte público de recorrido fijo (O’Ryan *et al.*, 2012). En efecto, ambos permiten que los usuarios realicen sus viajes en vehículos “de alquiler”, con una capacidad máxima de cuatro pasajeros; además, funcionan como complemento a la red de transporte público mayor, especialmente en zonas geográficas y horarios en que las redes de buses, trenes o Metro no cuentan con cobertura o niveles de servicio apropiados (MTT, 2012).

La diferencia fundamental entre el taxi básico y el colectivo radica en los desplazamientos servidos por cada uno. Los taxis básicos son reconocidos legalmente como un modo de transporte privado remunerado de pasajeros (Decreto N° 80, 2004), en el sentido que la prestación del servicio no tiene recorrido ni área de cobertura fija, y el pasajero fija el origen y destino de los viajes (MTT, 2012). La ley de tránsito no incluye a los taxis básicos como vehículos de locomoción colectiva (Ley N° 18290, 1984).

El taxi colectivo, por su parte, es reconocido por la legislación chilena, a partir de la Ley 20378 (2015), como un modo de transporte público menor¹, en que el área de cobertura es fija, al igual que el recorrido, aunque es posible flexibilizar los trazados en ciertas circunstancias, por ejemplo “*para eludir vías congestionadas cuando el vehículo haya completado su capacidad, o en los extremos del trazado y siempre que ningún pasajero se oponga*” (Decreto N° 212, 1992). Adicionalmente, se les autoriza a modificar sus trazados en horario nocturno (entre 22:00 y 7:00) y cuando los vehículos circulan sin prestar servicio. Teóricamente, las modificaciones de trazado deben ser oficializadas mediante resolución de la Secretaría Regional Ministerial correspondiente, aunque en la

¹ “Se entenderá por transporte público menor a los taxis colectivos, en la medida en que estén destinados a un uso masivo por parte de la población, y sometidos a un régimen regulatorio de carácter legal, reglamentario y/o contractual para su debida autorización y fiscalización” (Ley 20378, 2015).

práctica algunos servicios modifican sus trazados durante el viaje, en función de las condiciones operativas que enfrentan y de las necesidades de los pasajeros.

2.1.2 Breve reseña histórica

Según MTT (1992), el servicio de transporte de pasajeros denominado “taxis colectivos” comienza a gestarse el año 1955, cuando un grupo de taxis básicos decide ofrecer un servicio espontáneo e informal de transporte desde la Estación Mapocho hacia destinos como el Estadio Nacional y Club Hípico durante los fines de semana, y en época de espectáculos deportivos. En esos años tan sólo existía acercamiento con la Municipalidad respectiva para legalizar el sistema, ante las multas y sanciones que podían sufrir los dueños de estos vehículos.

El sector mostró un crecimiento paulatino, manteniendo su operación informal y esporádica. En 1962, y debido a continuos paros del servicio de transporte público mayor, se ramificó y extendió la operación de taxis básicos como colectivos, y ya en 1964 los servicios comenzaron a establecerse de manera más armónica y a exigir reconocimiento oficial como modo de transporte público. Recién en 1968 la Subsecretaría de Transportes comenzó la reglamentación del servicio, mediante la entrega de permisos de operación. O’Ryan (2002) estima que en esa época circulaba en Santiago una flota cercana a los 380 vehículos cubriendo 19 recorridos distintos. Durante esos años se formaron las primeras agrupaciones, se establecieron “líneas” organizadas y surgieron los primeros sindicatos.

En 1970 la autoridad gubernamental declaró al servicio de taxis colectivos un “movimiento circunstancial” (MTT, 1992) y definió su reemplazo por otros servicios que transportaran mayor cantidad de pasajeros. Esta medida no llegó a implementarse y, de hecho, durante los siguientes años se reglamentó aún más el servicio de taxis básicos y colectivos, mediante patentes diferenciadas por comunas.

En 1975 el servicio de taxis colectivo fue liberado de toda reglamentación, estableciendo como único requisito de operación la propiedad de un vehículo con el cual se pudiese realizar tanto el servicio de taxi básico como el de taxi colectivo. Mediante esta política se orientó un importante flujo de vehículos particulares hacia este sector (MTT, 1992). Thomson (1995) argumenta que las políticas de desregulación permitieron que los taxis colectivos asumieran el rol de “transporte público de categoría superior”, especialmente en términos de comodidad y flexibilidad de recorrido, característica que, dentro de los límites impuestos por la normativa, mantienen hasta hoy. La inauguración de los servicios de Metro a fines de la década de 1970 y principios de los 80 originó una gran cantidad de líneas de taxi colectivo que cumplían el rol de “alimentadoras” de la red, como es el caso de los servicios surgidos en el entorno de Gran Avenida con motivo de la inauguración de la Línea 2 del Metro de Santiago (MTT, 1992). La posibilidad de operar servicios de taxis básicos y colectivos con el mismo vehículo originó una importante disminución en el parque de taxis colectivos de la ciudad en esta época.

En febrero de 1991, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones decretó nuevas regulaciones para el servicio de taxis colectivos en Chile. Las medidas consideraron una diferenciación de taxis básicos y colectivos en cuanto a colores, distintivos diferentes y la imposibilidad de prestar simultáneamente ambos servicios en función de las condiciones de la demanda en cada momento (Thomson, 1995). Este nuevo reglamento prohibió los recorridos por la Alameda Libertador Bernardo O’Higgins, en un intento por reducir la congestión en este eje (O’Ryan, 2002), e intentó impedir que los servicios de taxi colectivo se desviaran de su recorrido inscrito para poder dejar un pasajero en la puerta de su casa (Thomson, 1995). A partir de 1992 se estableció la obligatoriedad de inscripción de los taxis colectivos –y de todos los vehículos que prestaran servicio de locomoción colectiva– en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros (RNSTPP). Esta fue la primera de una serie de modificaciones legales que

implicaron el congelamiento del parque de taxis básicos y colectivos, el que se ha prolongado a partir de diversas iniciativas legales hasta la actualidad².

Durante 2004 se desarrolló un proceso de licitación de recorridos de taxi colectivo en Santiago. La ciudad se dividió en áreas geográficas, concesionando algunas vías dentro de cada una a empresas que podían operar los recorridos. La licitación planteó algunas exigencias al gremio, como la profesionalización de los conductores, la conversión de los operadores en empresas y el mejoramiento de los servicios, considerando modificaciones de recorridos y terminales (Sagredo y Solís, 2006). Adicionalmente, se reglamentó el proceso de fijación de tarifas. Este ordenamiento y reglamentación formó parte de la implementación del Plan de Transporte Urbano para la ciudad de Santiago (PTUS), que también originó el plan Transantiago (Figueroa, 2012) y, con modificaciones, continúa vigente hasta la actualidad.

En la última década se ha impulsado un programa de renovación de la flota de taxis colectivos a través de subsidios gubernamentales (Decreto N° 44, 2011), así como el pago de reembolsos anuales a los propietarios de este tipo de vehículos, en el marco de los llamados “subsidios espejo” de Transantiago (Decreto N° 191, 2015). Ambas medidas parecen reconocer el rol del taxi colectivo dentro del sistema de transporte público de la ciudad; no obstante, aún no se han implementado políticas de integración de este modo con el sistema de transporte público mayor de la ciudad y, como se ha visto, la normativa vigente presenta cierto nivel de desactualización.

En efecto, la reciente irrupción de plataformas tipo *ridesourcing* como Uber y Cabify, que proveen servicios de transporte basados en aplicaciones móviles, ha implicado un amplio debate sobre la necesidad de actualizar la normativa que regula el transporte remunerado de pasajeros. La discusión pública se ha centrado en las obligaciones y

² Las leyes N° 19593 de 1998, 19700 de 2005, 20076 de 2005 y 20074 de 2010 han suspendido la inscripción de vehículos nuevos en el Registro. En cada una de las instancias se ha justificado esta medida como forma de limitar el incremento en el parque automotor.

responsabilidades de estas plataformas, la protección de sus trabajadores, la equidad social y la justa competencia con los modos alternativos (Rayle *et al.*, 2016). Actualmente existe consenso acerca de que la legislación en materia tributaria y de transporte –no sólo en Chile sino en el resto del mundo– no estaba adecuadamente preparada para el surgimiento de este tipo de aplicaciones, por lo que se requiere un importante trabajo de adaptación y actualización para regular tanto la operación de las plataformas como su interacción con los modos alternativos como el taxi básico o el taxi colectivo³ (Tirachini, 2016). Esto debiera implicar, a su vez, el reconocimiento normativo de estos modos en el ordenamiento del transporte de las ciudades de Chile.

2.2 La Operación de Taxis Colectivos en Santiago

En este capítulo se entregan algunas cifras y características de la operación de taxis colectivos en Chile en general, y en Santiago en específico. El análisis se concentra en los principales atributos de la oferta y características generales de la demanda, así como las diferencias en perfil de usuario respecto a otros servicios de transporte público en Santiago.

2.2.1 Uso de taxi colectivo en Chile

Según el Instituto Nacional de Estadísticas, en el año 2015 circulaban en Chile un total de 60.000 vehículos inscritos como taxis colectivos, un 23% de los cuales se encontraba inscrito en la Región Metropolitana (INE, 2016). Su flexibilidad y menores costos de operación contribuyen a que sea considerado como una alternativa relevante de transporte en varias ciudades intermedias de Chile, como se muestra en la Tabla 2-1⁴.

³ Si bien actualmente las plataformas Uber y Cabify compiten fundamentalmente con el taxi básico, servicios como UberPool, de pronta entrada al mercado nacional, podrían implicar una competencia más directa con el taxi colectivo, considerando su estándar de viaje compartido con otros pasajeros, y la posibilidad de ofrecer menores tarifas. Este servicio ha sido una de las principales preocupaciones de los gremios de dueños de taxis colectivos en las protestas realizadas durante 2016 y 2017 (*cf.* Águila, 2016).

⁴ Esta tabla recopila la información de las últimas encuestas de movilidad disponibles para cada ciudad en estudio, aunque varias de éstas tienen más de 10 años de antigüedad. La tabla se construyó únicamente a modo de comparación.

El modo presenta una participación más importante en ciudades de tamaño intermedio. En algunas de ellas es, de hecho, la alternativa de transporte público con mayor participación; en particular, alcanza el 26% de los viajes totales diarios en Punta Arenas (SECTRA, 2007), 19% en Copiapó (SECTRA, 2010), 15% en Puerto Montt (SECTRA, 2014a), 16% en Iquique-Alto Hospicio (SECTRA, 2012) y 14% en Coquimbo-La Serena (SECTRA, 2013b). Por otro lado, los conglomerados más grandes, como el Gran Santiago (SECTRA, 2013a), Gran Valparaíso (SECTRA 2014b) y Gran Concepción (SECTRA, 2003), presentan los menores porcentajes de participación del taxi colectivo en los totales de viajes (2,9%, 6,5% y 4,4%), aunque los volúmenes de viajes diarios son altamente significativos.

Tabla 2-1: Volúmenes de viajes en taxi colectivo y comparación con totales de viajes

Ciudad	Año Encuesta	Población Total	Volumen diario de viajes			TC / Total Ciudad (%)	TC / TP (%)
			Taxi Colectivo (TC)	Transporte Público (TP)	Total Ciudad		
Arica	2010	193.073	72.229	131.764	568.053	12,7	54,8
Iquique-Alto Hospicio	2010	267.887	106.890	194.188	653.181	16,4	55,0
Antofagasta	2010	329.294	74.374	282.895	831.484	8,9	26,3
Copiapó	2010	145.683	80.690	119.514	417.876	19,3	67,5
Coquimbo-La Serena	2010	366.463	126.667	276.984	928.209	13,6	45,7
Gran Valparaíso	2014	964.565	149.700	767.100	2.295.100	6,5	19,5
San Antonio	2006	85.654	20.692	49.742	160.948	12,9	41,6
Santiago	2012	6.651.735	696.184	5.378.479	18.461.134	3,7	12,9
Curicó	2003	93.083	25.410	76.136	245.718	10,3	33,4
Chillán	2003	164.491	35.497	115.454	445.089	8,0	30,7
Rancagua-Machalí	2006	252.700	64.515	186.249	670.809	9,6	34,6
Talca	2003	189.308	51.051	171.601	523.270	9,8	29,7
Gran Concepción	2003	834.028	68.203	577.631	1.547.198	4,4	11,8
Los Ángeles	2004	120.368	36.595	80.732	278.025	13,2	45,3
Temuco-Padre Las Casas	2013	311.873	78.078	361.687	1.008.087	7,7	21,6
Valdivia	2013	161.245	66.450	170.341	561.830	11,8	39,0
Osorno	2013	138.967	40.421	143.385	468.652	8,6	28,2
Puerto Montt	2004	145.601	52.846	111.494	345.996	15,3	47,4
Punta Arenas	2005	112.957	56.782	63.309	218.689	26,0	89,7

Fuente: Encuestas Origen-Destino de cada ciudad (SECTRA)

2.2.2 La red de taxis colectivos de Santiago

El Instituto Nacional de Estadística cifra en cerca de 14.000 los vehículos inscritos como taxis colectivos en la Región Metropolitana (INE, 2016). El Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros (RNSTPP), vigente a 2016 (MTT, 2016), reporta un total de 10.440 vehículos operando como taxis colectivos urbanos o licitados⁵, con una edad promedio del parque de 5,2 años. Estos vehículos pertenecen a 221 empresas distintas. El histograma de flota por empresa se presenta en la Figura 2-1. Se observa que el 69% de los operadores cuenta con una flota de 50 vehículos o menos. Sólo tres empresas operan flotas mayores que 200 vehículos.

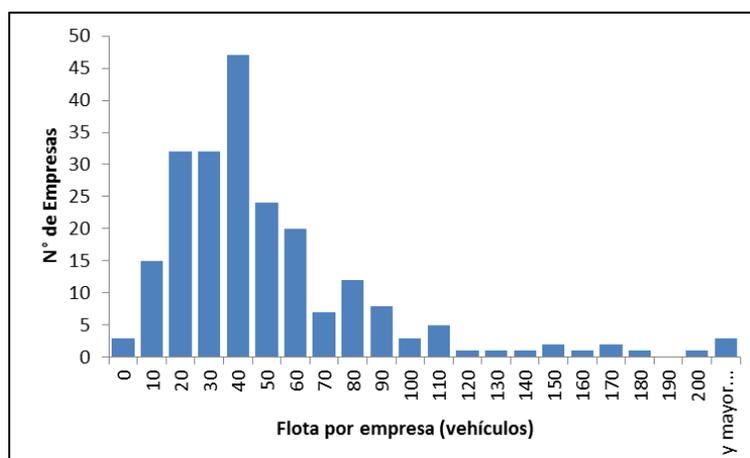


Figura 2-1: Histograma de flota por empresa de taxi colectivo, Santiago

Fuente: MTT (2016)

El catastro de servicios de taxis colectivos realizado en el marco de la Encuesta Origen-Destino 2012 indica que las 221 empresas operan un total de 374 líneas, incluyendo variantes y servicios nocturnos⁶. El 67% de las empresas de servicios de taxi colectivo opera una única línea, y sólo siete empresas operan cuatro o más servicios cada una.

⁵ Los vehículos restantes operan recorridos rurales.

⁶ De las 376 originalmente indicadas en el RNSTPP, dos no se encontraron en operación a la fecha de realización del catastro (2013).

Estas cifras permiten observar el alto grado de atomización que presenta el mercado de taxis colectivos en Santiago. El gran número de operadores es un indicador de bajos niveles de profesionalización de la operación. De hecho, pocos operadores corresponden específicamente a lo que podría denominarse empresa: cada recorrido se asocia más bien con “*un conjunto de operadores que administran un vehículo, el cual puede ser propio o arrendado, y que prestan servicios dentro de un recorrido*” (FESUB Concepción, 2006). No existe, por tanto, demasiada coordinación entre las distintas líneas operativas, y los servicios se organizan a través de una plana gerencial que realiza principalmente labores de representación legal, asignación de cupos a vehículos dentro de la línea y tareas básicas de operación y administración de terminales (FESUB Concepción, 2006). La operación se traspasa a los dueños de los vehículos o a terceros que los reciben en arriendo, contra pago de cuotas de inscripción, y los terminales (públicos o privados, formales e informales) únicamente requieren espacios físicos mínimos para la operación (MTT, 2002). Ello redundando en que, en la práctica, no existan mayores incentivos económicos para operar flotas de mayor volumen u ofrecer servicios de mayor calidad. Este nivel de operación relativamente precario y sin economías de escala (que en muchos aspectos recuerda a la operación del transporte público mayor previo a Transantiago, como se describe en Díaz *et al.*, 2006) es uno de los principales obstáculos para una adecuada regulación del servicio por parte de las autoridades.

La consideración de la distancia de recorrido y el tipo de viaje servido por línea permite establecer una clasificación de los servicios de taxi colectivo en Santiago; esto posibilita observar, a grandes rasgos, los distintos tipos de trazado que operan y el tipo de viajes que están cubriendo. La clasificación propuesta está basada en la que realizó MTT (2002), complementada con la información de SECTRA (2013a), y considera las siguientes categorías de servicio⁷:

⁷ Las formas de operación del sistema de taxis colectivos presentan tales niveles de variabilidad que no es posible asegurar que un servicio pertenezca únicamente a uno de los grupos mencionados previamente; por este motivo, la clasificación no es del todo rigurosa, sino meramente ilustrativa.

- i) Servicios **suburbanos**, que conectan al área metropolitana de Santiago con las comunas rurales o semi-rurales aledañas, a través de recorridos de gran extensión. Por ejemplo, servicios Buin–San Bernardo, San José de Maipo–La Florida o Colina–Santiago. Tienen una longitud media de recorrido (en ambos sentidos) de 60 km, y corresponden aproximadamente al 5% del total de servicios.
- ii) Servicios **largos**, que permiten unir comunas distantes dentro del área metropolitana, utilizando algunos ejes importantes en conjunto con la vialidad local de las comunas. Entre ellos se cuentan los servicios que circulan por el eje Vicuña Mackenna y unen Puente Alto con Santiago, y los que conectan San Bernardo y Santiago a través del eje Gran Avenida. Tienen una longitud media de recorrido de 33 km y representan un 37% de los servicios de taxi colectivo en la ciudad.
- iii) Servicios **cortos**, que unen comunas aledañas a través de recorridos de menor extensión (promedio de 14 km de ida y vuelta). Estos servicios parecen cumplir dos propósitos generales (MTT, 2002): algunos se constituyen en servicios alimentadores de la red de Metro (por ejemplo, en las estaciones Cal y Canto, Bellavista de La Florida, Mirador, Lo Vial, Lo Ovalle y La Cisterna); y otros operan como servicios que conectan zonas con baja cobertura de transporte público mayor, como San Joaquín–San Miguel y Lo Espejo–La Cisterna. Estos servicios representan un 26% del total de las líneas de taxi colectivo de Santiago.
- iv) Servicios **locales**, que operan con pocas restricciones de circulación dentro de comunas específicas, y que corresponderían a cerca de un 32% del total de servicios de taxi colectivo de Santiago.

Dentro de este último grupo, merecen especial atención los servicios que operan al interior de la comuna de Maipú⁸. Tal como se indica en los estudios de MTT (1992) y MTT (2002), ellos funcionan con un mecanismo *sui generis* en que sólo

⁸ Varios servicios que operan desde la comuna de Maipú hasta otras comunas de Santiago, pertenecen de hecho a alguno de los otros tres grupos descritos previamente, por lo que esta descripción no aplica a ellos.

se fija la comuna como el área en que puede circular el servicio. La ruta es definida por el conductor, según los destinos de los pasajeros que, en la práctica, son captados en distintos puntos dentro de la comuna. Aparentemente, esta forma de operación surgió como respuesta a la ubicación geográfica de Maipú, que cuenta con una zona comercial central, rodeada de áreas residenciales, y con sólo dos grandes arterias (Pajaritos y 5 de Abril) que la cruzan perpendicularmente. De hecho, más allá de la aleatoriedad de la operación, el punto principal de captación de pasajeros corresponde a la Plaza de Maipú. La permanencia de este tipo de operación en el tiempo con todas sus complejidades, que además dificulta el ordenamiento de los servicios y tiende a favorecer la aparición de servicios “piratas”, se justifica únicamente por razones históricas y de comodidad de los usuarios.

Se incluyó también en este grupo a los servicios que operan dentro de las comunas de San Bernardo y Puente Alto, que si bien no operan de manera “libre” como los de Maipú, flexibilizan bastante los recorridos, especialmente en los extremos, otorgando una componente de acercamiento que no es homologable a servicios más extensos.

La Figura 2-2 muestra la cobertura de la red de taxis colectivos en Santiago. Se observa una importante densidad de servicios en las comunas de la Provincia de Santiago, además de San Bernardo y Puente Alto, y un número reducido de servicios en los sectores más lejanos del área metropolitana, como Lo Barnechea, Lampa, Colina, Padre Hurtado, Calera de Tango, Buin y San José de Maipo, entre otros. Los servicios tienen una longitud promedio de ida y regreso de 23,9 km.

Tal como lo indica MTT (2002), la cobertura de líneas de taxi colectivo presenta una mayor densidad en las comunas de las zonas sur y sur-oriental de Santiago. Asimismo, la oferta es menor (en términos de recorridos disponibles) en los sectores norte, oriente y poniente. En efecto, en el mapa se puede visualizar el gran número de líneas que cubren todos los sectores de comunas como San Miguel, La Cisterna, La Granja, San Bernardo

y El Bosque, en contraste con la baja cobertura observada en Recoleta, Conchalí, Huechuraba, Quilicura, Renca y Pudahuel, por ejemplo⁹.

2.2.3 Los usuarios del taxi colectivo en Santiago

La última encuesta origen-destino de Santiago (SECTRA, 2013a) indica que en un día laboral normal se realizan 530.363 viajes en el modo taxi colectivo en el Gran Santiago. Esto representa un 3% del total diario de viajes en la ciudad y un 10% del total diario de viajes en transporte público. Este total sólo incorpora los viajes que se realizan únicamente en este modo (en una o dos etapas); si además se consideran los viajes que combinan taxi colectivo con otros modos, se alcanzan los 696.184 viajes diarios mencionados anteriormente (4% del total de viajes de la ciudad y 13% del total en transporte público). La distribución de estos viajes según modo combinado y número de etapas se presenta en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Total de viajes que usa taxi colectivo según modo y número de etapas

Combinación de modos	N° etapas				Total viajes
	1	2	3	4	
Taxi colectivo	515.715	14.649	0	0	530.363
Taxi colectivo / Metro	0	81.771	564	0	82.335
Taxi colectivo / Bus Transantiago	0	31.975	5.416	0	37.391
Taxi colectivo / Metro / Bus Transantiago	0	0	15.768	588	16.356
Taxi colectivo / Metro o Bus Transantiago / Otros	0	0	6.055	959	7.014
Taxi colectivo / Otros modos	0	21.269	1.456	0	22.726
Total de viajes	515.715	149.664	29.259	1.547	696.184

Fuente: Encuesta Origen-Destino de Viajes de Santiago 2012 (SECTRA, 2013a)

La distribución de los viajes muestra que un 75% de los pasajeros de taxi colectivo realizan viajes con una sola etapa en este modo. Quienes utilizan el taxi colectivo en

⁹ Es necesario señalar que un proceso exhaustivo de recopilación de información para el total de las líneas de taxi colectivo en Santiago quedaba fuera de los alcances de esta tesis. El análisis, por tanto, se ha realizado con datos obtenidos de otros estudios, los que pueden no estar apropiadamente actualizados y/o contener imprecisiones en su levantamiento. Una sugerencia para la autoridad sería generar estudios que permitieran actualizar esta información, a fin de contar con mayor cantidad de elementos válidos para la gestión del sistema

combinación con otros modos lo hacen principalmente con Metro o buses de Transantiago.

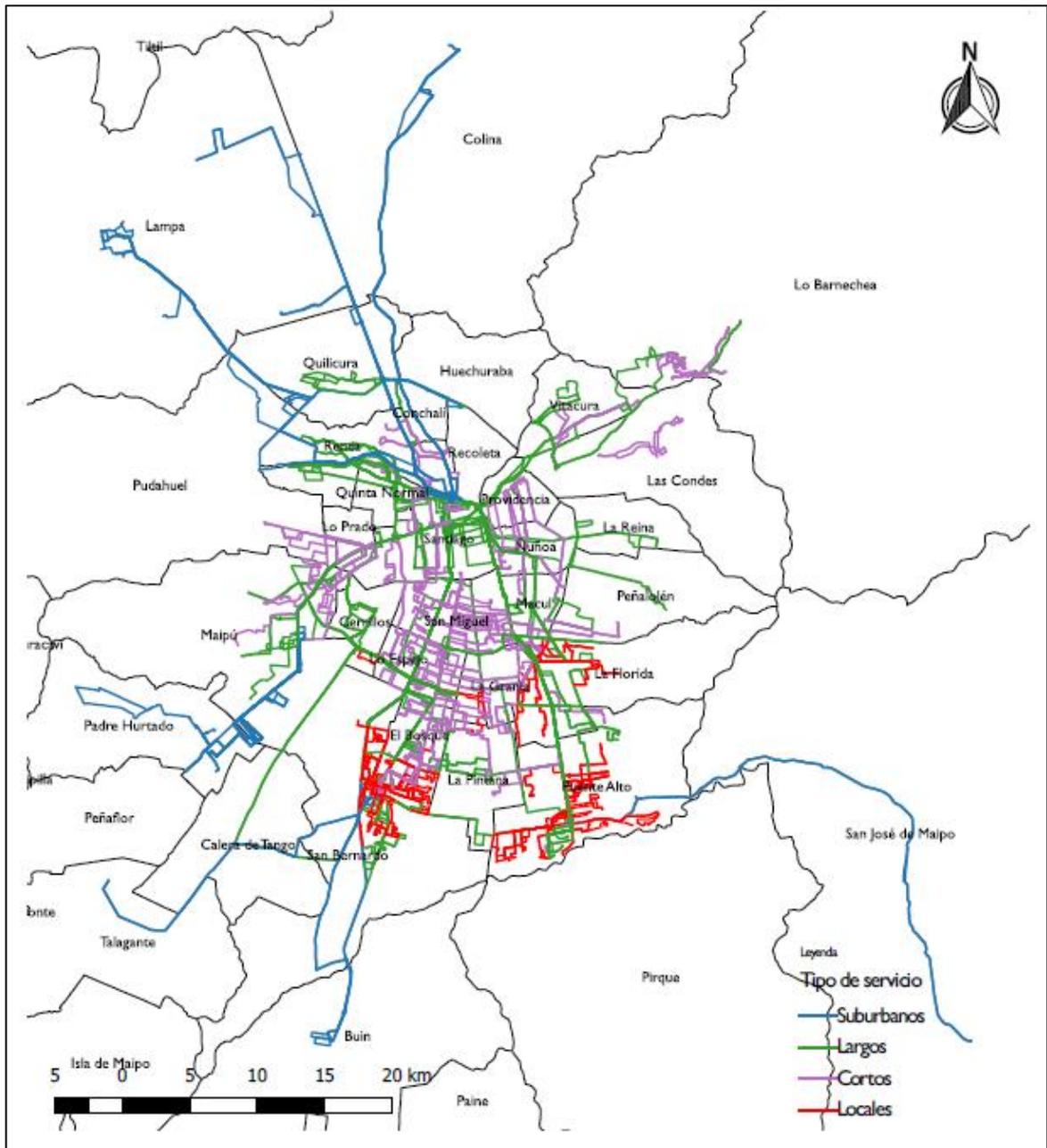


Figura 2-2: Cobertura de la red de taxis colectivos de Santiago

Fuente: Elaboración propia

La Figura 2-3 presenta la distribución de comunas de Santiago, coloreadas según la proporción de uso de taxi colectivo sobre el total de viajes en transporte público. Se destacan con color oscuro aquellas comunas periféricas que actualmente no son cubiertas por la red Transantiago, como Colina, Melipilla, El Monte, Peñaflores, Talagante y Buin, en que más de un 30% de los viajes en transporte público se realizan en taxi colectivo. Al interior del área metropolitana de Santiago, las comunas con mayor proporción de uso del taxi colectivo son San Bernardo (10% del total diario de viajes), Puente Alto (8%), El Bosque (7%) y San Joaquín (7%).

La revisión detallada de los viajes en taxi colectivo en Santiago muestra algunas diferencias relevantes entre sus usuarios y los que emplean mayoritariamente transporte público mayor (Bus/Metro), algunos de los cuales se resumen en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Diferencias entre viajeros de taxi colectivo y de modo Bip! (Bus/Metro)

Dimensión	Variable	Taxi colectivo	Modo Bip! (Bus/Metro)
Motivo del viaje	% de viajes con motivo trabajo	15	24
	% de viajes con motivo trámites	11	6
	% de viajes con motivo compras	9	3
	% de viajes con motivo estudio	4	10
Horario del viaje	% de viajes en horario punta	32	48
Edad	Edad media (años)	42,0	37,5
	% de usuarios de menos de 24 años	22	31
	% de usuarios de más de 60 años	23	15
Sexo	% de mujeres usuarias	65	52
Ingreso	Ingreso medio de los usuarios (CL\$)	255.000	340.000
	% de usuarios con ingreso menor a \$200.000	28	19

Fuente: Encuesta Origen-Destino de Viajes de Santiago 2012 (SECTRA, 2013a)

Se observa que, en promedio, los usuarios de taxi colectivo tienen mayor edad y menor nivel de ingreso que los usuarios de bus y Metro. Adicionalmente, el taxi colectivo es más utilizado por mujeres (65% del total), y proporcionalmente se usa más para trámites y compras, y menos para viajes “obligados” como trabajo y estudio (que en general se realizan en horario punta). Este perfil de usuarios concuerda con las características intrínsecas del servicio: su comodidad (si se consigue viajar, se viaja sentado, y además

permite trasladar compras en el maletero del vehículo) y flexibilidad, que parecen ser atributos evaluados positivamente y debieran ser tomados en cuenta como variables que posiblemente incidan en la elección de este modo.

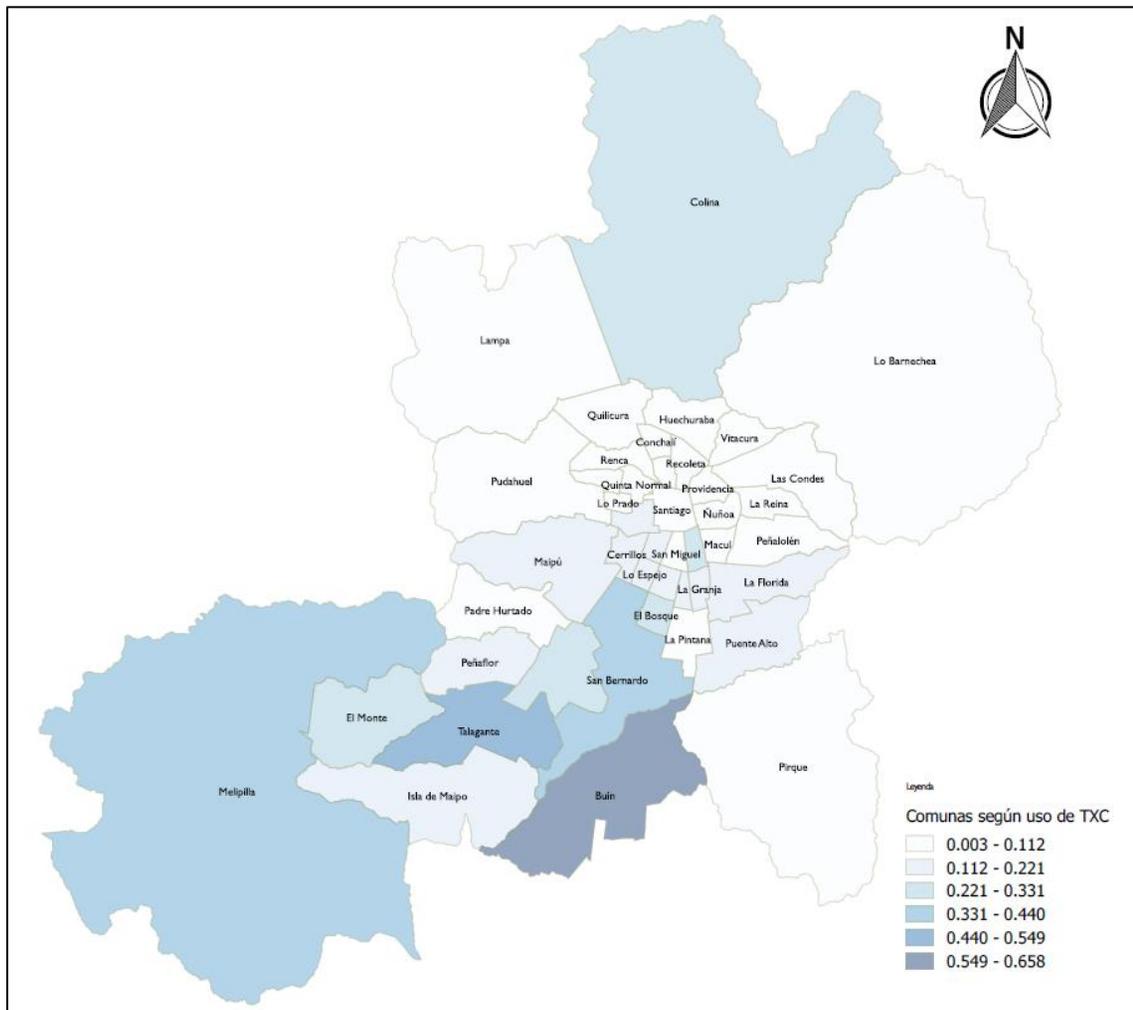


Figura 2-3: Comunas según % de viajes en taxi colectivo sobre el total de viajes en transporte público

Fuente: Elaboración propia

2.3 El Taxi Colectivo como “Transporte Público Alternativo”

Como se ha mencionado previamente, el taxi colectivo es un modo característico de Chile y es difícil asemejarlo a alguno existente en otros contextos. No obstante, su flexibilidad y menores niveles de regulación contribuyen a que se asemeje al “transporte público alternativo” o *paratransit*¹⁰. En esta sección se presenta brevemente este concepto y, en conjunto con algunos ejemplos en distintos contextos internacionales, se analizan las principales similitudes y diferencias del taxi colectivo con este tipo de modos. Esto tiene relevancia tanto para comprender las características del comportamiento de los usuarios del modo como para establecer los lineamientos de posibles políticas de regulación.

2.3.1 *Paratransit*: conceptos básicos

No existe una definición única de *paratransit*, sino más bien una serie de conceptualizaciones adaptadas a distintos contextos. Para los efectos de este trabajo puede asumirse la que sugiere Gwilliam (2002), quien denomina *paratransit* a “*todo transporte disponible públicamente que se encuentre fuera del sistema regulatorio general del transporte público*”. Esta definición es suficientemente amplia como para incluir una infinidad de opciones de transporte, que comprende tanto vehículos motorizados (desde servicios tipo “taxi” prestados por automóvil hasta buses con horario fijo) como no motorizados (bicicletas, bici-taxis, triciclos, entre otros), excluyendo únicamente aquellos reservados para uso privado y los que forman parte del transporte público convencional (Amorós-Zurita, 2013). De hecho, *paratransit* significa literalmente “*al margen del transporte público*” (Lave y Mathias, 2003).

Existen diferencias fundamentales entre la denominación *paratransit* o “transporte público alternativo” en países desarrollados y en vías de desarrollo (Amorós-Zurita,

¹⁰ La traducción del término *paratransit* al español como “transporte público alternativo” ha sido adaptada de Amorós-Zurita (2013).

2013). En el caso de los primeros, el *paratransit* no sólo provee un servicio regular para todo tipo de público, sino también se concentra en servicios especiales para determinados tipos de demanda, como adultos mayores, personas con movilidad reducida, turistas y otros. En Estados Unidos opera un gran número de servicios de transporte público alternativo provisto por agencias públicas para transportar adultos mayores y personas con movilidad reducida, en virtud de la ley civil “ADA” (*Americans with Disabilities Act*), que prohíbe la discriminación basada en la discapacidad (Deka y Gonzales, 2014)¹¹. Servicios similares de *paratransit* operan en países de Europa como el Reino Unido y Suecia, no sólo con el propósito de transportar personas con dificultades de movilidad, sino también para cubrir áreas en que el servicio de transporte público convencional es poco denso o de difícil acceso (Mulley *et al.*, 2012). En este contexto se ha llegado a definir al *paratransit* como “cualquier servicio de transporte público que responda a la demanda y opere con horario y recorrido flexible” (Lave y Mathias, 2003).

Por otro lado, en el caso de los países en vías de desarrollo, los servicios tipo *paratransit* tienen como característica común el haber surgido como alternativa de transporte público al margen de la regulación (Cervero y Golub, 2007). El desarrollo de los servicios de *paratransit* suele ser más relevante mientras menos desarrollados estén los sistemas de transporte público convencional: en efecto, se tiende a percibir al transporte público alternativo como un sistema más versátil y flexible, que puede proveer servicios en zonas de difícil acceso o con bajo nivel de servicio del transporte público convencional, pero también puede convertirse en competencia directa (Amorós-Zurita, 2013). De hecho, las definiciones más recientes del concepto destacan su adaptabilidad como uno de los atributos más característicos (Phun y Yai, 2016).

¹¹ Existe un número relativamente importante de investigaciones que analizan la demanda por este tipo de servicios, usualmente denominados ADA *paratransit*. En ellas, el trabajo se ha concentrado en la estimación de elasticidades de la demanda respecto a niveles de servicio y características socioeconómicas y de salud de la población usuaria. Ejemplos de estudios de demanda de servicios ADA *paratransit* pueden encontrarse en Franklin y Niemeier (1998), Bearse *et al.* (2004), Koffman *et al.* (2007), Nguyen-Hoang y Yeung (2010) y Deka y Gonzales (2014), entre otros.

2.3.2 Estándar normativo del *paratransit*

Una inmensa variedad de servicios de transporte público forma parte del grupo denominado *paratransit*. Ante la imposibilidad de caracterizarlos detalladamente, Cervero (2000) propone una clasificación gruesa según tipos de vehículo: así, existen servicios informales de buses convencionales como los *molue* de Nigeria y los *camellos* de Nicaragua; servicios de tamaño intermedio provistos por mini buses y camiones de pasajeros, como los *jeepneys* de Manila, los *mikrolets* de Yakarta, los *matatus* de Nairobi y los *colectivos* de Ciudad de México; servicios prestados por vehículos sedan o camionetas; servicios motorizados menores, tales como los *moto taxis* de Lima, los *moto conchos* de Santo Domingo y los *tuk tuks* de Bangkok; e incluso servicios no motorizados: vehículos de tres o cuatro ruedas a pedales o a caballo y otros vehículos especiales.

Aunque muchos de los sistemas *paratransit* operan en los límites de la legalidad (Cervero y Golub 2007), ésta no es una de sus características definitorias. En rigor se trata de servicios más *informales* que *ilegales*, en el sentido que, cuando cuentan con algún marco regulatorio, éste se preocupa usualmente de entregar alguna formalidad a la flota de vehículos y sus conductores, más que de establecer niveles de servicio deseables, como en el caso del transporte público convencional. Adicionalmente, la fiscalización suele ser relativamente baja. De esta forma, los servicios operan de manera flexible y ajustándose a la demanda tanto en horarios y frecuencias como en recorridos. De allí que Cervero (2000) los denomine “transporte *laissez-faire*”.

Esta flexibilidad es precisamente una de las grandes ventajas de estos servicios. Como se ha mencionado, el *paratransit* funciona muchas veces como un “*gap-filler*”, complementando la cobertura y frecuencia de la red de transporte público formal, y adaptándose a cambios en el mercado. El hecho que su operación provenga esencialmente de la iniciativa privada lo hace constituirse como la única alternativa de transporte para gobiernos con baja disponibilidad de recursos económicos para operar y

fiscalizar un sistema de transporte público formal. Adicionalmente, la operación con vehículos de tamaño pequeño se traduce en menores tiempos de espera y de viaje, una mayor sensación de seguridad y mayor comodidad (Cervero y Golub, 2007).

Por cierto, existen costos significativos que las sociedades deben asumir producto de la operación de servicios tipo *paratransit*, ya que generan efectos no deseados en la congestión y otras externalidades (contaminación, ruido, accidentes) producto del gran número de vehículos requerido para cubrir apropiadamente la demanda (Cervero, 2000). Asimismo, su informalidad suele favorecer malas prácticas operativas, como la falta de cobertura en ciertas zonas u horarios, la discrecionalidad de las tarifas, la “competencia en la calle” por los pasajeros, e incluso efectos económicos negativos como falta de inversión en los vehículos y fallas en la seguridad social de los trabajadores, entre otros (Cervero y Golub, 2007).

El análisis económico no es claro en determinar si los sistemas de *paratransit* tienen efectivamente un beneficio global para la sociedad. Según lo mencionado por Godard (2006), es usual que la actitud de las autoridades ante este tipo de servicios evolucione desde ignorarlos y/o luchar contra ellos hasta formalizarlos y regular su operación. El paso siguiente debiera ser ayudar a que evolucionen hacia la modernización dentro de un esquema integrado de transporte lo que, al menos en el contexto de países en vías de desarrollo, aún no ha sucedido en propiedad.

2.3.3 Modelos de comportamiento de usuarios de *paratransit*

Considerando la informalidad de muchos sistemas de *paratransit* en el mundo, no es sorprendente que la actitud de sus usuarios hacia ellos no sea demasiado positiva. En el contexto de Indonesia y las Filipinas, diversos estudios de la demanda por servicios de mini bus, moto taxi y otros modos similares han mostrado evaluaciones negativas especialmente en variables como la accesibilidad y la confiabilidad (Joewono y Kubota, 2007; Sumaedi *et al.*, 2012; Okamura *et al.*, 2013), y que las experiencias negativas en

los viajes de los usuarios tienden a incidir negativamente en las probabilidades de elección del modo (Tangphaisankun *et al.*, 2010), afectando potencialmente el futuro del sistema al disminuir la satisfacción de los usuarios (Phun y Yai, 2016).

En general, los modos *paratransit* en el contexto de países en vías de desarrollo parecen ser utilizados por personas que, por sus características socioeconómicas o alguna restricción geográfica de su viaje, no disponen de otras alternativas. Se ha mostrado que las actitudes de los usuarios hacia el transporte público alternativo cambian cuando se genera alguna opción adicional para el viaje (por ejemplo, cuando el usuario tiene estabilidad económica suficiente como para adquirir un automóvil, según Okamura *et al.*, 2013).

2.3.4 El taxi colectivo chileno como modo *paratransit*

Los procesos más relevantes de reglamentación y fiscalización de transporte público en Santiago se han centrado fundamentalmente en los dos modos que históricamente han transportado mayores volúmenes de personas: bus y Metro. Las modificaciones y regulaciones de estos modos han surgido desde la autoridad central, y han logrado influir la estructura de viajes de la ciudad (Thomson, 1995). En el caso de los taxis colectivos, las principales medidas regulatorias datan de la década de 1990 y se mantienen vigentes en la actualidad a partir de diversos cuerpos legales que han prolongado su validez.

En este sentido, el taxi colectivo se acerca al estándar *paratransit* principalmente debido a los grados de libertad que la legislación y fiscalización le otorgan, así como a su flexibilidad y adaptabilidad a la demanda. No obstante, debe tenerse en cuenta que muchas de las características operativas del *paratransit* en otros contextos; en especial, la informalidad, la libertad absoluta de recorridos y la falta de regulación de vehículos y conductores, no se detectan en el sistema de taxi colectivo de Santiago¹², por lo que lo

¹² En ocasiones los bajos niveles de servicio pueden favorecer la aparición de servicios verdaderamente informales, como los furgones que recogen usuarios de las colas de espera por taxis colectivos en Cal y

correcto es hablar de un sistema de *paratransit* adaptado a la realidad nacional, y cercano a convertirse en un sistema de transporte público convencional a través de la regulación y la fiscalización.

Canto y los transportan a Renca y Quilicura. En el Anexo D.2 se entrega una referencia de este fenómeno, que en sí mismo es un transporte público alternativo, completamente fuera de la legalidad, y más cercano al estándar de *paratransit* que se observa en países con menores niveles de desarrollo económico.

3. MODELACION DE LA DEMANDA

Considerando que el enfoque de esta investigación es un acercamiento a los usuarios del taxi colectivo con el propósito de modelar y comprender las variables que inciden en su uso, se ha optado por emplear el marco teórico de los modelos de elección discreta. Estos modelos se basan en la teoría de la utilidad aleatoria, en que se supone que, dado un conjunto finito de alternativas disponibles, cada una traerá a los individuos una “utilidad” determinada, y que éstos escogerán la que reporte mayor beneficio.

En este capítulo se presentan algunos principios básicos de estos modelos, con especial énfasis en los que se han utilizado en el curso de esta investigación. Los desarrollos que se muestran a lo largo del capítulo siguen, en lo fundamental, la notación propuesta por Ortúzar y Willumsen (2011).

3.1 Modelos de Elección Discreta

La modelación de elecciones dado que existe un conjunto finito (o discreto) de opciones disponibles se suele realizar mediante el marco teórico de los modelos de elección discreta (MED), cuya base se encuentra en la teoría de la utilidad aleatoria (Domencich y McFadden, 1975). El supuesto fundamental de esta teoría es que *“la probabilidad de que los individuos escojan una determinada alternativa es una función de sus características socioeconómicas y de la atraktividad relativa de la alternativa”* (Ortúzar y Willumsen, 2011).

De acuerdo con esta teoría, los individuos actúan racionalmente y poseen información perfecta, seleccionando siempre la opción que representa la mayor utilidad personal, sujeto a restricciones legales, sociales, físicas, presupuestarias y temporales, entre otras (Ben Akiva y Lerman, 1985; Ortúzar y Willumsen, 2011; Hensher *et al.*, 2005).

Existiría, entonces, un conjunto finito de alternativas disponibles, $A(q)$. Cada alternativa j posee asociada una utilidad U_{jq} , distinta para cada individuo q . Un individuo escogerá una alternativa i , perteneciente al conjunto $A(q)$ solamente si $U_{iq} \geq U_{jq}, \forall j \in A(q)$.

Dado que la estrategia de elección del individuo es desconocida para el modelador (e incluso el individuo puede no estar consciente de ella), quien no conoce todos los elementos considerados por cada individuo al optar por alguna alternativa, se suele representar la utilidad como:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.1)$$

donde V_{jq} representa una componente sistemática o medible de la utilidad, que es función de los atributos observables de cada alternativa j , y ε_{jq} es una componente aleatoria de la utilidad, que recoge la idiosincrasia y gustos particulares de cada individuo, en conjunto con los errores de medición y observación. A partir de esta expresión, la condición de elección $U_{iq} \geq U_{jq}$ puede expresarse como:

$$V_{iq} + \varepsilon_{iq} \geq V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.2)$$

O bien, reordenando esta expresión:

$$V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} \quad (3.3)$$

Los términos de la derecha de esta ecuación son aleatorios, lo que implica que el modelador sólo puede plantear una probabilidad de elección para la alternativa i , la que estaría dada por:

$$P_{iq} = Pr\{V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq}, \forall j \in A(q)\} \quad (3.4)$$

La elección de una distribución de probabilidades particular para el término aleatorio originará diferentes modelos.

3.1.1 Modelo Logit Multinomial (MNL)

Si se asume que los errores ε_{jq} son Gumbell independiente e idénticamente distribuidos, con media cero y desviación estándar σ , entonces puede demostrarse que la probabilidad que el individuo q escoja la i -ésima alternativa está dada por la siguiente expresión (Domencich y McFadden, 1975):

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq})} \quad (3.5)$$

La ecuación (3.5) define el modelo conocido como Logit multinomial (MNL). El parámetro β , conocido como factor de escala, está inversamente relacionado con la varianza de la distribución Gumbel σ^2 , a través de:

$$\beta^2 = \frac{\pi^2}{6\sigma^2} \quad (3.6)$$

La componente observable de la utilidad de la alternativa i , V_{iq} suele especificarse de manera lineal en los atributos, X_{jkq} ; es decir,

$$V_{iq} = \sum_k \theta_{ik} \cdot X_{ikq} \quad (3.7)$$

En esta ecuación, X_{ikq} es el valor del atributo k para la alternativa i del individuo q . Este atributo puede ser una característica socioeconómica del individuo o algún nivel de servicio de la alternativa. Por su parte, θ_{ik} puede ser interpretado como la utilidad marginal del atributo k , y es un coeficiente a ser estimado.

Considerando la estructura del modelo MNL, es importante notar que el parámetro de escala β es inestimable. En la práctica, si se utiliza una expresión de utilidad como (3.7), los coeficientes estimados estarán deflactados por este factor (Ortúzar, 2000). En la mayor parte de las aplicaciones, este hecho no reviste mayores inconvenientes, aunque

tiene algunas implicancias en estructuras más complejas de modelación, como se verá más adelante.

Los modelos MNL se estiman mediante el método de máxima verosimilitud (Ortúzar, 2000). Para ello se requiere un conjunto de observaciones de las alternativas disponibles para una muestra de Q individuos, y de los atributos característicos de cada una, así como la elección individual. A partir de estas observaciones, se define la función de log-verosimilitud, $l(\theta)$ como:

$$l(\theta) = \sum_{q=1}^Q \sum_{A_j \in A(q)} g_{jq} \cdot \ln(P_{jq}) \quad (3.8)$$

En esta expresión, g_{jq} vale 1 si el individuo q escoge la opción A_j , y 0 en otro caso. La probabilidad de elección P_{jq} se calcula según la expresión (3.5). La maximización de la expresión (3.8) conduce a un conjunto de estimadores $\hat{\theta}$ máximo-verosímiles, que distribuyen asintóticamente Normal, con medias $\hat{\theta}$ y una matriz de varianza-covarianza W , donde:

$$W = - \left\{ E \left(\frac{\partial^2 l(\theta)}{\partial \theta^2} \right) \right\}^{-1} \quad (3.9)$$

En esta expresión, $E(\cdot)$ es el operador valor esperado. Además, $-2l(\hat{\theta})$ distribuye asintóticamente χ^2 con Q grados de libertad. Esta propiedad permite desarrollar algunas pruebas estadísticas relevantes, como se verá en la sección 3.1.4.

El MNL es el más sencillo y universalmente utilizado de los modelos de elección discreta. La ecuación (3.5) es una expresión cerrada, que permite obtener con facilidad las elasticidades de demanda con respecto a los diversos atributos que definen la función de utilidad (Bhat, 2003). Se trata de un modelo homocedástico, debido a que el supuesto de IID para la distribución de probabilidades que lo genera hace que los errores no puedan variar entre alternativas, respuestas o individuos, ni correlacionarse entre sí. El

modelo cuenta con la propiedad de independencia de alternativas irrelevantes, que se expresa en que el cociente entre las probabilidades de elección de dos opciones no depende en absoluto de otras opciones en el conjunto de alternativas disponibles (Ortúzar, 2000). Esta característica, proveniente de los supuestos utilizados para derivar el modelo, constituye de hecho su principal desventaja. En efecto, la especificación MNL no permite trabajar con alternativas correlacionadas ni especificar términos de error heterocedásticos. Adicionalmente, como supone parámetros fijos en la expresión de la función de utilidad, no permite considerar variaciones aleatorias en los gustos.

3.1.2 Modelo Logit Jerárquico (NL)

El modelo Logit jerárquico (NL), planteado originalmente por Williams (1977) y Daly y Zachary (1978), es una forma sencilla de incorporar correlación entre alternativas a la modelación de elección discreta. En este modelo, las alternativas que pueden presentar correlación son agrupadas en “nidos”, de forma tal que los términos de error asociados a las alternativas pertenecientes a un mismo nido sean independientes e idénticamente distribuidos, cumpliendo con las especificaciones del MNL.

Si se supone un caso simple, en que existe un único nido N , dentro del cual las alternativas están correlacionadas entre sí, y un conjunto de alternativas no anidadas (sin correlación entre ellas ni con las que están al interior del nido), entonces la probabilidad de elección de una alternativa al interior del nido deberá cumplir que:

$$P_{(i|N),q} = \frac{\exp(\lambda \cdot V_{iq})}{\sum_{j \in N} \exp(\lambda \cdot V_{jq})} \quad (3.10)$$

En esta expresión se asume que los errores en las utilidades de las alternativas $i \in N$ distribuyen Gumbel IID con factor de escala λ . Por otra parte, la probabilidad de selección del nido estará dada por la siguiente expresión:

$$P_{N,q} = \frac{\exp(\beta \cdot V_{Nq})}{\sum_{j \notin N} \exp(\beta \cdot V_{jq}) + \exp(\beta \cdot V_{Nq})} \quad (3.11)$$

La utilidad esperada del nido N es igual a la utilidad máxima esperada (EMU) de todas las alternativas que pertenecen a él. Esto puede denotarse como (Williams, 1977):

$$V_{Nq} = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \sum_{j \in N} \exp(\lambda \cdot V_{jq}) \quad (3.12)$$

Finalmente, la probabilidad de selección de la alternativa i que pertenece al nido N estará dada por la siguiente expresión:

$$P_{iq} = P_{(i|N),q} \cdot P_{N,q} = \frac{\exp\left(\frac{\beta}{\lambda} \cdot \ln \sum_{j \in N} \exp(\lambda \cdot V_{jq})\right)}{\sum_{j \notin N} \exp(\beta \cdot V_{jq}) + \exp\left(\frac{\beta}{\lambda} \cdot \ln \sum_{j \in N} \exp(\lambda \cdot V_{jq})\right)} \quad (3.13)$$

Esta expresión puede extenderse de forma análoga al caso en que existan varios nidos, y también si existen jerarquías de mayor complejidad (por ejemplo, con diversos nidos “en serie” y con varios niveles).

Al igual que en el caso del MNL, no es posible estimar todos los parámetros de escala en el modelo NL, y se debe aplicar algún criterio de normalización. Como se discute ampliamente en Carrasco y Ortúzar (2002), existen diversas formas de normalización de este modelo, y sólo algunas de ellas conducen a expresiones que cumplen con las condiciones requeridas para modelos de maximización de la utilidad. Usualmente se normaliza el parámetro de escala de la distribución Gumbel ($\beta = 1$), y se define $\phi = \frac{1}{\lambda}$, de modo que la expresión (4.13) se escribe como:

$$P_{iq} = \frac{\exp\left(\phi \cdot \ln \sum_{j \in N} \exp\left(\frac{V_{jq}}{\phi}\right)\right)}{\sum_{j \notin N} \exp(V_{jq}) + \exp\left(\phi \cdot \ln \sum_{j \in N} \exp\left(\frac{V_{jq}}{\phi}\right)\right)} \quad (3.14)$$

El parámetro ϕ es fundamental en la interpretación del modelo. La consistencia econométrica del NL requiere que se cumpla la condición de que $\phi \leq 1$. De hecho, es posible demostrar que si $\phi = 1$, no existe correlación entre las alternativas al interior del

nido, y el modelo colapsa a un MNL. Por otra parte, si $\phi \leq 0$ o $\phi > 1$, la estructura jerárquica escogida no sería correcta en el contexto del problema modelado, y por tanto debe replantearse (Ortúzar, 2000).

El parámetro ϕ es un indicador de la correlación de las alternativas al interior del nido, ya que puede demostrarse que (Daganzo y Kusnic, 1993):

$$\rho = 1 - \phi^2 \quad (3.15)$$

Acá, ρ es el coeficiente de correlación entre las alternativas al interior del nido. Así, un valor de ϕ más cercano a 1 implicará una menor correlación, y viceversa. Una discusión detallada de las características del modelo NL, su especificación y estimación por máxima verosimilitud, puede encontrarse en Carrasco y Ortúzar (2002).

El modelo NL permite considerar correlación entre alternativas anidadas, resolviendo parte de las limitaciones del modelo más básico (MNL); no obstante, sigue considerando coeficientes fijos y, por tanto, no permite considerar variaciones de aleatorias de gustos entre individuos.

3.1.3 Modelo Logit Mixto (ML)

El modelo Logit mixto (Cardell y Dunbar, 1980; Ben-Akiva y Bolduc, 1996; McFadden y Train, 2000) permite resolver algunos de los inconvenientes de los modelos simples (MNL y NL), a través de la especificación de estructuras de error más flexibles. Este tipo de modelos permite considerar cualquier forma de correlación entre alternativas y distintas distribuciones para los errores, así como variaciones aleatorias de gustos.

Como indican Munizaga y Daziano (2001), el modelo nace de introducir en la expresión (3.1), un conjunto de términos aleatorios adicionales η_{jq} , de la siguiente forma:

$$U_{jq} = V_{jq} + \eta_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.16)$$

En esta expresión se supone que η_{jq} tiene una distribución genérica, la que usualmente se asume normal. Como ε_{jq} distribuye Gumbel IID, la probabilidad de elección de la alternativa i condicional en η corresponde exactamente a un MNL, y puede escribirse de manera análoga a la expresión (4.5):

$$P_{iq|\eta} = \frac{\exp(\beta V_{iq} + \eta_{jq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq} + \eta_{jq})} \quad (3.17)$$

Para obtener la probabilidad de elegir la alternativa, debe evaluarse la expresión anterior sobre todos los valores posibles de η , lo que equivale a integrar la probabilidad condicional por la función de densidad de probabilidad f del término aleatorio η ; esto es (Train, 2009):

$$P_{iq} = \int_{\eta} \frac{\exp(\beta V_{iq} + \eta_{jq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq} + \eta_{jq})} \cdot f(\eta|\alpha^*) \cdot d\eta \quad (3.18)$$

En esta expresión, α^* son parámetros fijos que describen la función de distribución de probabilidad (media y varianza). Es importante notar que esta especificación permite incorporar variaciones aleatorias de gustos a la modelación de manera directa. Adicionalmente, el modelo permite incorporar distintas estructuras de correlación entre alternativas, como se explica en Ortúzar y Willumsen (2011).

La integral que se presenta en (3.18) no tiene una forma cerrada, por lo que la estimación del modelo ML debe realizarse a través de métodos numéricos como la máxima verosimilitud simulada. Train (2009) discute a fondo la derivación, estimación e interpretación del modelo ML, y Bierlaire (2015) presenta detalladamente algunos ejemplos de su especificación y estimación empleando simulación de Monte Carlo.

3.1.4 Pruebas estadísticas para los modelos de elección discreta

La información de la matriz de varianza-covarianza de los estimadores de los modelos de elección permite estimar varios estadígrafos de interés, tanto para los coeficientes en específico, como para verificar el ajuste y consistencia del modelo en general.

En efecto, como se conocen los errores estándar de los parámetros y la distribución asintótica de los estimadores, se puede plantear una prueba t a fin de testear si un determinado coeficiente $\hat{\theta}_k$ es significativamente distinto de algún valor de referencia θ_k (usualmente cero). Con los supuestos empleados para derivar el MNL, el *test-t* toma la siguiente forma:

$$t = \frac{\hat{\theta}_k - \theta_k}{\sigma_{kk}} \quad (3.19)$$

donde σ_{kk} es el k -ésimo elemento de la diagonal de la matriz de varianza-covarianza \mathbf{W} , que se asocia al coeficiente estimado. Este no es exactamente un *test t* sino que una aproximación para muestras grandes, en que t se prueba con la distribución Normal. Así, si $t > 1,96$ para $(1 - \alpha) = 95\%$, se rechaza la hipótesis nula $\hat{\theta}_k = \theta_k$ y se acepta que el atributo asociado al coeficiente, x_k tiene un efecto significativo (Ortúzar, 2000).

Por otra parte, si un modelo puede expresarse como una versión restringida de otro, más general, es posible probar si ambos son estadísticamente distintos entre sí utilizando el test de razón de verosimilitud o *test LR* (Ortúzar y Willumsen, 2011). Para llevar a cabo esta prueba, se estima primero el modelo más general (sin restricciones), obteniéndose parámetros $\hat{\theta}$ y una log-verosimilitud en el óptimo igual a $l^*(\hat{\theta})$. Posteriormente, se estima el modelo restringido, obteniéndose parámetros $\hat{\theta}_r$ y una log-verosimilitud en el óptimo igual a $l^*_r(\hat{\theta})$. Entonces, si el modelo restringido es una especificación correcta, el *test LR* se define como:

$$LR = -2[l^*_r(\hat{\theta}) - l^*(\hat{\theta})] \quad (3.20)$$

Este estadígrafo distribuye asintóticamente χ^2 con r grados de libertad, en que r es el número de restricciones lineales. En este caso, la hipótesis nula se rechaza si el valor $LR > \chi^2_{r,95\%}$, y el modelo restringido no es aceptable.

Una forma de emplear este *test* para verificar el ajuste global del modelo consiste en estimar modelos de referencia que permitan realizar comparaciones. Una posibilidad, no muy interesante, es el modelo “equiprobable”, en que todos los parámetros son iguales a cero; otra, mucho mejor, es el modelo de “sólo constantes”, en que todas las variables explicativas, exceptuando las constantes específicas, son nulas. Designando las log-verosimilitudes de estos modelos como $l(\hat{\theta})$ y $l(\hat{k})$ respectivamente, es posible construir índices de bondad de ajuste como el ρ^2 de McFadden (1974), que se plantea como:

$$\rho^2(0) = 1 - \frac{l^*(\hat{\theta})}{l(\hat{\theta})} \quad (3.21)$$

Como, en general, cualquier modelo con variables explicativas debería presentar un ajuste mejor que el modelo nulo, un índice más informativo se obtiene al comparar la log-verosimilitud en el óptimo del modelo estimado, con la correspondiente al modelo de “sólo constantes”, como lo propone Tardiff (1976):

$$\rho^2(k) = 1 - \frac{l^*(\hat{\theta})}{l(\hat{k})} \quad (3.22)$$

Ambos índices ρ^2 permiten comparar el ajuste global de distintos modelos, optándose naturalmente por aquellos con ρ^2 superior.

Estas son las principales pruebas estadísticas e indicadores de ajuste reportados en esta investigación. No obstante, existe gran variedad de pruebas que permiten comparar modelos de distinta naturaleza, así como obtener índices de ajuste global y de éxito predictivo. Para mayores detalles puede consultarse Ortúzar y Willumsen (2011).

3.2 Modelos Híbridos de Elección Discreta con Variable Latente

El enfoque de modelación basado en la teoría de la utilidad aleatoria se ha concentrado sobre todo en atributos observables y tangibles como determinantes de la elección (Vij y Walker, 2014). Esto contrasta con las conclusiones de diversos estudios que han examinado el comportamiento humano desde el punto de vista de las ciencias sociales, y demostrado la existencia de un gran número de constructos psicológicos, como las actitudes, normas sociales, percepciones, valoraciones afectivas y creencias, que pueden asistir en la predicción del comportamiento de las personas (Gardner y Abraham, 2008 y Lanzini y Khan, 2017).

Los modelos híbridos de elección discreta, propuestos originalmente por McFadden (1986) y Train *et al.* (1987), y popularizados por estudios posteriores como los de Ashok *et al.* (2002) y Ben Akiva *et al.* (2002), han permitido utilizar un enfoque integrado para la estimación conjunta de modelos desagregados, incorporando variables intangibles o no cuantificables a la especificación compatible con la teoría de la utilidad aleatoria.

3.2.1 Planteamiento del modelo

Las variables latentes deben entenderse como factores que, aunque influyen en el comportamiento y las percepciones de los individuos, no pueden ser observadas de manera directa, ya sea debido a que son subjetivas o percibidas de manera distinta por cada persona, a que son intangibles o bien debido a que no cuentan con una escala de medición directa (Raveau *et al.*, 2012).

El método usual para construir variables latentes se apoya en una estructura de “múltiples indicadores y múltiples causas” (MIMIC), en que las variables latentes η_{jlq} son explicadas por características de los usuarios (s_{jq^r}) a través de una *ecuación estructural*, como:

$$\eta_{jlq} = \sum_r \alpha_{jlr} \cdot s_{jqr} + v_{jlq} \quad (3.23)$$

Al mismo tiempo, las variables latentes explican un conjunto de indicadores de percepción ($y_{j pq}$), que usualmente corresponden a respuestas de los usuarios ante preguntas que intentan capturar sus percepciones o actitudes acerca de aspectos específicos de las alternativas y del contexto de elección (Raveau *et al.*, 2012). La relación entre variables latentes e indicadores de percepción suele expresarse como una *ecuación de medición*:

$$y_{j pq} = \sum_l \gamma_{jlp} \cdot \eta_{jlq} + \xi_{j pq} \quad (3.24)$$

La identificación de variables latentes a partir de los indicadores de percepción puede realizarse a través de técnicas estadísticas como el análisis factorial. Algunos aspectos básicos y deducciones sobre este modelo se presentan en el Anexo D.

En estas expresiones, como antes, el subíndice j representa a una alternativa y q a un individuo. Adicionalmente, l representa a una variable latente, r a una característica socioeconómica y p corresponde a un indicador de percepción. Los parámetros α_{jlr} y γ_{jlp} son coeficientes a estimar de manera conjunta. Por otra parte, v_{jlq} y $\xi_{j pq}$ son términos de error con media cero y desviación estándar a estimar. Si bien podrían asumir cualquier distribución, usualmente se asume que distribuyen Normal (Bahamonde-Birke *et al.*, 2017). El sistema de ecuaciones compuesto por (3.23) y (3.24) debe ser estimado de manera conjunta, dado que los valores de η_{jlq} no son conocidos.

La especificación de la ecuación de medición (3.24) asume que la respuesta entregada por los individuos puede caracterizarse como una variable de respuesta continua. En la mayor parte de las aplicaciones, los indicadores de percepción suelen recopilarse a través de escalas Likert, de tipo ordinal (Likert, 1935). En este caso el indicador se trata como una variable latente z de la siguiente forma (Daly *et al.*, 2012):

$$z = \sum_l \gamma_{jlp} \cdot \eta_{jlq} + \xi_{j pq} \quad (3.25)$$

En este esquema se modela la probabilidad que el indicador z se encuentre dentro de un rango en particular. Si se supone una escala de cinco puntos, la respuesta entregada por cada individuo se representa mediante la siguiente expresión:

$$y_{j pq} = \begin{cases} 1, & \text{si } z < \tau_1 \\ 2, & \text{si } \tau_1 \leq z < \tau_2 \\ 3, & \text{si } \tau_2 \leq z < \tau_3 \\ 4, & \text{si } \tau_3 \leq z < \tau_4 \\ 5, & \text{si } z \geq \tau_4 \end{cases} \quad (3.26)$$

Acá, los τ_i son coeficientes a estimar. De esta forma, la probabilidad que el indicador tome un valor específico j_{ip} es:

$$Pr(y_{j pq} = j_{ip}) = Pr(\tau_{i-1,p} \leq z < \tau_{ip}) = F_{\xi}(\tau_{ip}) - F_{\xi}(\tau_{i-1,p}) \quad (3.27)$$

donde F_{ξ} es la función de distribución de probabilidad acumulada del término de error $\xi_{j pq}$; si éste se distribuye Normal, el modelo se denomina Probit Ordinal (Bierlaire, 2016a). Al incluir variables latentes en la modelación de elección discreta, es necesario redefinir las funciones de utilidad (3.7). Si, por ejemplo, se asume que las variables latentes inciden de manera lineal en la utilidad, como lo sugieren Raveau *et al.* (2010)¹³, la expresión de la componente observable de la utilidad queda expresada como:

$$V_{jq} = \sum_k \theta_{jk} \cdot X_{jkq} + \sum_l \beta_{il} \cdot \eta_{jlq} \quad (3.28)$$

¹³ Aunque lo usual en modelación híbrida con variables latentes ha sido especificar las variables latentes como un término aditivo en la utilidad de alguna alternativa, como en (3.16), Bahamonde-Birke *et al.* (2017) argumentan que la forma más apropiada de incorporar estos constructos depende fuertemente de la naturaleza de la variable. Si ésta es un atributo propio del individuo y no puede asociarse directamente con alguna alternativa en específico, debería ingresar a la función de utilidad de manera análoga a otras variables socioeconómicas, que suelen incorporarse a través de interacciones o variaciones sistemáticas de gusto. Si, por otra parte, la variable latente está asociada a alguna característica específica de la alternativa, entonces podría tratarse como las demás variables de nivel de servicio. En este trabajo se prueban varias formas de incorporar estas variables en la función de utilidad.

medición (modelo MIMIC¹⁴), y luego el modelo de elección, condicional en los valores estimados para los coeficientes de la parte MIMIC (Bahamonde-Birke y Ortúzar, 2014). El método de estimación simultánea define una función de verosimilitud conjunta para ambos modelos. Como señalan Ben Akiva *et al.* (2002), este método produce estimadores consistentes y eficientes para los parámetros, aunque requiere esfuerzos computacionales significativos, especialmente en el caso de estructuras de modelación complejas.

3.2.2.1 Estimación secuencial

El enfoque secuencial de modelación requiere una estimación preliminar del modelo MIMIC, la que puede realizarse básicamente a través de dos métodos: mínimos cuadrados en dos etapas y máxima verosimilitud. Bollen *et al.* (2007) indican que, si la especificación del modelo es correcta, ambos estimadores son insesgados (excepto para tamaños muestrales muy reducidos) e igualmente eficientes.

La estimación del modelo MIMIC entrega coeficientes para todos los componentes de las ecuaciones estructurales y de medición. El enfoque tradicionalmente empleado para estimar el modelo de elección asume que las variables latentes son determinísticas, y se estiman en función de los valores medios obtenidos del modelo MIMIC. Se ha mostrado que este método entrega estimadores sesgados para los parámetros (Bahamonde-Birke *et al.*, 2017) y, dado que el sesgo proviene de no considerar la variabilidad de la variable latente en la estimación, éste no disminuye conforme aumenta el tamaño muestral (Bahamonde-Birke y Ortúzar, 2014). Considerando estas características, el uso de la estimación secuencial sin considerar la variabilidad de la variable latente no es aconsejable.

¹⁴ Abreviatura de “*multiple indicators multiple causes*”, o modelo de múltiples indicadores y múltiples causas.

Una variante de la estimación secuencial consiste en plantear estimadores que, de hecho, reconozcan la variabilidad intrínseca de la variable latente. Esto puede realizarse postulando coeficientes aleatorios para las variables latentes (Bierlaire, 2016a). La estimación es análoga al caso del Logit Mixto, ya que se debe integrar la verosimilitud del modelo de elección discreta sobre el dominio de estas variables (Bahamonde-Birke *et al.*, 2017). Esta forma de estimación entrega estimadores consistentes pero ineficientes (Ben Akiva *et al.*, 2002) lo que, sumado al costo computacional del procedimiento de estimación, hace finalmente más recomendable utilizar la estimación simultánea.

3.2.2.2 Estimación simultánea

Este mecanismo considera plantear una función de verosimilitud conjunta para ambas componentes del modelo (el modelo de elección y el modelo MIMIC), e integrar sobre el dominio de la variable latente (Bahamonde-Birke *et al.*, 2017). Este método utiliza los indicadores de percepción y los datos del modelo de elección de manera simultánea. Cuando la variable latente se considera como una variable continua, la función de verosimilitud conjunta toma entonces la siguiente forma:

$$L = \int_{\eta} P(y|X, \eta; \beta, \theta, \varepsilon) \cdot f(\eta|s; \alpha, \nu) \cdot d\eta \quad (3.29)$$

Considerando el compromiso entre consistencia de los estimadores y costos computacionales, esta investigación utilizó el método recomendado por Bierlaire (2016a), quien sugiere emplear el método secuencial, considerando la variabilidad de la variable latente, únicamente en la etapa de construcción y evaluación de los modelos, y estimar los modelos definitivos utilizando el método simultáneo.

3.2.2.3 El problema de la identificación

Una característica fundamental de los modelos híbridos de elección discreta es que sus estimadores no son únicos y, por tanto, un subconjunto de parámetros debe ser restringido para permitir su estimación (Raveau *et al.*, 2012). Este proceso no es directo, ya que no existe un método único de generar condiciones necesarias y suficientes para la estimación. Aunque trabajos como el de Vij y Walker (2013) entregan una serie de condiciones matemáticas necesarias para que los modelos sean identificables al menos desde el punto de vista teórico, en la práctica el problema de identificación debe analizarse caso a caso.

Cuando los indicadores de medición se modelan como una variable continua, existen dos alternativas de normalización: una, propuesta por Ben Akiva *et al.* (1999), propone fijar un coeficiente de la ecuación de medición por cada variable latente del modelo. La otra alternativa (Bolduc *et al.*, 2005), considera normalizar la varianza de la ecuación estructural de la variable latente. Raveau *et al.* (2010) recomiendan, en base a datos generados de manera sintética, restringir el coeficiente asociado a la varianza de la ecuación estructural en lugar de los estimadores de las ecuaciones de medición, procedimiento que es seguido también por Daly *et al.* (2012).

No obstante, en esta última investigación se advierte que en el caso de indicadores modelados de manera ordinal –como en el presente trabajo– las actitudes no se miden en una escala lineal fija, sino que más bien se expresan al interior de intervalos arbitrarios en una escala no definida. Así, es necesario (además de la normalización usual) fijar la escala multiplicativa del indicador (z), y esto puede realizarse normalizando la varianza de sus errores, ξ_{jpq} . Este es el enfoque seguido para este trabajo.

3.2.3 Sobre la aplicabilidad e interpretación de los resultados

Existe un gran número de estudios recientes que han utilizado modelos híbridos de elección discreta con variables latentes en diversas situaciones de modelación. En el contexto del transporte, estos modelos han sido utilizados para estudiar la elección modal (por ejemplo, en Yáñez *et al.*, 2010; Paulssen *et al.*, 2014 y Al-Ayyash *et al.*, 2014, este último en el contexto de un modo tipo *paratransit*), elección de ruta (Bhat *et al.*, 2015), frecuencia de viaje (La Paix *et al.*, 2010) y tasas de motorización (Daziano y Bolduc, 2013), entre otros temas. La conclusión general de estos estudios es que la incorporación de variables latentes entrega herramientas valiosas para comprender el proceso de toma de decisiones individuales, y permite entender las distintas variables (tangibles e intangibles) que inciden en el proceso de elección.

Aunque varios estudios reportan mejoras en la calidad de la estimación producto de la incorporación de estas variables a la especificación, esta conclusión debe tomarse con cuidado. En efecto, considerando únicamente el punto de vista de la modelación econométrica, en algunos casos un modelo híbrido de elección discreta con variables latentes puede ser reducido a un modelo de elección que no considere estas variables, y que incluso podría ajustarse de mejor forma a los datos (Vij y Walker, 2016). De hecho, la incorporación de características socioeconómicas del individuo como variables explicativas podría explicar por sí misma el aumento observado en la calidad de estadística del modelo, más allá de la incorporación de la variable latente al modelo de elección. En la misma línea, otros autores han cuestionado la utilización de variables latentes para generar políticas de transporte, debido a que usualmente éstas son endógenas a la elección y a que, al ser derivadas de estudios de corte transversal, no se cuenta con información acerca de su estabilidad a lo largo del tiempo (Chorus y Kroesen, 2014)

El principal valor de la incorporación de variables latentes a la modelación de elección discreta proviene, entonces, no tanto de ventajas estadísticas o econométricas directas,

sino más bien de la oportunidad de descifrar las relaciones estructurales que operan entre variables subjetivas o de difícil medición y su incidencia en el proceso de elección. Considerando que la elección es un proceso cognitivo de alta complejidad, una mejor comprensión de las variables y constructos psicológicos que inciden en ella permitirá no sólo obtener mejores modelos de elección, sino también, en definitiva, entender de mejor manera a los usuarios, objetivo último de la investigación.

4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

La caracterización de los usuarios que eligen taxi colectivo entre sus alternativas disponibles de transporte se realizó a través un instrumento de recopilación de información traducido en una encuesta de preferencias reveladas (PR), aplicada *in situ* a través de la metodología de interceptación de usuarios (ver Richardson *et al.*, 1995 para una descripción detallada del método). Este capítulo presenta los principales criterios de diseño del instrumento, las variables que fueron medidas, y un reporte de su aplicación, incluyendo la estadística descriptiva de la muestra.

4.1 Definiciones Básicas

Previo al diseño del formulario de encuesta, fue necesario establecer algunas definiciones básicas, como la metodología general de aplicación, así como los puntos y horarios de la encuesta, todo lo cual se explica en este capítulo.

4.1.1 Metodología general

Considerando que interesa modelar la elección de taxi colectivo entre el conjunto de alternativas disponibles para los usuarios, el instrumento debió ser diseñado con el propósito de representar apropiadamente a usuarios de transporte público que contarán con taxi colectivo como una alternativa para sus viajes. Esto implicó realizar encuestas no sólo en el modo de interés, sino además en otros modos alternativos relevantes.

Considerando las proporciones de mercado del modo, cualquier muestra aleatoria en la modalidad de interceptación arrojaría un número reducido de observaciones de usuarios de taxi colectivo. Por ello, se optó por trabajar con una muestra basada en la elección, que concentrara la mayor parte de las observaciones en usuarios de taxi colectivo.

La encuesta se desarrolló en la modalidad de interceptación, aprovechando los tiempos de espera de los respectivos servicios¹⁵. Por otra parte, las encuestas a usuarios de buses consideraron dos posibles tipos de recopilación: en paraderos (antes de la llegada del servicio) o en buses (a bordo del servicio). La aplicación de una o de otra dependió de la eventual llegada del bus durante el periodo de encuesta. Finalmente, las encuestas en Metro se realizaron en el ingreso de la estación respectiva.

El desarrollo de una encuesta de interceptación durante el tiempo de espera puede llevar consigo ciertas restricciones prácticas, especialmente considerando la eventualidad que el pasajero aborde el vehículo, dejando la encuesta incompleta. Esta dificultad puede subsanarse restringiendo al máximo el volumen de información a consultar y, con ello, el tiempo de aplicación. Por otra parte, la gran ventaja del método escogido es la posibilidad de observar la elección de cada usuario en el contexto preciso en que ésta se realiza, eliminando de esta forma las eventuales discrepancias entre la intención y el comportamiento real que suelen darse en experimentos de preferencias declaradas (Fujii y Gärling, 2003 presentan una teoría psicológica que permitiría explicar esta diferencia).

El método de enfrentar al encuestado “cara a cara” se escogió a pesar de su mayor complejidad operativa, ya que permitía garantizar un volumen y composición de muestra adecuado al universo de usuarios que interesaba estudiar. Considerando sus características socioeconómicas, era esperable obtener bajas tasas de respuesta en modalidades alternativas como aplicaciones móviles o páginas Web.

Por razones análogas, este método se ha utilizado en diversos estudios de transporte público, incluyendo las tradicionales preguntas acerca de los viajes, pero también incorporando consultas sobre percepciones, actitudes e incluso niveles de satisfacción. Entre ellos, Joewono y Kubota (2007), Lai y Chen (2011) y Carreira *et al.* (2014) desarrollan encuestas de similares características a las aquí descritas, aunque al interior

¹⁵ Como se observó en terreno, los usuarios de taxi colectivo suelen ordenarse en colas para esperar la llegada de los vehículos

de los vehículos. Por su parte, en el marco de los estudios de Chowdhury y Ceder (2013) y De Oña *et al.* (2014) se aplican encuestas de percepción de usuarios en paraderos de transporte público, y la encuesta de satisfacción de Transantiago, con una duración media de 7 minutos, también se administra a pasajeros que esperan el bus (DTPM, 2016).

Un aspecto a resaltar es que la encuesta, tal como fue diseñada, permitió observar la elección de modo (y línea o servicio) de los usuarios encuestados *en los puntos de medición*. Ello implica que se captó tanto a usuarios que iniciaron el viaje en un origen cercano a cada punto, como a usuarios que utilizan la zona de encuesta como punto de transbordo. Por tanto, la elección que se modela corresponde a la que se realiza en el punto de medición, dado que el pasajero se encuentra en él, y no la elección de modo y ruta desde el origen del viaje. Este hecho debe considerarse de manera especial al momento de analizar e interpretar los resultados del modelo de elección.

Por otra parte, uno de los propósitos principales de este trabajo es comprender las variables que inciden en la elección de taxi colectivo en el contexto del sistema de transporte público de Santiago. Así, la encuesta únicamente consideró modos de transporte público (bus, Metro y taxi colectivo), y dejó fuera del análisis al automóvil privado¹⁶

¹⁶ En cualquier caso, la eventual existencia de traspasos de demanda entre taxi colectivo y automóvil particular no parece ser una preocupación mayor: en la Encuesta Origen-Destino 2001 la participación modal del modo taxi colectivo “puro” (sin combinaciones) alcanzaba un 2,5% del total de viajes de la ciudad. En la Encuesta 2012, considerando únicamente las comunas de residencia que formaron parte de ambas mediciones, la participación del modo taxi colectivo prácticamente se mantuvo constante (2,4%). La comparación, presentada en Muñoz *et al.* (2015) contrasta con el fuerte incremento del automóvil (21,0% en 2001, 26,1% en 2012) y la disminución del transporte público mayor (30,1% y 23,7%, respectivamente). Esto fue confirmado durante la aplicación de la encuesta, en la que sólo un 3% de los usuarios de la muestra declaró tener como alternativa disponible el automóvil particular.

4.1.2 Zonas y horarios de encuesta

En principio, buena parte de la población de Santiago cuenta con alternativas disponibles de taxi colectivo, principalmente debido a la densidad de la cobertura de la red, especialmente en las zonas sur y sur-poniente, como se vio en la sección 2.2.2. No obstante, este universo potencial debió acotarse, atendido el carácter exploratorio de este trabajo. Así, la encuesta se concentró en tres zonas de influencia, al interior de las cuales se detectó una gran densidad de servicios de taxi colectivo:

- i) **Bellavista de La Florida.** Área localizada en la comuna de La Florida, en las inmediaciones de las estaciones de Metro Vicuña Mackenna y Bellavista de La Florida, y la estación intermodal de buses de Bellavista de La Florida, desde la cual circulan servicios de Transantiago y varias líneas de buses rurales. En esta área inician su recorrido 24 líneas de taxi colectivo, la mayor parte de las cuales corresponde a servicios “locales” de la comuna, o servicios “cortos” que circulan desde y hacia comunas aledañas como San Miguel, San Joaquín y La Pintana.
- ii) **Lo Ovalle.** Esta zona se ubica en la comuna de La Cisterna, sobre el eje Gran Avenida. En su interior funciona la estación de Metro Lo Ovalle, y también la estación intermodal del mismo nombre, desde la que operan varios servicios de Transantiago y algunas líneas de buses rurales dirigidas hacia el sector sur de la Región Metropolitana. Aquí se detectan 25 líneas de taxi colectivo, varias de las cuales corresponden a servicios “largos” que realizan recorridos hacia San Bernardo. También operan en esta zona algunos servicios “cortos” y “locales” que circulan hacia las comunas de San Miguel, San Joaquín, La Pintana y Lo Espejo.
- iii) **Cal y Canto.** Esta zona se localiza en la comuna de Santiago, y abarca el área de influencia de la estación Cal y Canto de Metro. En su interior inician recorrido 25 líneas de taxi colectivo, entre las que destacan algunos servicios “largos”, principalmente dirigidos a la zona norte (Renca, Quilicura y Cerro

Navia), además de algunos servicios “sub-urbanos” que circulan hacia Lampa y Colina.

Además de su amplia y variada oferta de servicios de taxi colectivo, estas zonas de influencia tienen la ventaja de corresponder a puntos en que se concentra un gran número de paraderos Transantiago, los que en ocasiones albergan servicios que podrían constituirse en competencia para el transporte público menor. Adicionalmente, algunos de los servicios de taxi colectivo circulan por ejes que son cubiertos por líneas de Metro; por esto, incluso podría considerarse que hay servicios de taxi colectivo que “compiten” (al menos en algunos tramos) con Metro. Ello permitió concretar la aplicación de la encuesta en los tres modos.

La Figura 4-1 ilustra los puntos escogidos para el desarrollo de la encuesta, así como los servicios que operan a partir de ellas. Es importante considerar que, aunque la encuesta no pretende ser estadísticamente representativa de la realidad de Santiago, permite la recopilación de información en un número alto y variado de líneas de taxi colectivo (cerca de un 20% del total de servicios de Santiago), y permite estudiar características operativas que se asemejan a otras zonas cercanas a estaciones de Metro y paraderos de bus, que generan viajes de taxi colectivo hacia la periferia, entre las que destacan la estación intermodal de La Cisterna; la estación Lo Vial, en San Miguel; la zona cercana al Metro Los Héroes, en Santiago; el sector de Mirador, en La Florida; y la Plaza de Puente Alto.

Se aprecia que las tres zonas de influencia corresponden a puntos que atraen viajes (desde la periferia a zonas más céntricas) durante la mañana, y los generan durante la tarde (hacia la periferia, desde zonas más céntricas). Por ello, y considerando que se requiere levantar la encuesta durante la espera del usuario *antes* de abordar el vehículo que espera, se optó por realizar la encuesta durante el periodo punta de la tarde de un día laboral. Este periodo tiene la gran ventaja adicional, respecto de la punta mañana, de contar con una mayor extensión temporal, lo que permitió recopilar mayor número de

encuestas por día. La encuesta se realizó en el horario comprendido entre las 17:30 y las 20:30 de un día laboral.

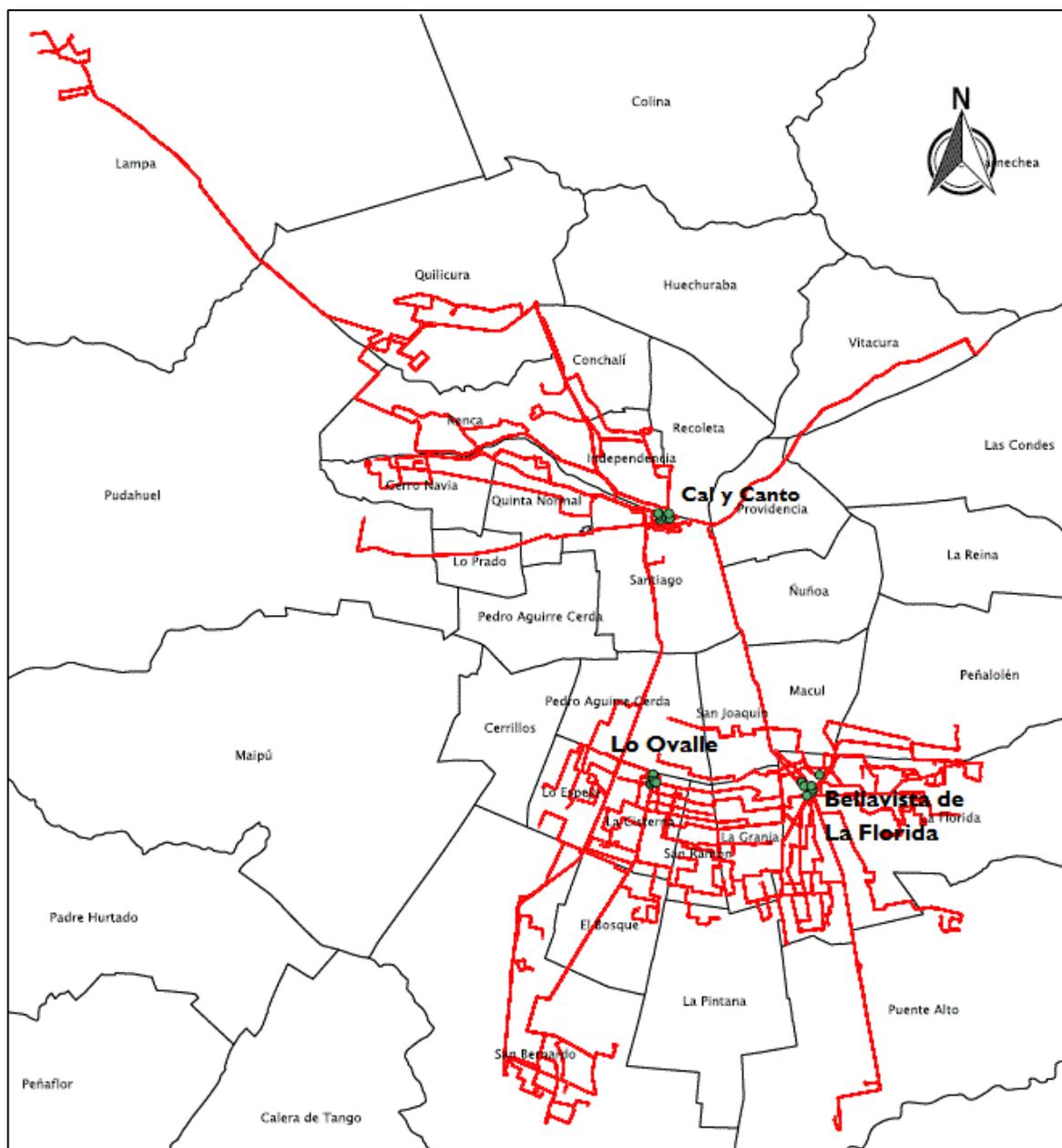


Figura 4-1: Zonas de encuesta y servicios que operan en ellas

Fuente: Elaboración propia

La selección de estas zonas dejó fuera del alcance del estudio a los servicios “locales” de Maipú, Puente Alto y San Bernardo, considerando que sus características de recorrido con ruta completamente flexible dificultaban excesivamente el trabajo de sistematización de información de niveles de servicio que se desarrolló para construir la base de datos de modelación. Por similares consideraciones no se recopiló encuestas en líneas suburbanas como las que se dirigen de Cal y Canto hacia Lampa y Colina, ya que no se disponía de información procesada de niveles de servicio de los buses rurales, que en rigor constituyen la única competencia del taxi colectivo en estos viajes.

4.1.3 Puntos de encuesta y método de muestreo

Definidos los alcances generales de la encuesta, se realizó un catastro de los puntos de inicio de los servicios de taxi colectivo, observando su operación en el horario escogido para el levantamiento de la información. Las visitas a terreno se realizaron durante el mes de octubre de 2016 y, en conjunto con el análisis de las bases de datos del Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros RNSTPP (MTT, 2016), se logró clasificar las líneas de taxi colectivo de las distintas zonas según su zona de destino. La clasificación finalmente adoptada se presenta en la Tabla 4-1, y fue utilizada tanto para el levantamiento de la muestra como para la estimación de los factores de expansión y corrección, como se explicará más adelante.

En el Anexo A-1 se presentan figuras ilustrativas con la clasificación de los servicios para cada una zona de encuesta. El catastro realizado en cada una permitió, en conjunto con la detección y clasificación de las líneas operativas, la identificación de sus puntos de inicio. Estos lugares fueron georreferenciados y sirvieron como base para definir los puntos de encuesta y, con ello, la planificación del trabajo de campo.

En el caso de los taxis colectivos, el método empleado para el levantamiento de la muestra correspondió a una selección muestral al interior de cada grupo definido anteriormente. En primera instancia, se seleccionó servicios al interior de cada uno de

los grupos, que fueron asignados a cada encuestador de manera previa al inicio del trabajo de campo. Posteriormente, para cada servicio, los encuestadores seleccionaron aleatoriamente individuos ubicados en la cola de espera del servicio de taxi colectivo según su orden en la fila. En caso de rechazo, se elegía al individuo que ocupara el lugar siguiente. Si no se observaba fila en un determinado instante en el servicio asignado, el encuestador debía cambiar al siguiente servicio en su listado diario de tareas.

Tabla 4-1: Agrupaciones de servicios de taxi colectivo según destino

Zona	Grupo	Destino Principal	N° Servicios	Servicios relevantes
Bellavista de La Florida	101	La Florida Alto y Lo Cañas	5	3028; 3033; 3035; 3025; 3027
	102	Peñalolén	3	2011; 2012; 3036
	103	Tobalaba	2	3021; 3022
	104	San Ramón y La Granja	2	3003; 5011
	105	Bahía Catalina y La Granja	2	3012; 3013
	106	La Florida Sur y Santa Raquel	6	3029; 3030; 3031; 3008; 3009; 4009
Lo Ovalle	107	Bellavista de La Florida	4	5026; 5061; 5066; 5054
	201	Local Santiago Sur	13	3005; 5003; 5070; 5007; 5008; 5028; 5030; 5036; 5039; 5040; 5053; 5055; 5057
	202	San Bernardo	8	5031; 5033; 5042; 5067; 5016; 5017; 5063; 5068
Cal y Canto	301	Cerro Navia y Pudahuel	7	7004; 7005; 7010; 7012; 7013; 7006; 1
	302	Santiago Sur por Autopista	3	5004; 5027; 5015
	303	Quilicura	2	8002; 8003
	304	Renca Centro	2	8006; 8013
	305	Renca e Independencia	3	8007; 8008; 8015
	306	Lampa	6	No considerados en el estudio.

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de encuestas en buses, se siguió una regla similar. Esto requirió un análisis previo de los servicios que salían de cada uno de los paraderos del área de influencia, a fin de distinguir con precisión cuáles representaban algún tipo de competencia para las

líneas de taxi colectivo de cada agrupación, ya sea porque se dirigían hacia alguna de las zonas de destino o bien porque pasaban por ellas. En este subconjunto de servicios se realizó una muestra de paraderos de inicio, que fueron asignados al equipo de encuestadores. La selección de encuestados dentro de cada punto fue realizada de manera análoga al caso de los taxis colectivos, con la facilidad adicional que, en este caso, estaba permitido continuar la encuesta a bordo del vehículo en caso de que el bus llegara al paradero antes de finalizar de la encuesta.

Finalmente, en el caso de Metro las encuestas se llevaron a cabo en los accesos de cada estación y se concentraron en usuarios que se dirigieran a las comunas relevantes, según la agrupación de la Tabla 4-1 anterior. Al interior de este subconjunto de usuarios se encuestó a todos los que estuvieron dispuestos a contestar la encuesta.

Aun tomando en cuenta las condiciones de aleatoriedad y reducción de sesgo muestral que se mencionan en los párrafos previos, es importante notar que, en la práctica, la muestra tiene un sesgo intencionado en términos de incluir un mayor número de usuarios de taxi colectivo, por sobre los modos alternativos. Por tanto, la estimación de modelos de elección requirió una corrección y expansión a fin de reproducir las características relevantes de la población de interés que, en este caso, corresponde al total de pasajeros que utiliza transporte público en las zonas de influencia. El procedimiento de corrección se explica detalladamente en el capítulo 5.3.

4.2 Diseño del Instrumento

El principal criterio de diseño del instrumento fue compatibilizar dos objetivos: recopilar la mayor cantidad de información posible acerca del viaje del usuario y mantener la duración del instrumento en un intervalo de tiempo compatible con el método escogido para su aplicación (interceptación en la vía pública o en los vehículos). Ello implicó que la encuesta se concentrara específicamente en recolectar información que no pudiera

obtenerse mediante fuentes externas y sólo pudiera ser entregada por el encuestado, tal como se recomienda en Tierney *et al.* (1996).

4.2.1 Información del Viaje y del Usuario

La información objetiva del viaje y del usuario recopilada a través de la encuesta, se presenta en la Tabla 4-2, distinguiendo tres componentes principales: datos de contexto, información del viaje e información socioeconómica¹⁷.

Tabla 4-2: Información del viaje y el usuario recopilada en la encuesta

Componente	Nº	Pregunta
Datos de contexto	1	Zona de encuesta (Bellavista, Lo Ovalle, Cal y Canto)
	2	Punto de medición
	3	Servicio esperado
Información del viaje	4	Motivo
	5	Frecuencia
	6	Lugar de origen (Casa, Lugar de estudio, Lugar de trabajo, Otro)
	7	Detalle de origen (Dirección o esquina más cercana)
	8	Listado de otros servicios disponibles
	9	Tarifa declarada (a pagar).
	10	Lugar de destino (Casa, Lugar de estudio, Lugar de trabajo, Otro)
	11	Detalle de destino (Dirección o esquina más cercana)
	12, 13, 14	Detalle de transbordos posteriores a la etapa encuestada (si se realizan).
	15	Detalle de alternativas disponibles (indicando servicios cuando corresponde)
16	Verificación de si realiza el mismo viaje en sentido opuesto durante la mañana.	
Información Socioeconómica	18	Edad
	19	Sexo
	20	Número de automóviles en casa
	21	Nivel de estudios
	22	Ocupación actual
	23	Comuna de residencia
	24	Rango de ingreso (Personal)

Fuente: Elaboración propia

¹⁷ La numeración de preguntas sigue el orden de la encuesta a usuarios de taxi colectivo (ver Anexo A.3). Las encuestas en otros modos tienen cambios menores de fraseo de preguntas o eliminación de información redundante.

Las variables incorporadas al instrumento corresponden a las usuales en encuestas origen-destino en la modalidad de interceptación (Tierney *et al.*, 1996). Debe notarse que la mayor parte de la encuesta se concentra en recopilar información acerca del origen y el destino del viaje, aunque, dado el interés en modelar el proceso de elección entre el punto de encuesta y el de destino, el énfasis radica en recoger información acerca de las etapas finales.

Como es usual, la información socioeconómica fue localizada al final de la encuesta, y el nivel de ingreso se preguntó en rangos predefinidos, que fueron validados y corregidos luego de la encuesta piloto.

4.2.2 Indicadores de percepción

El escaso interés que ha suscitado el estudio del taxi colectivo hace que, hasta la fecha, no se hayan examinado en profundidad las motivaciones de sus usuarios para elegirlo. Dado esto, se aprovechó de recopilar indicadores de percepción de los usuarios acerca del modo.

El diseño de un cuestionario de indicadores de percepción depende fundamentalmente del tipo de variable latente que se desea construir. Como indican Bahamonde-Birke *et al.* (2017), existen al menos tres tipos de variables latentes:

- i) **Variables latentes individuales no asociadas a alternativas.** Estas corresponden a actitudes o evaluaciones del individuo respecto a algún aspecto determinado del mundo físico o social, y no se asocian a alguna alternativa en específico (por ejemplo, actitudes pro medio ambiente o evaluación de normas sociales).
- ii) **Variables latentes individuales asociadas a alternativas.** Estas son similares a las anteriores, en términos de corresponder a evaluaciones individuales; sin embargo, éstas sí pueden ser asociadas inequívocamente a

alguna de las alternativas en estudio (por ejemplo, actitud pro automóvil o valoración negativa de los modos de transporte público).

- iii) **Variables latentes asociadas a alternativas.** En teoría, en estas variables la respuesta de cada individuo podría variar según la alternativa evaluada. Este tipo de variable latente se asemejaría en su tratamiento a un atributo de nivel de servicio.

En línea con esta clasificación y con el objetivo de la investigación, se decidió que el cuestionario de indicadores de percepción permitiera construir variables latentes asociadas a la segunda tipología (variables individuales asociadas a alternativas), de modo que éstas permitieran una caracterización específica del modo en estudio. Esto permitió limitar el tiempo de aplicación de la encuesta, al someter a cada individuo a un único cuestionario de indicadores, asociado al taxi colectivo. Este conjunto de preguntas fue realizado únicamente a los usuarios que habían utilizado el modo en el último año.

Para definir los indicadores a recopilar, se realizó un estudio cualitativo previo en la modalidad de grupo focal. En este tipo de actividad, un panel de trabajo de entre seis y doce participantes intercambia experiencias, ideas y actitudes acerca de algún tema en particular, dirigidos por un moderador. El reducido tamaño muestral de los grupos focales no permite obtener conclusiones estadísticamente representativas sobre el objeto de estudio, pero sí apoya en extracción de información valiosa acerca de los factores que inciden en el proceso de toma de decisiones (Clifton y Handy, 2001).

En el contexto de esta investigación se realizaron dos grupos focales: el primero, con seis usuarios, el día 31 de agosto de 2016, y el segundo, con ocho participantes, el 7 de septiembre del mismo año. Ambas experiencias se desarrollaron en dependencias del Campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica. Los participantes de los grupos focales fueron usuarios frecuentes y ocasionales del modo taxi colectivo en el área metropolitana de Santiago y sus comunas periféricas. La muestra total estuvo compuesta por 10 mujeres y 4 hombres de diversas edades y comunas de residencia.

Considerando que los factores decisionales varían dependiendo del contexto social y de las características individuales de las personas que viajan, los antecedentes fueron recopilados a partir del intercambio de información acerca de las experiencias de viaje en el modo. Para el desarrollo de la experiencia se elaboró una pauta con los temas a explorar, que se presenta en el Anexo B.

Como resultado de la experiencia, se definió un conjunto de factores relevantes en la valoración del taxi colectivo por parte de sus usuarios. Según el número de menciones espontáneas de cada concepto en la conversación y el énfasis asignado por el entrevistado al atributo, estos factores fueron clasificados en tres niveles: principal (atributos muy relevantes), secundario (atributos relevantes) y terciario (atributos menos relevantes). El listado de factores abordados se presenta en la Tabla 4-3 a continuación:

Tabla 4-3: Atributos relevantes en la elección del modo taxi colectivo en Santiago

Nivel Principal	Nivel Secundario	Nivel terciario
Tiempos de viaje. Comodidad. Confiabilidad. Seguridad. Relación con el conductor.	Acceso/Egreso. Espera. Costos monetarios. Flexibilidad.	Higiene y mantención de los vehículos Relación con otros pasajeros Información disponible del servicio. Accesibilidad a personas con movilidad reducida.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de grupos focales

Los atributos mencionados con mayor intensidad se asocian a la conveniencia en el uso del modo. En efecto, varios de los participantes del grupo focal evalúan de manera positiva el ahorro de *tiempo de viaje* que implica utilizar taxi colectivo, principalmente en comparación con el bus, que es definido como una alternativa más lenta. Este atributo se relaciona positivamente con la *confiabilidad* del tiempo total de viaje que entrega este modo a sus usuarios; de hecho, varios de los participantes señalaron que elegir taxi colectivo les permitía predecir de buena forma el tiempo que emplearían para llegar a su destino, lo que no sucedería en el caso de los buses.

La *comodidad* fue otro atributo mencionado con mayor fuerza en la experiencia. En este ítem, el taxi colectivo fue evaluado de manera positiva sobre el bus y el Metro, no sólo porque el viaje se realiza sentado y en un ambiente controlado, sino también porque varias experiencias negativas de usuarios en los modos de transporte público mayor se asociaban a viajes con alto nivel de hacinamiento en los vehículos.

El modo es, además, percibido como *seguro*, tanto en el trayecto a bordo en el vehículo como en los puntos de acceso, principalmente en lo que se refiere a protección contra eventuales delitos. Algunos usuarios también mencionaron una mejor percepción de la seguridad respecto a accidentes viales en comparación con el transporte público mayor, aunque este aspecto fue menos relevante.

En línea con lo anterior, se destaca como un aspecto positivo la *relación con el conductor*. En efecto, varios usuarios frecuentes señalaron emplear las mismas líneas de taxi colectivo desde hace muchos años¹⁸, lo que generaría una sensación de familiaridad con los conductores de los vehículos, así como relaciones cordiales y amables que, a su vez, incrementan la sensación de seguridad.

Los atributos anteriores fueron traducidos en el cuestionario de indicadores de percepción que se presenta en la Tabla 4-4. Esta incluye afirmaciones asociadas a los atributos clasificados como “muy relevantes” y “relevantes”, agrupados según dimensiones cognitivas surgidas a partir del análisis de los grupos focales¹⁹. El cuestionario fue incorporado al final de la encuesta, solicitando a los encuestados expresar su grado de acuerdo con las afirmaciones de la Tabla 4-4 (en una escala Likert

¹⁸ La permanencia de las condiciones generales de licitación en Santiago (en términos de paraderos, terminales y recorridos) desde hace al menos 15 años, y la falta de información a los usuarios parecen favorecer la permanencia de usuarios frecuentes del modo (que ya conocen muy bien su operación), y al mismo tiempo dificultan la entrada de nuevos usuarios. Ello ciertamente favorece el establecimiento de relaciones de cordialidad con los conductores, pero al mismo tiempo representa una importante barrera contra el eventual crecimiento del sector.

¹⁹ La agrupación definitiva de los indicadores de percepción para detectar variables latentes según las dimensiones subyacentes se realiza con los resultados de la encuesta, en un análisis factorial cuyos resultados se reportan en el capítulo 6.2.

de cinco puntos entre “muy de acuerdo” y “muy en desacuerdo”). Como se mencionó previamente, el requisito para que usuarios de bus y Metro respondieran esta pregunta fue haber utilizado el taxi colectivo en el último año.

Tabla 4-4: Indicadores de percepción sobre el taxi colectivo

Dimensión	ID	Indicador
Confiabilidad	y_a	Viajando en taxi colectivo me demoro menos que en otros medios
	y_b	Puedo saber exactamente cuánto me voy a demorar antes de subirme al taxi colectivo
	y_f	Viajando en taxi colectivo espero menos que viajando en otros medios
	y_g	Puedo saber exactamente cuánto voy a esperar antes de llegar a la parada del taxi colectivo
Comodidad	y_c	Para mí es importante ir sentado durante mi viaje
	y_d	Para mí es importante poder transportar bultos (carga) en mi viaje
Flexibilidad	y_e	El viaje en taxi colectivo me permite hacer menos transbordos
	y_h	El servicio de taxi colectivo me deja en un lugar que me conviene
Seguridad	y_i	Si ando en taxi colectivo, es menos probable que me ocurra un accidente
	y_j	Tengo seguridad de que no seré víctima de un delito si viajo en taxi colectivo
Relación con el conductor	y_k	Siempre puedo preguntar, sugerir o reclamar algo al conductor del taxi colectivo
	y_l	El conductor del taxi colectivo ayuda a la gente que tiene problemas de movilidad (adultos mayores, personas con discapacidad, mujeres embarazadas, entre otros)

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de grupos focales

4.3 Aplicación de la Encuesta

La metodología y formularios de encuesta fueron testeados en terreno a través de una encuesta piloto que se realizó durante los días 25 de noviembre y 2 de diciembre de 2016. Por su parte, la encuesta definitiva fue aplicada entre los días 12–15 y 19–20 de diciembre de 2016, y 3–4 y 9–12 de enero de 2017, en el horario entre las 17:30 y las 20:30, en las zonas y puntos definidos previamente. A continuación se describen ambas experiencias.

4.3.1 Encuesta piloto

Esta permitió verificar la metodología de selección de encuestados y aplicación de encuestas, así como el fraseo de las preguntas y su grado de comprensión por parte de los entrevistados. Adicionalmente, se verificó la localización específica de los puntos de inicio de los servicios de taxi colectivo y bus, a fin de planificar adecuadamente el desarrollo de la encuesta definitiva.

Se realizó un total de 41 encuestas piloto, 29 de las cuales correspondieron a usuarios de taxi colectivo. El resto de las encuestas consideró aplicaciones a usuarios de bus (en paradero y a bordo del vehículo) y de Metro (en la entrada de las estaciones). El tiempo medio de encuesta fue estimado en 5,5 minutos, con un mínimo de 4 y un máximo de 8 minutos. Este tiempo se considera apropiado considerando las recomendaciones de Tierney *et al.* (1996), quienes sugieren una duración máxima de 10 minutos en encuestas de interceptación para la obtención de resultados confiables.

Como producto de esta actividad, se realizaron correcciones menores, fundamentalmente asociadas a orden, diagramación y redacción de preguntas puntuales. Adicionalmente, se dimensionó la carga de trabajo para el equipo de encuestadores, lo que permitió establecer el cronograma definitivo del trabajo de campo.

4.3.2 Encuesta definitiva

Durante la aplicación definitiva del instrumento en terreno, se consiguió recolectar un total de 503 encuestas completas, para un promedio de 4,7 encuestas/hora-encuestador, que se traduce en una encuesta cada 12,9 minutos. Luego de revisiones básicas, la base definitiva quedó conformada por 467 encuestas válidas, que representan un 93% del total recopilado. La distribución de encuestas válidas conseguidas según zona y modo de acceso se presenta en la Tabla 4-5.

Un 57% de las encuestas fue aplicado a usuarios de taxi colectivo, según el método de muestreo definido, un 30% a usuarios de bus y el resto a usuarios de Metro. Aunque el número de encuestas se distribuyó de manera relativamente homogénea entre las tres zonas, la mayor parte de las observaciones (176) fue recogida en Lo Ovalle.

Tabla 4-5: Total de encuestas válidas obtenidas según zona de encuesta y modo

Modo / Lugar	Bellavista de La Florida	Lo Ovalle	Cal y Canto	Total
Bus	46	58	38	142
Metro	32	15	13	60
Taxi colectivo	81	103	81	265
Total	159	176	132	467

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

La Tabla 4-6 presenta un resumen de la estadística descriptiva de la composición socioeconómica de la muestra obtenida de la encuesta definitiva, separando los resultados según el área de interés.

Se observa que la muestra estuvo compuesta por 61% de mujeres, y que el rango de variación de la edad de los encuestados va entre los 14 y 78 años, con un promedio de 35,2 años. Un 55% de los encuestados declara no tener automóvil en su casa, y un 59% declara que la educación media fue el máximo nivel educacional alcanzado. Por otra parte, un 49% de los encuestados declaró percibir un ingreso mensual inferior a los CL\$ 400.000. La composición socioeconómica de la encuesta se aproxima al perfil de usuario de taxi colectivo que recoge la EOD 12 (SECTRA, 2013b) y que se reportó en la sección 2.2.3. Adicionalmente, es interesante mencionar que la mayor proporción de usuarios reportó como comunas de residencia La Florida (21%), La Granja (12%), San Bernardo (11%) y Renca (9%), identificadas en el catastro de servicios como comunas con alta cobertura de servicios de taxi colectivo, y con sectores que presentaban problemas de conectividad en la red de transporte público mayor.

Tabla 4-6: Estadística descriptiva de la muestra – Resumen

Dimensión	Variable	Bellavista La Florida	Lo Ovalle	Cal y Canto	Total	% de la muestra
Comuna de residencia	La Florida	92	5	-	97	21
	La Granja	29	29	-	58	12
	San Bernardo	1	47	2	50	11
	Renca	-	-	44	44	9
	San Ramón	12	22	-	34	7
	Quilicura	-	-	29	29	6
	Cerro Navia	-	-	27	27	6
	Independencia	-	-	24	24	5
	Conchalí	-	-	18	18	4
	La Cisterna	-	15	-	15	3
Otras	25	14	32	71	15	
Sexo	Mujer	100	104	80	284	61
	Hombre	59	72	52	181	39
Edad (Años)	< 18	13	5	7	25	5
	[18; 30]	54	57	50	161	34
	[31; 45]	32	64	42	138	30
	[46; 60]	42	45	26	113	24
	> 60	18	5	7	30	6
Posesión de automóvil	No tiene	89	97	71	257	55
	1	57	62	45	164	35
	2 ó más	13	17	16	46	10
Nivel Educativo Máximo	Básica	26	14	11	51	11
	Media	73	89	62	224	48
	Técnica	29	50	30	109	23
	Universitaria	29	23	29	81	17
Nivel de Ingreso (\$)	Menos de 200.000	29	8	13	42	9
	Entre 200.000 y 400.000	47	94	45	186	40
	Entre 400.000 y 800.000	35	37	28	100	21
	Más de 800.000	8	7	10	25	4
	Actualmente no percibe	25	20	16	61	13
	No responde	24	9	20	53	11

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

Por otro lado, la Figura 4-2 presenta la distribución geográfica de los destinos de viaje declarados por los usuarios en la encuesta. Considerando que 96% declara como motivo “volver a casa”, es lógico que esta distribución reproduzca de manera bastante sistemática la distribución de las comunas de residencia de los encuestados; en efecto, 20% de los destinos se ubica en la comuna de La Florida, 12% en La Granja, 10% en Renca y 10% en San Bernardo.

En cuanto a los orígenes, 61% de los usuarios declaró provenir de su lugar de trabajo, mientras que 20% declaró como punto de origen algún centro comercial o de compras. La mayor parte de los viajes encuestados correspondieron a etapas de transbordo: en efecto, 62% de los encuestados declaró un punto de origen situado a una distancia mayor que 1 km del punto de encuesta. Un 46% de los encuestados caminó desde su origen hasta el punto de encuesta en Bellavista de La Florida, 42% en Cal y Canto y 23% en Lo Ovalle. Adicionalmente, sólo 9% de los encuestados (todos usuarios de bus o Metro) declaró que transbordaba una o más veces antes de llegar a casa, y todos ellos indicaron que realizarían esta etapa adicional en bus. La encuesta, por tanto, representa esencialmente un conjunto de últimas etapas de viaje, de acuerdo con lo planificado.

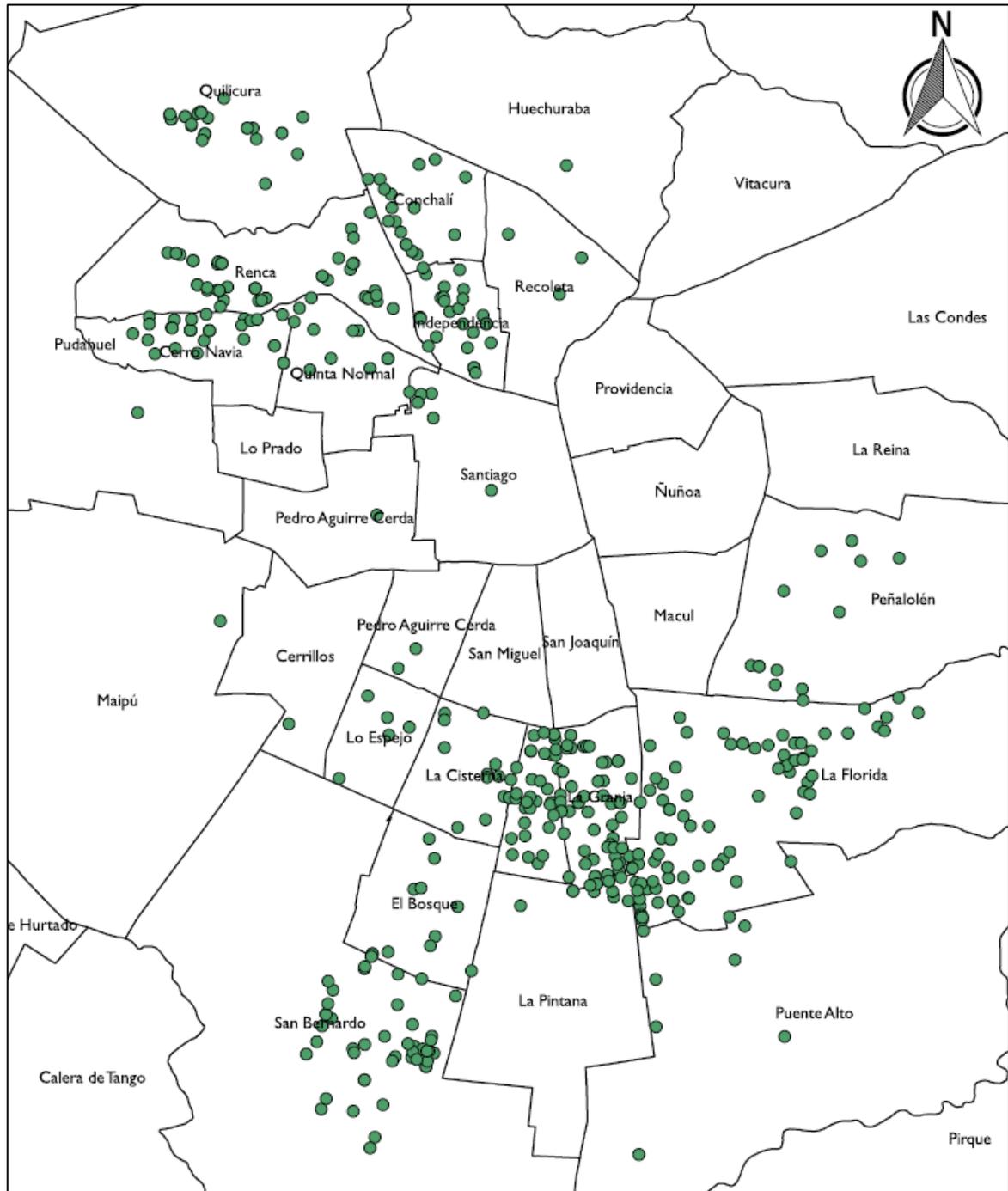


Figura 4-2: Distribución de destinos de los encuestados

Fuente: Elaboración propia

5. GENERACION DEL BANCO DE DATOS

Para estimar modelos de elección discreta fue necesario complementar la información recopilada en la encuesta con datos que permitieran definir completamente las alternativas de transporte público disponibles para cada uno de los encuestados. En este capítulo se describe el proceso de generación de alternativas, para luego analizar el procedimiento aplicado para obtener sus niveles de servicio y los demás atributos requeridos para la modelación. Finalmente, se presentan algunas consideraciones empleadas para la expansión y corrección de la muestra.

5.1 Generación de alternativas

En el contexto de este trabajo, las alternativas elementales enfrentadas por cada usuario corresponden a *rutas de transporte público*, y cada una de éstas puede asociarse a uno o más modos (taxi colectivo, bus, Metro o combinaciones entre estos dos últimos). Este enfoque desagregado permite tratar con mayor nivel de detalle las opciones disponibles para cada usuario y sus atributos de niveles de servicio.

5.1.1 Disponibilidad de alternativas

Un primer problema, no trivial, es la construcción del conjunto de alternativas disponibles para cada encuestado²⁰. En principio, los usuarios tienen disponible la opción de transporte que escogieron, en conjunto con eventuales rutas que emplean el mismo modo, pero a través de líneas o servicios distintos. Este caso es muy frecuente en modos de transporte público mayor, en que, dada la densidad de la red, es posible encontrar un gran número de opciones de viaje para casi cualquier par origen-destino en

²⁰ Algunos autores argumentan que, en rigor, el conjunto de alternativas disponibles para cada usuario es un constructo latente para el analista, debido a que éste sólo observa la alternativa preferida. En este sentido, se han planteado algunos modelos que consideran la generación del conjunto de alternativas disponibles y la elección de manera conjunta (ver, por ejemplo, Swait, 2001). Este enfoque queda fuera de los alcances de este trabajo y, por tanto, el conjunto de alternativas disponibles ha sido construido de manera exógena.

la ciudad. Además de lo anterior, el catastro y análisis de la red de taxi colectivo permitió verificar que muchos pares origen-destino pueden ser cubiertos por varias líneas (no necesariamente comunes) de taxi colectivo, especialmente considerando la flexibilidad de recorrido que pueden tener en sus últimos tramos. De esta forma, el número de alternativas realmente disponibles para cada viajero puede ser relativamente alto, aunque muchas de ellas puedan no ser percibidas por él.

Como punto de partida para el análisis, la Tabla 5-1 presenta el resumen de las respuestas de los encuestados ante la pregunta sobre las alternativas de movilidad percibidas como disponibles²¹.

Tabla 5-1: Alternativas disponibles por usuario según modo escogido

Alternativa disponible	% de usuarios de taxi colectivo	% de usuarios de bus	% de usuarios de Metro	% del total de usuarios
Taxi colectivo	7	15	8	10
Bus	72	55	75	67
Combinación Bus/Metro	14	6	0	10
Metro	3	2	0	5
Caminata	1	3	0	5
Auto particular	2	2	0	4
Otros	5	5	7	5

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

Se observa que, de acuerdo con lo esperado, la alternativa que cuenta con mayor percepción de disponibilidad es el bus: 67% del total de usuarios considera que tiene disponible un servicio de bus en caso de no poder usar la opción elegida. Por otra parte, sólo 4% de los encuestados señala tener disponible un automóvil particular, lo que

²¹ En el formulario de encuesta, la situación se planteó como “si no pudiera utilizar este servicio para realizar el viaje, ¿qué alternativas tendría?”, tal como se ve en el formulario entregado en el Anexo A-2. Para conseguir respuestas más precisas sobre la percepción de disponibilidad de alternativas, esta pregunta debería realizarse de manera detallada, analizando cada caso con detención.; sin embargo, este método prolongaba demasiado el tiempo de aplicación de la encuesta en paraderos, como se reveló en la aplicación piloto.

implica que muy pocos usuarios tienen la opción de cambiarse a este modo en la actualidad, y justifica la implementación de un modelo de elección que sólo considere transporte público.

No muchos usuarios de otros modos perciben al taxi colectivo como opción de viaje, aunque las encuestas fueron realizadas en puntos con alta frecuencia de servicios de este modo: sólo 15% de los usuarios de bus y 8% de los encuestados en Metro lo consideran como alternativa disponible. Esta percepción es relativamente estable en el tiempo: la totalidad de los usuarios que declaró no tener disponible taxi colectivo para viajar, señaló no haberlo utilizado en el último año y, por tanto, no respondió el cuestionario de indicadores de percepción. Incluso para los mismos usuarios de taxi colectivo, la percepción de disponibilidad es limitada: sólo 7% pudo identificar otra línea como opción disponible si no pudieran ocupar la que estaban esperando. Como se ha mencionado previamente, ello parece deberse, entre otros factores, a la falta de información que se entrega a los usuarios respecto de servicios y paraderos.

5.1.2 Procedimiento de generación de rutas alternativas

Tomando en cuenta estas cifras, el criterio básico de construcción del conjunto de alternativas consideró la generación de al menos una alternativa de viaje en bus (o combinación bus/Metro) para cada encuestado. En el caso de las opciones de taxi colectivo, éstas fueron generadas únicamente para los usuarios del modo y para aquellos encuestados de los otros modos (bus y Metro) que lo declararon como alternativa disponible. Por simplicidad, y considerando que ninguno de los encuestados en taxi colectivo declaró realizar transbordos luego de su etapa de viaje en este modo, no se generaron alternativas de combinación entre taxi colectivo y otros modos de transporte público.

La generación de alternativas de bus y Metro es relativamente sencilla, considerando el reciente desarrollo de abundantes herramientas de planificación de viaje que permiten

obtener con facilidad y confiabilidad distintas opciones de viaje para llegar a un destino determinado. En esta investigación se utilizó el resultado de generar alternativas de transporte público para cada par origen-destino en la encuesta mediante la herramienta de planificación que emplea el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM, 2017), implementada a través de Google Maps. De esta aplicación se rescató, para cada alternativa factible, la secuencia de servicios o líneas a utilizar, así como los paraderos de subida, bajada y transbordo. A pesar que la herramienta también entrega estimaciones de tiempos de caminata, viaje y espera, éstos no fueron utilizados para la modelación, y fueron calculados de manera independiente con datos provenientes de fuentes externas, como se explica en la sección 5.3.

Un inconveniente para la generación de alternativas de viaje en taxi colectivo es que los recorridos no se encuentran apropiadamente georreferenciados y codificados como parte de una red que pueda emplearse para automatizar la generación de rutas, como se realiza en las herramientas de planificación de viajes. Si bien esto se debe en gran parte al escaso interés en la investigación del modo, también es probable que la flexibilidad de recorrido del modo dificulte severamente los pocos esfuerzos de análisis y georreferenciación realizados hasta la fecha. A mayor abundamiento, la EOD 2012, desde donde se han obtenido los trazados de líneas de taxi colectivo para esta investigación, cuenta con un catastro incompleto de servicios, y varias líneas faltantes en éste debieron incorporarse al análisis geográfico de manera manual, generando su trazado a partir de la información del Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros, RNSTPP (MTT, 2016).

Considerando estas limitaciones, se debió diseñar una heurística para construir las alternativas de taxi colectivo disponibles para cada encuestado. El objetivo de la heurística fue identificar, entre todas las líneas de taxi colectivo que operaban en cada zona, aquellas que permitieran al usuario llegar a su destino con un tiempo “razonable” de caminata de egreso. Para realiza esta identificación, la heurística consideró las siguientes tareas:

- i) Determinar para cada zona de encuesta el conjunto $\{S\}$ de líneas de taxi colectivo que tiene un terminal en su interior.
- ii) Medir la mínima distancia d_{jk} entre cada destino j y cada servicio $k \in \{S\}$. Conceptualmente, esta distancia correspondería a una “distancia de caminata de egreso”, o la eventual caminata que debería realizar el usuario entre su punto de bajada al interior del servicio (P_{jk}), y su destino final j . Es importante mencionar que, en este trabajo, todas las distancias de caminata entre dos puntos geográficos fueron estimadas como el promedio de la distancia euclidiana (geométrica) y la distancia Manhattan.
- iii) Definir el conjunto de alternativas disponibles para cada usuario con destino j , que está conformado por todas las líneas k en que la distancia d_{jk} es menor que 1 km.

La Figura 5-1 ilustra un ejemplo del procedimiento, implementado a través de la herramienta geográfica QGis (QGis Development Team, 2009). La distancia geométrica d_{jk} entre el destino j y el servicio k (cuyo trazado se muestra en azul oscuro) define el punto P_{jk} . Si el promedio de esta distancia y la distancia Manhattan entre ambos puntos era inferior a 1 km, entonces el servicio era una alternativa factible para el usuario con destino en j (esta condición no se cumple en la ilustración).

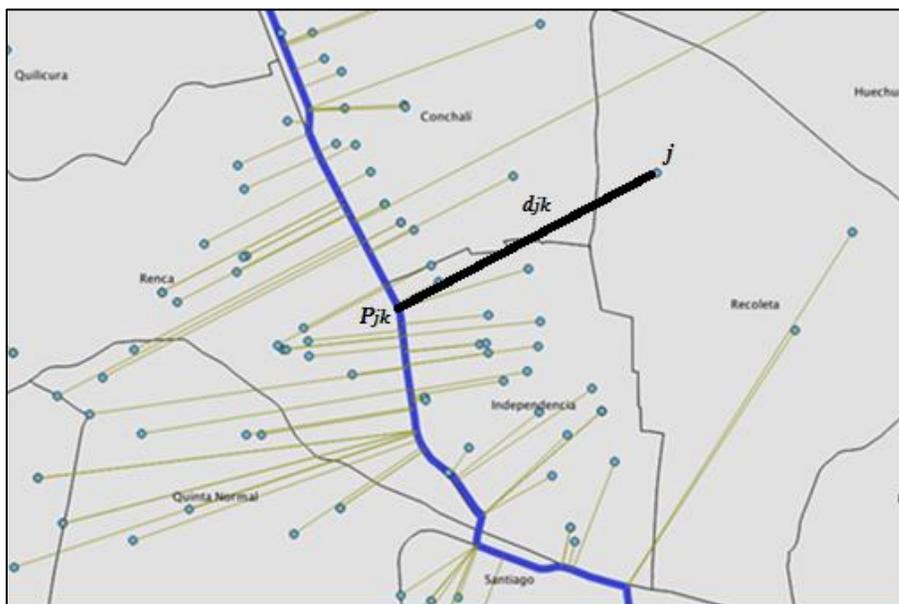


Figura 5-1: Ilustración del proceso de generación de alternativas de taxi colectivo

Fuente: Elaboración propia

La construcción de alternativas con este procedimiento generó una serie de rutas que resultaban poco factibles de utilizar por parte del usuario, lo que implicó un proceso de depuración adicional, en que fueron descartados para cada individuo: (i) los servicios que viajaban en sentido contrario al sentido implícito del viaje, y (ii) los servicios cuyo uso implicaba un tiempo de viaje inferior al tiempo de caminata.

El proceso de definición de alternativas disponibles de taxi colectivo se desarrolló tanto para los usuarios encuestados en este modo (como forma de validación del servicio escogido, y para determinar si existen otras opciones posibles para realizar el viaje), como para los usuarios de bus y Metro que declararon tener disponible este modo –y que por tanto respondieron el cuestionario de indicadores de percepción–. Así, no se asignó alternativas de taxi colectivo a los usuarios de bus y Metro que no habían utilizado taxi colectivo en el último año.

5.2 Cálculos y Mediciones de Niveles de Servicio

La determinación de niveles de servicio de las alternativas requirió un extenso trabajo de recopilación y procesamiento de información de distintas fuentes. Como se ha mencionado, la encuesta no consideraba preguntar por atributos de niveles de servicio a los usuarios, a fin de evitar cualquier eventual sesgo asociado a su percepción por parte de los individuos, o errores de comunicación de la respuesta (Ortúzar, 2000). Por otra parte, se intentó en lo posible no trabajar con datos agregados provenientes de modelos de asignación, los que usualmente pueden traer sesgos de agregación y predicción (Horowitz, 1981).

El procedimiento empleado para calcular variables de nivel de servicio se presenta separadamente para el modo de interés (taxi colectivo) y para los modos de transporte público mayor (alternativos).

5.2.1 Niveles de servicio en taxi colectivo

La generación de niveles de servicio para taxi colectivo fue realizada a través de una campaña de mediciones de base, que consideró mediciones de tiempos de viaje a través de GPS, catastro de tarifas de servicios, registro de frecuencias y tasa de ocupación de los servicios relevantes, y conteos de llegadas de usuarios al sistema, con el propósito de estimar tiempos de espera para cada servicio. Las mediciones y catastros fueron desarrollados durante los meses de marzo y abril de 2017.

5.2.1.1 Tiempos de viaje

Para estimar tiempos de viaje de un usuario j en una línea k se utilizó el resultado de la heurística implementada en la sección 5.1.2, en que se determinó el punto más cercano

sobre dicha línea, al destino del usuario, P_{jk}^{22} . A partir de ello, es relativamente sencillo calcular d_{jk} , la distancia viajada por el usuario desde el punto en que aborda la línea de taxi colectivo hasta P_{jk} , utilizando la herramienta geográfica QGIS. Como sólo se construyeron alternativas de taxi colectivo con una etapa, esta distancia corresponde, en la práctica, a la longitud total del viaje. La Figura 5-2 presenta un histograma con la distribución de las distancias de viaje en las alternativas de taxi colectivo. Se observa que la distancia media es de 6,8 km, y que un 19% de las rutas generadas tiene una longitud superior a los 10 km.

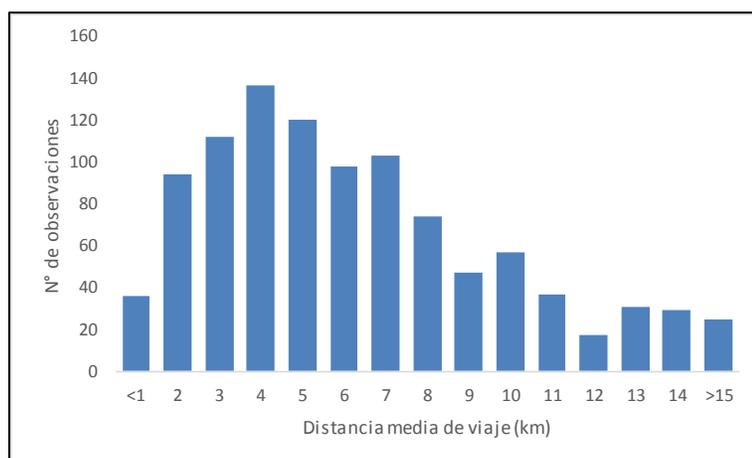


Figura 5-2: Histograma de distancias de viaje en taxi colectivo

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

El cálculo de un tiempo de viaje asociado a estas distancias requiere indicadores de velocidad. Estos fueron obtenidos a través de mediciones realizadas mediante dispositivos GPS que fueron entregados a los conductores de determinados servicios. En específico, se realizaron mediciones representativas de velocidad y tiempo de viaje en servicios pertenecientes a cada una de las agrupaciones presentadas en la Tabla 4-1. Las mediciones fueron procesadas a fin de obtener velocidades representativas por tramos de cada línea. La velocidad media de circulación de los taxis colectivos resultó ser 23,8

²² Esta definición puede tener leves diferencias (a nivel de metros) respecto del punto real de bajada del usuario, que puede estar condicionado por variables como: presencia de semáforos, tráfico circulante, factibilidad de estacionar, entre otras, cuyo efecto es imposible de considerar en una modelación de estas características.

km/h, con un rango de variación de entre 16,1 km/h (servicio 3008, que circula por la vialidad de la comuna de La Florida hasta llegar a su sector alto) y 33,3 km/h (servicio 5054, que opera desde Cal y Canto hacia Puente Alto, con un tramo extenso de circulación por autopista). Las velocidades de cada servicio fueron aplicadas a las longitudes de viaje previamente calculadas para obtener tiempos de viaje (en minutos). Los resultados detallados de la medición de tiempos de viaje y velocidades por servicio se presentan en el Anexo D.1.

5.2.1.2 Tiempos de espera

Tal como se advierte en MTT (2002), los tiempos de espera en taxi colectivo dependen tanto de la frecuencia del conjunto de líneas que conectan el origen de cada viaje con el destino (o conjunto de líneas atractivas o comunes), como del nivel de ocupación de dichos servicios (que tienen capacidad muy restringida). La combinación de ambos factores produce, en la práctica, situaciones muy variables en el equilibrio entre oferta y demanda, desde números importantes de vehículos esperando la llegada de usuarios (exceso de oferta), hasta la generación de grandes colas de usuarios esperando vehículos disponibles (exceso de demanda). Esto imposibilita el empleo de cualquier fórmula de tiempo de espera que únicamente dependa de las frecuencias de los servicios respectivos, como usualmente se hace en el caso de los buses.

Para obtener estimaciones de este atributo para las líneas de interés, fue necesario recurrir a conceptos complementarios provenientes de la teoría de colas. El procedimiento empleado para desarrollar las mediciones consideró la medición de tasas de llegada de usuarios a las colas de espera (a través de conteos cada 5 minutos) y de tasas de salida (mediante los conteos de frecuencia y tasas de ocupación a la salida de cada punto de control). La construcción de ambas curvas (salidas y llegadas) permitió obtener tiempos medios de espera por cada cola, de acuerdo con el procedimiento explicado en detalle en el Anexo C. El histograma de tiempos medios de espera medidos

por línea de taxi colectivo se presenta en la Figura 5-3, con un tiempo medio de espera es de 6,5 minutos y un rango de variación de entre 1,5 y 14,4 minutos.

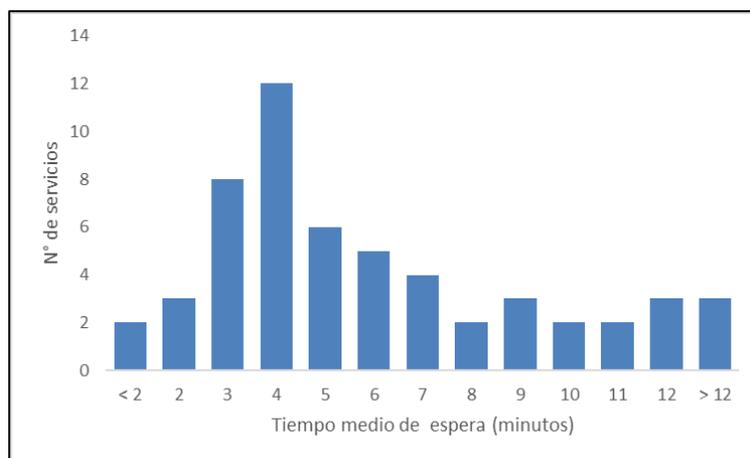


Figura 5-3: Histograma de tiempos de espera por servicios de taxi colectivo

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

5.2.1.3 Tiempos de caminata

La estimación del tiempo de caminata de egreso es directa a partir de la heurística de generación de alternativas de taxi colectivo presentada en la sección 5.1.2, ya que en dicha sección se estimó la distancia de caminata final, d_{jk} para cada usuario y línea. Para obtener los tiempos a partir de esta distancia, se emplearon velocidades de caminata de 0,9 m/s para adultos mayores y 1,1 m/s para el resto de los usuarios, de acuerdo con la recomendación de CONASET (2014).

En virtud del procedimiento de encuesta, el tiempo de acceso desde el origen hacia la parada es irrelevante para la modelación. El único tiempo adicional de caminata es el que deberían emplear los usuarios al desplazarse a un punto de inicio de servicio distinto al de la encuesta. Este tiempo fue codificado como parte de la variable tiempo de caminata, y se estimó de manera análoga al tiempo de caminata de egreso. Además,

como ninguna de las alternativas modeladas de taxi colectivo presentó combinaciones con otros modos, no fue necesario estimar tiempos de transbordo.

5.2.1.4 Tarifas

Una de las características que definen la operación del taxi colectivo es la posibilidad de cobrar tarifas que varían según el par origen-destino del viajero. Las tarifas de taxi colectivo se encuentran reguladas, según se mencionó en la sección 2.1.1, pero en la práctica se observa alguna discrecionalidad en su aplicación al usuario. Por ejemplo, como los puntos que definen los límites entre los distintos tramos de vía pueden no estar claramente definidos, el conductor establece el monto que corresponde cobrar. Esto puede ser perjudicial para los usuarios no frecuentes del sistema, quienes desconocen el recorrido y la forma de operación. El sistema también permite que un viajero acuerde con el conductor el pago de una tarifa inferior a la establecida, o bien para que el recorrido se desvíe hasta la casa del usuario, previo un cobro adicional. Todo ello dificulta la asignación de tarifas a las alternativas de taxi colectivo, especialmente si éstas no fueron elegidas y, por tanto, no se dispone de la declaración del usuario en la encuesta.

Para resolver este problema se realizó un catastro de todas las tarifas y sistemas de cobro de los servicios relevantes, a través de consultas personales a los conductores de vehículos y, ocasionalmente, a los administradores de la línea. Se detectó que, en general, los servicios operan con un sistema tarifario que incluye una tarifa mínima o “local”, un conjunto de tarifas asociadas a algún hito específico dentro del recorrido, y un monto a pagar por el recorrido completo. Varios de los servicios clasificados como “cortos” operan con una sola tarifa.

El mayor inconveniente para determinar las tarifas de todas las alternativas de taxi colectivo se presentó en el caso de los servicios en que se implementa un cobro por tramos. En estos casos se definieron, para cada línea aquellos puntos del recorrido que representaban “cortes”, a partir de los cuales la línea comenzaba a cobrar una tarifa

mayor. Estos “cortes” fueron determinados mediante la información provista por los operadores y permitieron definir, para cada línea, segmentos del recorrido en que se cobrara una misma tarifa. Posteriormente se estableció a cuál de los segmentos pertenecía el punto P_{jk} correspondiente y con ello se determinó la tarifa asociada a dicho par servicio-usuario. Estas tarifas permitieron validar y corregir los montos declarados por los usuarios en la encuesta, que usualmente presentaban algunas diferencias con lo indicado por los operadores de los servicios en el catastro²³.

La información recopilada reveló una fuerte variabilidad en las tarifas cobradas por los servicios de taxi colectivo, como se aprecia en la Figura 5-4. La tarifa por kilómetro oscila entre los \$61 y los \$652, con una media de \$146. La amplia dispersión se asocia a la presencia de algunos servicios “largos” que tienen tarifa única, incluso para usuarios que pudieran realizar viajes cortos a bordo de ellos, y también a servicios “cortos” en que el tramo “local” o “mínimo” abarca buena parte del recorrido.

5.2.2 Niveles de Servicio en transporte público mayor

Para el caso de transporte público mayor (bus y Metro), la generación de información a partir de los dispositivos GPS en los vehículos permite contar con indicadores provenientes directamente de la operación del sistema, que tienen la ventaja de estar en permanente actualización. La estimación de nivel de servicio en buses se efectuó considerando que:

- i) Dados los paraderos de subida y bajada cada etapa, los tiempos de caminata (transbordo y egreso) fueron estimados de manera análoga a lo explicado en la sección 5.2.1.3.
- ii) Los tiempos de espera fueron estimados empleando las frecuencias teóricas de pasada del servicio-sentido por el paradero de interés. En este caso, el

²³ Dadas algunas diferencias muy marcadas entre lo percibido por el encuestado y lo declarado por las líneas, no es claro si todos los usuarios de taxi colectivo están plenamente conscientes de la tarifa que pagarán al subirse al vehículo.

tiempo de espera es igual al intervalo de pasada, lo que supone que las llegadas de los buses siguen un proceso Poisson (De Cea y Fernández, 2001). Este criterio es análogo al que emplean Raveau *et al.* (2017) para estos efectos y no considera eventuales restricciones de capacidad.

- iii) Los tiempos de viaje fueron calculados a partir de los indicadores de velocidad media por servicio-sentido cada 500 m que el DTPM estima y actualiza periódicamente, y que fueron facilitados para calibrar la herramienta de planificación de transporte público STEP-TRANS (Raveau *et al.*, 2017). El uso de estos datos permitió estimar con facilidad el tiempo de viaje entre pares de paraderos, una vez que se definió la posición de estos últimos en el recorrido, en términos de su distancia desde el origen.
- iv) El sistema de transporte público mayor cuenta con tarifa integrada, por lo que asignar la tarifa a las alternativas de buses y Metro es trivial. El valor de la tarifa de buses es \$640, y se considera un monto adicional por transbordar de buses hacia Metro (\$ 100).

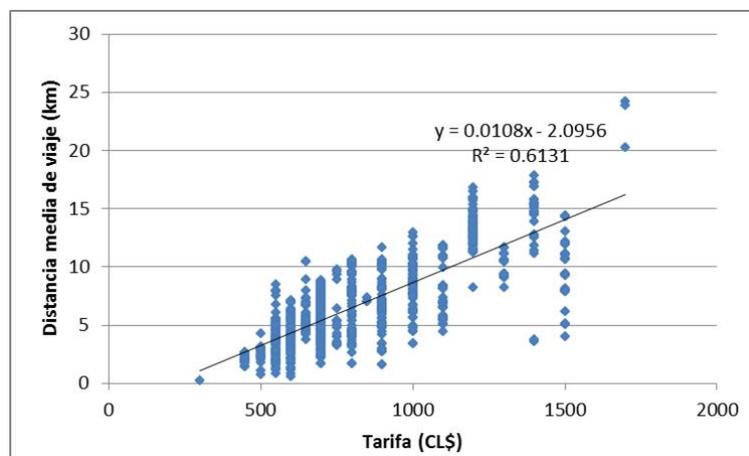


Figura 5-4: Tarifas de servicios de taxi colectivo según distancia de viaje

Fuente: Elaboración propia con datos de catastro

Para la mayor parte de los cálculos de nivel de servicio en Metro se emplearon bases de datos con información operativa²⁴ que la empresa facilitó para calibrar la herramienta STEP-TRANS (Raveau *et al.*, 2017). Algunos aspectos adicionales considerados en el cálculo fueron los siguientes:

- (i) El cálculo de los tiempos de caminata consideró no sólo el desplazamiento en la superficie hacia la localización geográfica de cada estación, sino también los tiempos empleados en desplazarse al interior de la estación y, en caso de que ésta fuera de combinación, el tiempo utilizado para realizar el transbordo. La estimación de tiempos de caminata fue realizada por Metro.
- (ii) El cálculo de tiempos de viaje se hizo utilizando las velocidades comerciales de operación de Metro, así como las distancias (conocidas) entre estaciones. Las velocidades comerciales consideraron la operación expresa (“ruta roja” y “ruta verde”) en las líneas 2, 4 y 5, vigente durante el periodo de modelación (punta tarde).
- (iii) Considerando la regularidad del servicio de Metro, el tiempo de espera fue estimado como la mitad del intervalo de pasada. En este último cálculo también se consideró la operación expresa de Metro.
- (iv) Finalmente, la tarifa vigente en Metro en el horario de modelación (punta) fue de \$ 740.

En la construcción del banco de datos de niveles de servicio para las distintas alternativas, se utilizó la información operativa asociada a la fecha de inicio de la aplicación de la encuesta (diciembre 2016), para que los datos fueran plenamente comparables.

²⁴ Tiempos de viaje entre estaciones, frecuencias de operación, tiempos de caminata al interior de las estaciones y tiempos de caminata de transbordo en estaciones de combinación.

5.2.3 Resumen de niveles de servicio por modo

La Tabla 5-2 entrega el resumen de los atributos de nivel de servicio para la muestra utilizada en la estimación de modelos. Se observa que los tiempos medios de espera de las alternativas de taxi colectivo son menores que los de alternativas que incluyen al bus. En promedio, el taxi colectivo también ofrece menores tiempos de caminata, lo que se debe principalmente a la ausencia de transbordos. Las tarifas de taxi colectivo son, en promedio, más altas que las del transporte público integrado, aunque rutas y tramos puntuales tienen valores más bajos. Las alternativas de Metro presentan menores tiempos medios de viaje y de espera, aunque conllevan un mayor tiempo medio de caminata, lo que es esperable debido a la menor densidad de la red de este modo.

Tabla 5-2: Valores medios, mínimos y máximos por atributo y tipo de alternativa

Variable	Tipo de alternativa			
	Taxi colectivo	Bus	Bus/Metro Metro/Bus	Metro
Tiempo de viaje (min)	18,5 [2,5 – 53,8]	24,7 [1,0 – 91,5]	23,8 [4,7 – 77,2]	8,4 [1,2 – 41,3]
Tiempo de espera (min)	6,1 [1,5 – 14,4]	10,1 [2,7 – 23,3]	12,2 [4,7 – 30,8]	4,5 [2,1 – 11,2]
Tiempo de caminata (min)	7,5 [0,0 – 28,8]	10,0 [0,0 – 28,6]	14,7 [2,6 – 36,9]	16,1 [2,4 – 31,8]
Tarifa (CL\$)	825,8 [450 – 1700]	573,7 [210 – 640]	630,0 [210 – 740]	574,0 [210 – 740]
Transbordos (N°)	0	0,4 [0 – 2]	1,1 [1 – 3]	0,5 [0 – 2]
Promedio alternativas por encuestado	2,2	4,6	2,6	1,9

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta y mediciones

5.3 Expansión y Corrección de la Muestra

Como se ha mencionado previamente, la encuesta utilizó una muestra basada en la elección, en la que, intencionadamente, los usuarios de taxi colectivo de cada zona

tenían una mayor probabilidad de ser seleccionados que los usuarios de transporte público mayor.

Este tipo de muestra requiere utilizar factores de corrección para garantizar que los estimadores de los parámetros sean consistentes. El procedimiento se basa en el trabajo de Manski y Lerman (1977), quienes proponen pesar la contribución de cada observación en la log-verosimilitud de la estimación. Si la alternativa escogida es i , entonces el peso a imponer es $\frac{Q(i)}{H(i)}$, donde $Q(i)$ es la fracción de la población que escoge la alternativa i y $H(i)$ la fracción análoga para la muestra basada en la elección. Con esta corrección se garantiza consistencia y eficiencia de los estimadores.

El procedimiento seguido para corregir la muestra obtenida debió sufrir algunas modificaciones menores, en atención al método de muestreo, la disponibilidad de información y el hecho de que la muestra obtenida tenía la característica especial de que sus alternativas elementales eran rutas (y no modos).

Según esto, se estimó un factor de corrección de la forma $F = F_1 \cdot F_2$, donde F_1 es un factor de corrección “global” por partición modal (análogo al de Manski y Lerman, 1977), y F_2 es un factor de corrección “local”, cuyo propósito es corregir los volúmenes de encuesta por servicio al interior de cada zona y modo de acceso encuestado.

El cálculo del factor de corrección global F_1 requirió estimar la partición modal observada. Para ello se obtuvo el volumen de usuarios que iniciaba alguna etapa de su viaje al interior de cada zona durante el periodo de encuesta (punta tarde). El número de viajeros que inicia alguna etapa en bus y Metro fue obtenido a partir de la matriz de viajes que el DTPM estima a partir de la información de validaciones, siguiendo el método de Munizaga y Palma (2012). De este total, únicamente se consideró a los usuarios de servicios y líneas que compitieran con los servicios de taxi colectivo, según lo definido en el método de muestreo establecido en el capítulo 4.1.3. Por otra parte, la

cantidad de usuarios de taxi colectivo fue medida directamente en terreno, a partir del registro de frecuencias y tasas de ocupación que se describió en el capítulo 5.2.1.2 y cuyos resultados detallados se presentan en el Anexo D.2. La Tabla 5-3 presenta los volúmenes de usuarios de cada modo según zona de encuesta, además de las proporciones de uso y el factor de corrección que se utilizó para cada tipo de observación (taxi colectivo, bus y Metro).

Tabla 5-3: Volumen de viajes (18:00–20:00), partición modal y factor de corrección

Variable	Zona de encuesta	Modo de acceso		
		Taxi Colectivo	Bus	Metro
Volumen de viajes	Bellavista de La Florida	2.540	28.989	32.552
	Lo Ovalle	1.659	25.751	10.082
	Cal y Canto	3.019	62.593	55.281
Partición modal	Bellavista de La Florida	4%	45%	51%
	Lo Ovalle	8%	66%	26%
	Cal y Canto	1%	52%	46%
Factor de corrección F_1	Bellavista de La Florida	0,07	1,56	2,52
	Lo Ovalle	0,13	2,30	2,63
	Cal y Canto	0,02	1,59	5,42

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta y mediciones

El factor de corrección “local” F_2 debe calcularse al interior de cada zona, a fin de corregir las observaciones según la probabilidad de selección de cada observación. Para los usuarios de taxi colectivo, la probabilidad de selección depende del volumen de usuarios de cada agrupación de servicios (definida en la Tabla 4-1), por lo que el factor de corrección local fue estimado como el cociente entre la participación de cada agrupación de servicios en la población (total de usuarios, obtenido nuevamente de las mediciones de frecuencia y tasa de ocupación) y la participación de la agrupación de servicios en la muestra. Para los usuarios de bus, se desarrolló una corrección análoga a la anterior, aunque ahora considerando los volúmenes de validaciones de usuarios según servicio muestreado. Finalmente, no se estimó un factor especial de corrección local para los usuarios de Metro, puesto que todos los usuarios encuestados al interior de cada

estación en rigor escogen el mismo “servicio” o línea, y por tanto su probabilidad de selección es la misma.

El banco de datos utilizado para estimar los modelos de elección discreta contiene el factor de corrección F , que es utilizado en todas las estimaciones. Mediante el procedimiento de corrección empleado, puede garantizarse que la muestra expandida reproduce apropiadamente las características de los viajes en cada zona de encuesta.

6. ESTIMACION Y RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la estimación de modelos de elección a partir de los datos recopilados en la encuesta. En primera instancia se presentan modelos de elección con la especificación y atributos usuales. Posteriormente se analizan los indicadores de percepción, generando variables latentes que son finalmente incorporadas en modelos híbridos de elección discreta.

Los modelos básicos fueron construidos mediante el *software* Biogeme (Bierlaire, 2003), y los resultados de las modelaciones finales fueron verificados con el *software* de modelación discreta Alogit (Daly, 1992). Por su parte, los modelos híbridos fueron estimados con la versión Python de Biogeme (Bierlaire, 2016b).

6.1 Modelos Básicos de Elección Discreta

Estos modelos consideran únicamente las variables objetivas de nivel de servicio, cuya generación se discutió en el capítulo anterior. La modelación de elección de rutas permite considerar los datos de estimación al mayor nivel de desagregación posible, y evaluar todas las alternativas que tiene el usuario en la realidad; no obstante, requiere ciertos ajustes en el planteamiento de las funciones de utilidad para estudiar la partición modal en la muestra, que es el objetivo final de este trabajo.

En una primera instancia se estimaron modelos Logit Multinomial (MNL), con la estructura básica descrita en el capítulo 3.1.1, y los siguientes atributos:

- Tiempo de viaje (*TVIA*)
- Tiempo de espera (*TESP*)
- Tiempo de caminata (*TCAM*)
- Número de transbordos en la ruta (*NTRA*)
- Tasa salarial (*TAR/ING*)

La variable *tiempo de caminata* considera las caminatas de transbordo y egreso, cuando corresponde. Dado el diseño de la encuesta, el tiempo de acceso a la red no forma parte del proceso de elección y, por ende, no fue considerado en la modelación. Por su parte, para modelar la *tarifa*, la mejor especificación consideró como variable la razón entre la tarifa y la tasa salarial (*TS*) del usuario (Train y McFadden, 1978)²⁵. Es importante mencionar que esta especificación supone que el ingreso de los usuarios depende del número de horas trabajadas y que las personas pueden, de hecho, escoger cuántas horas trabajan en la semana. Tal como lo exponen Jara-Díaz y Ortúzar (1989), esta especificación puede no ser adecuada en el contexto de países en vías en desarrollo, en que el ingreso suele ser fijo y se produce un compromiso entre las horas de ocio y el tiempo empleado en viajar. No obstante, por restricciones temporales no se recopiló en la encuesta un volumen de información suficiente como para estimar apropiadamente “tasas de gasto”, variable requerida por este enfoque de modelación.

La parte determinística de la función de utilidad para una alternativa (ruta) i perteneciente al modo N en estos modelos, tiene la siguiente forma:

$$V_{iq} = \alpha_N + \beta_{TV} \cdot TVIA_{iq} + \beta_{TE} \cdot TESP_{iq} + \beta_{TC} \cdot TCAM_{iq} + \beta_{NTRA} \cdot NTRA_{iq} + \beta_{TAR} \cdot \frac{TAR_{iq}}{TS_q} \quad (6.1)$$

En esta expresión, el subíndice q representa a un individuo y, adicionalmente:

- $TVIA_{iq}$, $TESP_{iq}$, $TCAM_{iq}$, $NTRA_{iq}$ y $\frac{TAR_{iq}}{TS_q}$ corresponden respectivamente al tiempo de viaje, espera, caminata, número de transbordos y tarifa / tasa salarial, asociados a la alternativa i percibida por el individuo q ;
- β_{TV} , β_{TE} , β_{TC} , β_{NTRA} y β_{TAR} corresponden a las utilidades marginales del tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de caminata, número de transbordos y tarifa / tasa salarial, respectivamente; y

²⁵ Dado que la pregunta sobre el ingreso (personal) fue respondida por un 74% de los encuestados, la información fue completada a través de imputación para el resto. La imputación se realizó a través de modelos de regresión lineal que utilizaron otras características socioeconómicas como variables explicativas, como se explica en el Anexo G.

- α_N corresponde a una constante modal, que toma el mismo valor para todas las alternativas (rutas) asociadas a un mismo número de acceso. Se utilizó como modo de referencia el Metro, por lo que sólo se estiman constantes modales para el bus y el taxi colectivo.

Los resultados de la estimación de este primer modelo se reportan como *MOD1*.

Esta forma de modelación básica es posiblemente inadecuada dados los datos disponibles; en efecto, es esperable que exista correlación entre las alternativas (rutas) que cuenten con un mismo modo de acceso (bus, taxi colectivo o Metro). Una forma de considerar esta correlación en la modelación es adoptar estructuras jerárquicas. Según esto, se estimó una serie de modelos Logit jerárquico (NL) como los descritos en la sección 3.1.2, probando distintas estructuras de nidos y agrupaciones de alternativas. La estructura jerárquica finalmente modelada se muestra en la Figura 6-1. En ella se consideran dos nidos: uno que agrupa las alternativas que se inician en un paradero de bus, y otro que contiene las alternativas de taxi colectivo. Las alternativas que se inician en una estación de Metro quedaron sin anidar, dado que, al probar diferentes configuraciones, los parámetros del nido no cumplieron con la condición estructural $\phi \leq 1$. Los resultados de este modelo jerárquico simple se reportan como *MOD2*. En este y en los modelos sucesivos (todos estimados con la jerarquía escogida), los parámetros del nido se representan como ϕ_{TXC} y ϕ_{BUS} , respectivamente.

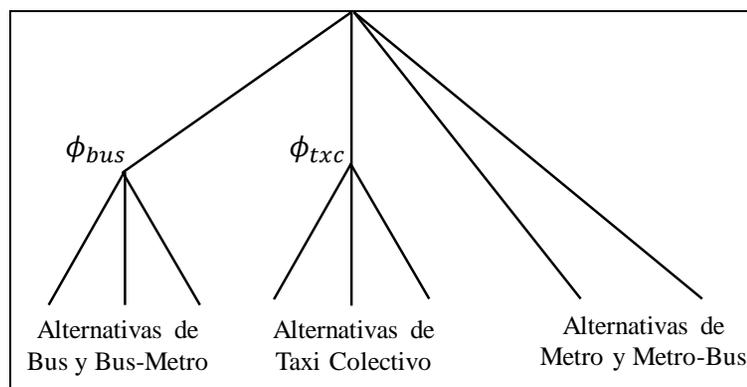


Figura 6-1. Estructura jerárquica de los modelos NL

Una mejora a este esquema de modelación consiste en añadir variaciones en las preferencias de los individuos de manera sistemática, incluyendo parte de la heterogeneidad en los gustos dentro de la componente representativa de la función de utilidad (Orro *et al.*, 2006), a través de la introducción de nuevas variables, construidas a partir de interacciones entre los atributos de nivel de servicio y características socioeconómicas de la muestra (Ortúzar y Willumsen, 2011).

Luego de probar con distintas interacciones entre todos los atributos y las distintas variables socioeconómicas recopiladas en la encuesta, la función de utilidad escogida tuvo la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 V_{iq} = & \alpha_N + \beta_{TV} \cdot TVIA_{iq} + \beta_{TE} \cdot TESP_{iq} + \beta_{TC} \cdot TCAM_{iq} + \beta_{NTRA} \cdot NTRA_{iq} \\
 & + \beta_{TAR} \cdot \frac{TAR_{iq}}{TS_q} + \beta_{TCLEJOS} \cdot TCAM_{iq} \cdot LEJOS_q + \beta_{TCAMSX} \\
 & \cdot TCAM_{iq} \cdot SX_q + \beta_{TESPAMY} \cdot TESP_{iq} \cdot AM_q + \beta_{TESPESTUD} \\
 & \cdot TESP_{iq} \cdot ESTUD_q
 \end{aligned} \tag{6.2}$$

Esta especificación permite estimar coeficientes que diferencian a los adultos mayores ($AM = 1$) del resto de la muestra en su valoración de los tiempos de espera ($\beta_{TESPAMY}$). También se distingue, a través de la variable *LEJOS*, la posibilidad que los usuarios provenientes de una etapa anterior en transporte público valoren el tiempo de caminata de manera distinta a los que encuestados al inicio de su viaje. Adicionalmente, se exploran variaciones sistemáticas en la valoración del tiempo de caminata según sexo ($SX = 1$ para hombres) y en la valoración del tiempo de espera para estudiantes ($ESTUD = 1$). Este modelo fue estimado con la misma estructura jerárquica que el modelo anterior, permitiendo una comparación entre ambos, y sus resultados de este modelo se reportan como *MOD3*.

Como una extensión al esquema de modelación empleado, se analizó la posibilidad que ciertos atributos fueran valorados en forma aleatoria por los usuarios. Para ello se probaron diversas especificaciones Logit Mixto, según lo reseñado en el capítulo 3.1.3,

considerando tanto coeficientes aleatorios para los distintos atributos de nivel de servicio, como distintas estructuras de correlación para la matriz de varianza-covarianza. Entre todos estos modelos, la estructura más adecuada resultó ser una en que los coeficientes del tiempo de espera y de viaje no eran fijos, sino que variaban entre usuarios. En específico, se planteó parámetros de la forma: $\beta_{TE} \sim N(\hat{\beta}_{TE}, \hat{\sigma}_{TE})$ y $\beta_{TV} \sim N(\hat{\beta}_{TV}, \hat{\sigma}_{TV})$, respectivamente, a fin de capturar la variación de gustos respecto de ellos. Adicionalmente, se estimó la correlación entre ambos coeficientes, σ_{TEV} y se incluyó, además, los términos asociados a variaciones sistemáticas de gusto en el tiempo de caminata que habían resultado significativas en la especificación *MOD3* anterior.

La Tabla 6-1 resume los resultados de la estimación de modelos simples de elección discreta. Además de los valores de los parámetros estimados y sus respectivos *test-t*, se presentan algunos indicadores globales de ajuste del modelo, como la log-verosimilitud en el óptimo, $l^*(\theta)$, la log-verosimilitud del modelo nulo, $l(0)$ y del modelo de sólo constantes, $l(k)$. En general, se observa que los parámetros estimados tienen signo correcto y que los correspondientes a variables de nivel de servicio son estadísticamente significativos al 95% de confianza (*test-t* mayor que 1,64). Adicionalmente, los *tests* de razón de verosimilitud (LR) de todos los modelos son estadísticamente superiores a una especificación en que sólo se consideran constantes, tal como se esperaba.

Aunque el modelo *MOD1* permite recoger apropiadamente el efecto de las distintas variables explicativas, e incluso presenta consistencia entre las magnitudes relativas de los coeficientes de los tiempos de espera y caminata respecto al coeficiente del tiempo de viaje²⁶, dada la forma en que fueron construidas las alternativas, el supuesto que no existe correlación entre ellas no es realista. Consistente con lo anterior, el modelo *MOD2* (NL simple) presenta una log-verosimilitud significativamente mayor que el modelo MNL. Los parámetros de nido cumplen con la condición estructural ($\phi < 1$), y son

²⁶ En particular, replican la relación de orden que usualmente se obtiene de este tipo de modelos, en cuanto a que la valoración del tiempo de caminata suele ser superior a la del tiempo de espera y ésta, a su vez, a la valoración del tiempo de viaje a bordo del vehículo.

estadísticamente distintos de uno al 90% de confianza. El modelo *MOD3*, en particular, permite verificar que existen diferencias en las valoraciones de ciertos atributos según la composición de la muestra; en efecto, el tiempo de caminata tiene una valoración mayor para los usuarios que habían sido encuestados realizando un transbordo, respecto a los que iniciaban viaje en el punto de encuesta. Los adultos mayores presentan mayor valoración de los tiempos de espera, lo que también se ajusta a lo esperado.

Tabla 6-1: Resultados de los modelos simples de elección discreta²⁷

Variable	MOD1		MOD2		MOD3		MOD4	
	Coef.	Test-T	Coef.	Test-T	Coef.	Test-T	Coef.	Test-T
<i>Parámetros de nivel de servicio</i>								
α_{TXC}	-4,59	-13,4	-3,39	-7,7	-3,33	-7,6	-5,51	-9,5
α_{BUS}	-3,18	-10,5	-2,36	-7,0	-2,13	-6,5	-3,50	-8,6
$TVIA$	-0,022	-2,3	-0,021	-2,1	-0,021	-2,1	-0,078	-3,2
$TESP$	-0,121	-6,1	-0,100	-5,4	-0,089	-4,7	-0,217	-5,6
$TCAM$	-0,188	-14,3	-0,142	-8,5	-0,154	-7,0	-0,231	-6,9
$NTRA$	-2,65	-9,0	-2,37	-9,5	-2,24	-9,2	-3,27	-8,3
TAR / TS	-0,017	-2,3	-0,014	-2,0	-0,009	-1,3	-0,017	-1,8
<i>Parámetros estructurales</i>								
ϕ_{TXC}	–	–	0,323	1,8*	0,327	1,6*	–	–
ϕ_{BUS}	–	–	0,650	2,6*	0,856	2,9*	–	–
$\hat{\sigma}_{TE}$	–	–	–	–	–	–	0,316	6,6
$\hat{\sigma}_{TV}$	–	–	–	–	–	–	0,076	1,2
σ_{TETV}	–	–	–	–	–	–	0,122	3,3
<i>Variaciones sistemáticas de gusto</i>								
$TCAM \times LEJOS$	–	–	–	–	-0,048	-2,3	-0,134	-4,0
$TCAM \times SX$	–	–	–	–	0,103	5,2	0,158	4,7
$TESP \times AM$	–	–	–	–	-0,114	-1,2	–	–
$TESP \times ESTUD$	–	–	–	–	-0,076	-1,8	–	–
<i>Ajuste del modelo</i>								
$l(0)$	-935,387		-935,387		-935,387		-935,387	
$l(k)$	-918,930		-918,930		-918,930		-918,930	
$l^*(\square)$	-619,542		-611,010		-593,500		-584,789	
$\rho^2(0)$	0,338		0,347		0,366		0,375	
$\rho^2(k)$	0,326		0,335		0,354		0,363	
LR Test (k)	598,8		615,8		650,9		668,3	

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta y mediciones

²⁷ Los tests estadísticos comparan el coeficiente estimado con cero, excepto en aquellos marcados con * en que el valor se compara con uno.

Por otra parte, las mujeres asignan una penalización significativamente mayor que los hombres al tiempo de caminata: en particular, mientras los hombres, en promedio, valoran un minuto adicional de caminata como el equivalente a 2,5 min adicionales de viaje en el vehículo, las mujeres le atribuyen un costo equivalente a 7,3 min de viaje. Finalmente, se observa que la valoración del tiempo de espera por parte de los estudiantes es prácticamente el doble que la del resto de los usuarios de la muestra y se convierte en el tiempo que reporta un mayor “perjuicio” a este tipo de usuarios.

Tal como fueron planteados, los modelos *MOD1* y *MOD2* son versiones restringidas del modelo más general, por lo que es posible realizar comparaciones entre los tres modelos utilizando el *test* de la razón de verosimilitud (LR), como se muestra en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Resultados de *test* de razón de verosimilitud para modelos simples

Modelo general		Modelo restringido		Nº Grados de Libertad	Test Razón Verosimilitud	Valor χ^2 Crítico
Nombre	l^* (\square)	Nombre	l^* (\square)			
<i>MOD3</i>	-593,500	<i>MOD2</i>	-611,010	4	35,02	9,49
<i>MOD3</i>	-593,500	<i>MOD1</i>	-619,542	6	52,08	12,59
<i>MOD2</i>	-611,010	<i>MOD1</i>	-619,542	2	17,06	5,99

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta y mediciones

El *test* LR permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de modelos y, por tanto, debe preferirse el que tiene mayor log-verosimilitud. Así, el modelo simple que mejor se adapta a los datos es el modelo jerárquico que incluye variaciones sistemáticas de gusto, *MOD3*.

Los resultados del modelo *MOD4* muestran que, como el coeficiente asociado a la desviación estándar del coeficiente del tiempo de espera es estadísticamente significativo al 95% de confianza, el tiempo de espera efectivamente parece ser más relevante para algunos usuarios. De hecho, los valores estimados muestran una distribución altamente dispersa para este coeficiente, que origina un coeficiente de variación de 145%. Según esto, existiría una probabilidad de 24% que el parámetro sea

incluso positivo para algunos usuarios²⁸; esto estaría en línea, en principio, con el hecho que el tiempo de espera sea percibido de manera distinta según el modo que se va a escoger con posterioridad. Similarmente, aunque la estimación de la desviación estándar del parámetro del tiempo de viaje no es significativa al 95% de confianza, genera un coeficiente de variación de 97%, y una probabilidad del 15% de obtener un parámetro positivo²⁹. Adicionalmente, la correlación entre ambos parámetros es positiva y significativa, lo que implica que una mayor valoración del tiempo de espera está asociada, en general, con una mayor valoración del tiempo de viaje, de acuerdo con lo que podría esperarse. Finalmente, es interesante notar que en este caso no se conformó una estructura jerárquica para los modelos, puesto que los parámetros estructurales de nido no resultaron estadísticamente distintos de uno.

El modelo *MOD4* no puede expresarse como versión restringida de alguno de los otros tres modelos revisados. A modo de comparación, se estimó un modelo MNL comparable, que incluyera las variaciones sistemáticas de gusto pero no los coeficientes aleatorios. El *test* LR (35,45) es mayor que el valor crítico correspondiente a tres grados de libertad al 95% de confianza (poner valor), por lo que puede rechazarse la hipótesis nula de igualdad de modelos y debería preferirse el modelo ML para explicar las preferencias.

Los resultados de estos modelos simples parecen sugerir que las principales motivaciones de los usuarios para escoger taxi colectivo tienen que ver con las ventajas operativas que entrega: en efecto, las dos variables más significativas en todos los casos son el número de transbordos y el tiempo total de caminata, dos atributos que se ven bastante reducidos al usar este modo. Así, los usuarios valoran al taxi colectivo como un

²⁸ Según Sillano y Ortúzar (2004), ... “la proporción de la población a la que el modelo asigna un parámetro de signo incorrecto puede estimarse como la función densidad acumulada de la distribución de frecuencia del parámetro en la población evaluada en cero (o bien, para parámetros que se suponen negativos, el área bajo la curva de frecuencia entre cero y más infinito).”

²⁹ Aunque se probó una serie de especificaciones que incluyeran coeficientes específicos por modo para estos parámetros, los resultados obtenidos no fueron consistentes y, por tanto, no son reportados.

modo altamente conveniente y que entrega cierto estándar de comodidad muy relevante para ellos.

6.2 Identificación y Análisis de Variables Latentes

La construcción de variables latentes requiere, en primer término, un análisis de los indicadores de percepción y, posteriormente, de su consistencia y estructura de correlación a través del análisis factorial.

6.2.1 Análisis del cuestionario de indicadores de percepción

La Tabla 6-3 muestra la distribución de respuestas a cada una de las preguntas del cuestionario de indicadores de percepción, además del promedio general (calculado al tratar la escala Likert como continua), para los 301 usuarios que respondieron el cuestionario. Este grupo señaló haber utilizado taxi colectivo al menos una vez durante el último año y representa el 65% del total de los encuestados.

Tabla 6-3: Evaluaciones medias en los indicadores de percepción

Id	Indicador	% de la muestra que evalúa con cada nota					Promedio general
		Muy en Desacuerdo	En Desacuerdo	Indiferente	De Acuerdo	Muy de Acuerdo	
y_a	Demorarme menos	0	2	3	42	36	4,20
y_b	Saber cuánto demoraré	6	5	14	35	16	3,60
y_c	Hacer menos transbordos	0	2	6	39	37	4,18
y_d	Esperar menos	1	7	17	31	19	3,65
y_e	Saber cuánto esperaré	4	10	30	19	9	3,20
y_f	Ir sentado	0	2	5	31	52	4,32
y_g	Llevar bultos	4	6	19	30	17	3,54
y_h	Me deja donde me conviene	0	1	3	33	53	4,38
y_i	Menos accidentes	3	10	29	18	14	3,29
y_j	Menos delitos	1	7	21	28	19	3,60
y_k	Hacer reclamos o sugerencias	2	3	7	47	16	3,90
y_l	Recibir asistencia a problemas	5	3	14	42	9	3,61

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

Se observa que los ítems con mejor evaluación media se asocian a la comodidad y flexibilidad que otorga el servicio: conveniencia en el destino (4,38), posibilidad de viajar sentado (4,32), menor tiempo de viaje (4,20) y menos transbordos (4,18). En estas preguntas, la proporción de usuarios que estuvo “de acuerdo” o “muy de acuerdo” con la afirmación, superó el 75%.

Por otra parte, los puntos con peor evaluación tienen que ver con la confiabilidad del tiempo de espera (3,20) y de viaje (3,60), así como la percepción de seguridad ante accidentes (3,29). En estos indicadores el porcentaje de usuarios “de acuerdo” o “muy de acuerdo” con la afirmación de la pregunta no superó el 45%.

No se observan diferencias significativas que puedan ser atribuibles al área de encuesta ni al modo escogido, aunque el bajo número de cuestionarios respondidos por usuarios de Metro no permite establecer conclusiones estadísticamente concluyentes.

6.2.2 Análisis factorial exploratorio

Aunque las preguntas del cuestionario de indicadores de percepción fueron construidas a partir de ciertas dimensiones emanadas del grupo focal, su utilización para construir variables latentes requiere un análisis que permita verificar la estructura de correlaciones entre los ítems y la eventual presencia de constructos de menor dimensionalidad (o “factores”) que los expliquen.

El estudio preliminar de los indicadores de percepción puede realizarse mediante la técnica conocida como *análisis factorial exploratorio* (AFE), cuyos fundamentos básicos se explican en el Anexo D. En términos generales, se busca describir la correlación entre los indicadores en términos de su asociación con un conjunto de constructos de menor dimensionalidad llamados *factores* (Basilevsky, 1994). Dado un

conjunto de P indicadores de percepción³⁰ y_p , con medias μ_p , ($p = 1, \dots, P$), se postula que sus valores estarán influidos por L factores latentes no observados (*factores comunes* o *variables latentes*), η_l , ($l = 1, \dots, L$), y un término de error ε_p , de forma tal que la ecuación del p -ésimo indicador de percepción tiene la siguiente forma:

$$y_p - \mu_p = \sum_{m=1}^M \gamma_{lp} \cdot \eta_l + \varepsilon_p \quad (6.3)$$

Un primer paso para desarrollar el análisis factorial consistió en verificar las hipótesis estadísticas sobre la posibilidad que la técnica se justificara dada la naturaleza de los datos disponibles. Se obtuvo un valor de 0,6 para la prueba de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin³¹ (Kaiser, 1974), que es un valor aceptable para desarrollar análisis factorial. Por otra parte, el estadístico χ^2 aproximado en la prueba de esfericidad de Bartlett³² resultó igual a 172,76 ($p \leq 0,0001$), lo que indica que hay un excelente ajuste de los datos a un posible análisis factorial.

Para realizar el AFE se utilizó el paquete estadístico Psych, en ambiente R (Revelle, 2010). Para determinar el número apropiado de factores para el análisis, usualmente se adopta el criterio de retener solo aquellas dimensiones para las cuales el valor propio es mayor que la unidad. No obstante, Raiche *et al.* (2006) argumentan que este método sólo es apropiado cuando la razón entre tamaño muestral y número de indicadores se aproxima a infinito, que no es el caso del experimento en estudio. Para muestras de menor tamaño se proponen métodos alternativos como el análisis paralelo (que corrige el criterio de valor propio mayor que uno para el caso no asintótico) y el de coordenadas

³⁰ En lo referente al análisis factorial, la notación está adaptada de Johansen (2013) y las deducciones se apoyan en Basilewsky (1994) tanto aquí como en el Anexo E, en que se exploran con mayor detalle estos contenidos. Los subíndices individuales q se omiten por simplicidad.

³¹ La prueba de adecuación muestral KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) compara las correlaciones simples entre las variables involucradas con las correlaciones parciales (eliminando los efectos de terceras variables). Si estas últimas son pequeñas, el *test* se acercará a uno, indicando la factibilidad del análisis factorial.

³² El *test* de esfericidad de Bartlett contrasta la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones observada es una matriz identidad, en cuyo caso no habría correlaciones entre las variables. El rechazar la hipótesis nula implica aceptar que el análisis factorial puede entregar una buena explicación de los datos (véase Basilewsky, 1994 para más detalles).

óptimas (método gráfico en que se determina el punto en que la pendiente de la curva de varianza explicada *versus* número de factores sufre un cambio significativo), los que son explicados detalladamente en Raiche *et al.* (2006).

La utilización conjunta de estos criterios llevó a retener tres factores que en conjunto explican un 40,7% de la varianza de la muestra. El resumen del análisis factorial exploratorio se presenta en la Tabla 6-4. Las cargas de los indicadores en cada factor han sido rotadas con el método de rotación ortogonal varimax (Kaiser, 1958; citado por Basilewsky, 1994), para facilitar su interpretación. Con idéntico propósito, sólo se muestran aquellas cargas con valor absoluto superior a 0,3.

Tabla 6-4: Resultados del análisis factorial exploratorio

Id	Indicador	Factor 1	Factor 2	Factor 3
y_h	Conveniencia del destino	0,691		
y_c	Hacer menos transbordos	0,658		
y_a	Demorarme menos	0,531		
y_f	Viajar sentado	0,446		
y_d	Menor tiempo de espera			0,541
y_e	Confiabilidad tiempo espera			0,583
y_b	Confiabilidad tiempo viaje			0,454
y_i	Seguridad ante accidentes		0,440	
y_j	Seguridad ante delitos		0,991	
	Valor propio del factor	1,510	1,222	0,927
	Proporción de la varianza explicada (%)	16,8	13,6	10,3
	Proporción de la varianza explicada acumulada (%)	16,8	30,4	40,7

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

De forma consistente con las evaluaciones medias y conforme con lo esperado a partir del diseño del cuestionario, los indicadores asociados a las características distintivas del modo respecto al nivel de *confort* en el viaje (como menores tiempos, posibilidad de viajar sentado, transbordar menos y conveniencia del destino), presentan una alta correlación con el primer factor, que podría denominarse *Conveniencia*. Similarmente, los dos indicadores asociados a seguridad (con respecto a accidentes y a eventos de

delincuencia), cargaron fuertemente un segundo factor, que se denomina *Seguridad*. Finalmente, los indicadores asociados a la confiabilidad del tiempo de viaje y espera, se agruparon en un tercer factor denominado *Confiabilidad*.

Se debe notar que tres de los indicadores del cuestionario no parecen tener una carga significativa en ninguno de los factores extraídos: la posibilidad de transportar bultos, la asistencia del conductor y la posibilidad de reclamar o hacer sugerencias. La interpretación de este hecho es que la estructura modelada no encuentra una correlación entre esos ítems y los factores postulados para explicar el fenómeno. En efecto, la correlación de estos indicadores con las demás preguntas del cuestionario es relativamente baja. Aparentemente estas variables se encontrarían en un nivel secundario en cuanto a importancia para los usuarios del modo, o no están conscientes de ellas, por lo que no parecen ser demasiado relevantes en su evaluación.

6.2.3 Análisis factorial confirmatorio

La estructura factorial sugerida por el análisis exploratorio fue probada a través de una serie de especificaciones de análisis factorial confirmatorio (AFC)³³, bajo la hipótesis de la existencia de una estructura de tres dimensiones que explicaba la variabilidad detectada en el cuestionario de indicadores de percepción.

La comparación entre los distintos modelos estimados se realizó mediante dos de los principales *tests* de ajuste disponibles: la prueba de la raíz del error cuadrático medio de aproximación (RMSEA, por sus siglas en inglés; ver Loehlin, 2004 para más detalles)³⁴

³³ Ver Anexo D para algunos fundamentos de esta técnica estadística.

³⁴ La prueba de la raíz del error cuadrático medio de aproximación (RMSEA, por sus siglas en inglés) analiza la discrepancia entre el modelo hipotético con los parámetros óptimos, y la matriz de covarianza de la población. El índice tiene un rango entre 0 y 1, con valores más pequeños indicando un mejor nivel de ajuste. El criterio usual es aceptar un valor de 0,06 o menor como indicador de un modelo con un ajuste aceptable (Hooper *et al.* 2008).

y el criterio de información de Akaike (AIC, Akaike, 1973)³⁵. Los modelos fueron estimados mediante el paquete de ecuaciones estructurales SEM (Fox, 2009), disponible en R.

El modelo con mejores niveles de ajuste de acuerdo con los criterios definidos se reporta en la Tabla 6-5, y su interpretación es relativamente consistente con las conclusiones emanadas del AFE. Se observan tres variables latentes relativamente nítidas, que ahora se señalan con el nombre identificado en la sección anterior y que tienen bajos niveles de correlación entre sí. Esto puede observarse en las flechas del extremo derecho de la Figura 6-2, que presenta los elementos de la matriz de covarianza entre las variables³⁶.

El modelo estimado se ilustra esquemáticamente en la Figura 6-2, en que los rectángulos representan a los indicadores de percepción, y las flechas contienen el grado de correlación entre estos y las respectivas variables latentes. Es importante notar que todas las correlaciones son estadísticamente significativas³⁷. En general se observan relaciones similares a las que se detectaron en el AFE, con la excepción del indicador del tiempo de espera (“espero menos cuando viajo en taxi colectivo”), que en el mejor modelo aparece con una correlación fuerte con la variable latente *Confiabilidad*, pero también correlaciona, aunque débilmente, con el indicador de *Conveniencia*. Ambas relaciones son intuitivas, considerando que el tiempo de espera es una variable altamente relevante para que el modo sea percibido como confiable, pero también es un atributo de nivel de servicio que define la experiencia del viaje como tal, por lo que es comprensible que relacione con la variable de *Conveniencia*. De hecho, los atributos más relevantes en esta variable son características que diferencian al taxi colectivo de los modos con los

³⁵ El criterio de información de Akaike (AIC) es una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico para un conjunto de datos. No tiene significado por sí solo, pero se utiliza como mecanismo de comparación entre distintos modelos estimados con los mismos datos. De acuerdo con su definición, siempre debe escogerse el modelo con el mayor valor de AIC.

³⁶ Para la estimación del modelo es necesario normalizar algunos parámetros, como se explica en el Anexo D. En este caso, las varianzas de las tres variables latentes fueron normalizadas en 1.

³⁷ La prueba Z debe ser mayor o igual que 1,96 para un 95% de confianza, lo que se cumple en todos los casos.

que compite: la conveniencia del destino (“me deja donde me conviene”), que tiene una correlación de 0,539 con la variable latente se asocia a la posibilidad de desviar el recorrido para dejar al usuario más cerca del lugar al que se dirige.

Tabla 6-5: Resultados del análisis factorial confirmatorio

Id	Indicador	Factor 1 Conveniencia		Factor 2 Confiabilidad		Factor 3 Seguridad		Varianzas	
		Valor	Test-Z	Valor	Test-Z	Valor	Test-Z	Valor	Test-Z
y_h	Conveniencia del destino	0,539	10,2					0,140	2,9
y_c	Hacer menos transbordos	0,386	8,0					0,314	8,9
y_f	Viajar sentado	0,325	6,6					0,431	10,8
y_d	Menor tiempo de espera	0,180	3,0	0,326	4,0			0,698	9,9
y_e	Confiabilidad tiempo espera			0,866	5,2			0,121	0,4
y_b	Confiabilidad tiempo viaje			0,350	4,0			0,912	10,4
y_j	Seguridad ante delitos					0,863	4,3	0,104	0,3
y_i	Seguridad ante accidentes					0,446	3,9	0,722	6,7

<i>Covarianzas entre factores</i>	Valor	Test-Z
Conveniencia – Confiabilidad	0,084	1,1
Conveniencia – Seguridad	0,244	2,8
Confiabilidad – Seguridad	0,140	1,8

Índices de ajuste

Índice de ajuste global	0,976
Índice de ajuste global ajustado	0,947
Índice RMSEA	0,052
AIC	69,276
BIC	-62,038

Intervalo de confianza 90%: [0,020; 0,082]

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

Por su parte, el “hacer menos transbordos” (correlación de 0,386) también recoge la evaluación positiva dada por los usuarios a contar con un recorrido directo y no tener que cambiar de vehículo durante su viaje; éste es uno de los aspectos peor evaluados en los modos bus y Metro. Asimismo, el taxi colectivo es el único modo de transporte público evaluado que asegura a los usuarios que, si logran subir al vehículo, viajarán sentados. Este atributo tiene una correlación de 0,325 con la variable *Conveniencia*.

La variable *Confiabilidad* correlaciona positiva y significativamente, de acuerdo con lo esperado, con los indicadores asociados a la confiabilidad de los tiempos de espera

(0,886) y de viaje (0,350), aunque la relación es mucho más fuerte en el primer caso. Este hecho, en conjunto con la correlación que tiene el indicador asociados a una menor espera en este factor (0,326), permite deducir que el elemento de mayor relevancia en la confiabilidad del taxi colectivo como alternativa del transporte público, es el tiempo de espera y su regularidad y que, por tanto, es una variable a tener en consideración para el mejoramiento de la experiencia de viaje en el modo. Finalmente, la variable latente *Seguridad* está fuertemente influida por los indicadores asociados a seguridad ante accidentes (0,446) y sobre todo ante delitos (0,863).

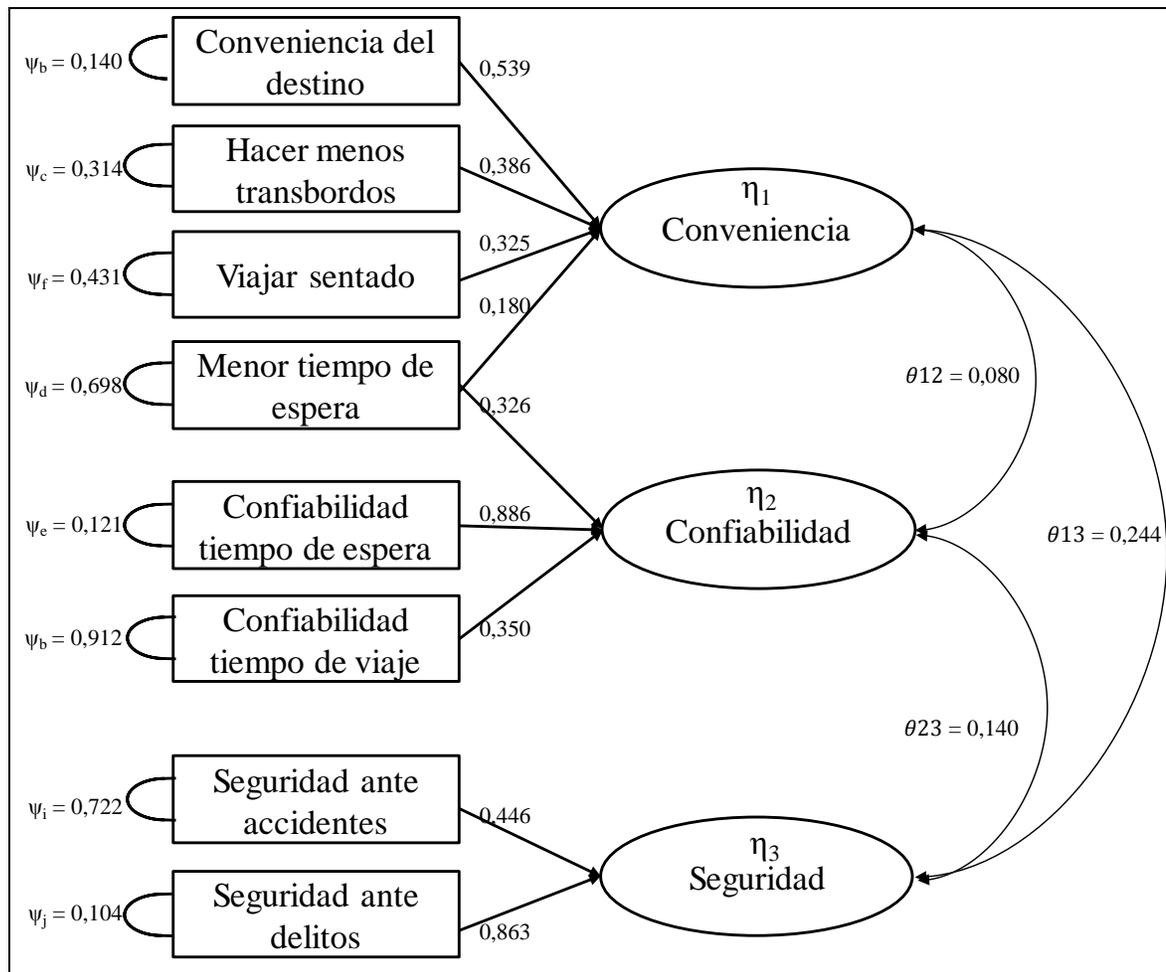


Figura 6-2: Resumen del modelo de análisis factorial confirmatorio

Las flechas circulares localizadas al costado de cada indicador de percepción simbolizan las varianzas residuales de las variables; esto es, el porcentaje de varianza que no ha sido explicada por el modelo planteado. Todas estas varianzas están entre 0 y 1, lo que da cuenta de la adecuada especificación del modelo, más allá de que en ciertas variables específicas no logre dar apropiada cuenta de la variabilidad total del indicador en la muestra. De hecho, los indicadores de ajuste global del modelo son, en general, satisfactorios. Como se mencionó previamente, el indicador RMSEA (igual a 0,052 en la especificación escogida) se considera apropiado cuando su valor es menor que 0,06 y cuando el límite superior del intervalo de confianza al 90% es menor que 0,1 (vale 0,082 en el modelo estimado). El indicador de ajuste global ajustado por grados de libertad es de 0,947, mayor que el mínimo aceptable de 0,9.

Finalmente, es importante mencionar que las variables latentes encontradas tienden a coincidir con las dimensiones que usualmente aparecen asociadas a encuestas de satisfacción con este tipo de modos (ver, por ejemplo, Joewono y Kubota, 2007, en el contexto del *paratransit* en Indonesia).

6.3 Modelos Híbridos de Elección Discreta

Las variables latentes obtenidas a partir de los indicadores de percepción son analizadas a continuación para su incorporación en modelos de elección discreta, utilizando el enfoque de modelación que se discutió en el capítulo 3.2.

6.3.1 Criterios generales de modelación

Considerando que el AFC mostró la existencia de una estructura de tres variables latentes que logra explicar apropiadamente al cuestionario de indicadores de percepción, todas las especificaciones propuestas las incluyen en el análisis. Siguiendo la recomendación de Bahamonde-Birke *et al.* (2017), se probaron distintos mecanismos de

incorporación de las variables latentes en el modelo de elección, entre los que se cuentan:

- i) Incorporación de la variable latente a la función de utilidad de las alternativas de taxi colectivo a través de un término aditivo.
- ii) Categorización de la variable latente, mediante la definición de una variable *dummy* δ , que vale uno cuando la variable sobrepasa un cierto valor predefinido ψ_{CONVEN} . Este método requiere un estudio de los valores promedio que el modelo MIMIC otorga a la variable para definir apropiadamente este valor de referencia³⁸. Esta forma de modelación permite incorporar un posible efecto no lineal en la variable latente. En efecto, como se señala en Bahamonde-Birke *et al.* (2017), no necesariamente es esperable que la variable tenga un efecto lineal en la utilidad, y en ciertas ocasiones sería esperable que únicamente una alta valoración tenga un efecto perceptible en la elección. Para este tipo de modelos se probó diferentes valores de referencia, activando la variable δ , por ejemplo, cuando el individuo pertenecía al 33%, 50% ó 67% de la muestra que tiene un mayor valor de la variable latente en estudio.
- iii) Inclusión de interacciones entre la variable latente y alguna variable de nivel de servicio, en forma similar a como fueron incorporadas en la modelación las variaciones sistemáticas de gusto, interactuando con diversos atributos del modelo. En este escenario se prueban distintas interacciones, añadiendo al modelo definitivo aquellas que resulten estadísticamente significativas y económicamente consistentes.

Por otra parte, es importante mencionar que se trabajó definiendo la escala de Likert de manera ordinal en lugar de continua, como se propone en las ecuaciones (3.24) a la (3.26). En estricto rigor, dado que la escala tiene 5 puntos, correspondería estimar cuatro parámetros (dejando uno de los niveles de la escala como referencia). Para garantizar

³⁸ La definición de un valor de referencia apropiado podría requerir el uso de una estructura más compleja de modelación, por ejemplo, a través de modelos de variable latente y clase latente, como se recomienda en Bahamonde-Birke *et al.* (2017). Este enfoque queda fuera del alcance de esta investigación, y se sugiere como una posible extensión de la misma.

una estimación simétrica del modelo Probit ordinal, utilizando la recomendación de Bierlaire (2016a), se definen dos parámetros a estimar por cada indicador p del cuestionario de percepción, δ_{1p} y δ_{2p} los que se relacionan con los parámetros del modelo ordinal original de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \tau_{1p} &= -\delta_{1p} - \delta_{2p} \\
 \tau_{2p} &= -\delta_{2p} \\
 \tau_{3p} &= \delta_{2p} \\
 \tau_{4p} &= \delta_{1p} + \delta_{2p}
 \end{aligned}
 \tag{6.4}$$

Así, asumiendo una distribución normal de los errores en la escala, la probabilidad de que una respuesta determinada sea igual al valor específico de un indicador estaría dada por la ecuación (3.27), y los resultados de la estimación de δ_{1p} y δ_{2p} se entregan en todos los resultados de modelos híbridos.

Siguiendo la recomendación de Daly *et al.* (2012), y considerando que los indicadores se están modelando a través de intervalos definidos arbitrariamente en una escala indefinida, se requiere fijar la escala del modelo, lo que en este caso se logró normalizando las varianzas de los modelos de medición en uno. Una vez definida esta escala, los modelos fueron normalizados fijando en uno el coeficiente asociado a la varianza de cada ecuación estructural, de acuerdo con la recomendación de Raveau *et al.* (2010).

Por otra parte, es importante recordar que la log-verosimilitud de un modelo híbrido corresponde a la integral del producto de la probabilidad del modelo de elección por las probabilidades de cada indicador utilizado para la estimación (ecuación 3.25); por tanto, ésta no es directamente comparable con la log-verosimilitud de un modelo de elección simple en que no se haya incorporado variables latentes. Para efectuar comparaciones válidas, las tablas presentan la componente de la log-verosimilitud que correspondería a un modelo de elección con los parámetros fijos en los valores resultantes del modelo de

elección. De manera adicional, se presenta también la log-verosimilitud y un indicador de ajuste para el modelo completo.

6.3.2 Estructura general de los modelos híbridos

Luego del análisis de diversas estructuras de modelación y formas de incorporar las variables latentes a la función de utilidad del taxi colectivo, se reportan los resultados de dos modelos híbridos de elección: *HIBR5* e *HIBR6*. En una primera serie de estimaciones, se intentó incorporar las variables latentes como términos aditivos, como en el punto (i) del capítulo 6.3.3; no obstante, este procedimiento no entregó resultados significativos para ninguno de los tres coeficientes estimados.

Tomando en cuenta estos resultados, se probó una gran variedad de posibles interacciones de la variable latente *Conveniencia* con variables de niveles de servicio, como se describe en el punto (ii) del capítulo 6.3.3. El mejor ajuste se obtuvo considerando su interacción con el tiempo de caminata. De este modo, se añadió a las funciones de utilidad de taxi colectivo el término $\beta_{TCCONV} \cdot TCCONV_{iq}$, donde $TCCONV_{iq} = TC_{iq} \cdot CONVEN_q$. El signo esperado de esta variable sería negativo, puesto que se supone que quienes asignan un mayor valor a la *Conveniencia* de viajar en taxi colectivo (en términos de hacer menos transbordos y llegar a un destino más cercano al final del viaje), deberían tener menor disposición a caminar. El modelo *HIBR5*, entonces, incorpora las variables *Confiabilidad* y *Seguridad* como términos aditivos, y la variable *Conveniencia* en su interacción con el tiempo de caminata, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 V_{iq} = & \alpha_N + \beta_{TV} \cdot TVIA_{iq} + \beta_{TE} \cdot TESP_{iq} + \beta_{TC} \cdot TCAM_{iq} + \beta_{NTRA} \cdot NTRA_{iq} \\
 & + \beta_{TAR} \cdot \frac{TAR_{iq}}{TS_q} + \beta_{TCLEJOS} \cdot TCAM_{iq} \cdot LEJOS_q + \beta_{TCAMSX} \\
 & \cdot TCAM_{iq} \cdot SX_q + \beta_{TESPAMY} \cdot TESP_{iq} \cdot AM_q + \beta_{TESPESTUD} \\
 & \cdot TESP_{iq} \cdot ESTUD_q + \beta_{TCCONV} \cdot TCAM_{iq} \cdot CONVEN_q + \beta_{CONFIAB} \\
 & \cdot CONFIAB_q + \beta_{SEGUR} \cdot SEGUR_q
 \end{aligned} \tag{6.6}$$

Por su parte, el modelo *HIBR6* considera únicamente la variable *Seguridad* como término aditivo en la función de utilidad. En este modelo, la variable *Confiabilidad* se incorpora mediante una interacción con el tiempo de espera, de modo que se añadió a la función de utilidad del taxi colectivo el término $\beta_{TESPCONF} \cdot TESP_{iq}$, donde $TESPCONF_{iq} = TESP_{iq} \cdot CONFIAB_q$. El signo esperado de esta interacción sería positivo, puesto que quienes perciben al taxi colectivo como un modo confiable, en términos de la posibilidad de predecir sus tiempos de espera y de viaje, deberían tener una menor valoración del tiempo de espera que quienes no tienen esta percepción. La variable *Conveniencia* se modela igual que en el modelo *HIBR5*. Así, La función de utilidad para las alternativas de taxi colectivo el modelo *HIBR6* tiene la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 V_{iq} = & \alpha_N + \beta_{TV} \cdot TVIA_{iq} + \beta_{TE} \cdot TESP_{iq} + \beta_{TC} \cdot TCAM_{iq} + \beta_{NTRA} \cdot NTRA_{iq} \\
 & + \beta_{TAR} \cdot \frac{TAR_{iq}}{TS_q} + \beta_{TCLEJOS} \cdot TCAM_{iq} \cdot LEJOS_q + \beta_{TCAMSX} \\
 & \cdot TCAM_{iq} \cdot SX_q + \beta_{TESPAMY} \cdot TESP_{iq} \cdot AM_q + \beta_{TESPESTUD} \\
 & \cdot TESP_{iq} \cdot ESTUD_q + \beta_{TCCONV} \cdot TCAM_{iq} \cdot CONVEN_q \\
 & + \beta_{TESPCONF} \cdot TESP_{iq} \cdot CONFIAB_q + \beta_{SEGUR} \cdot SEGUR_q
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

Es importante observar que las variaciones sistemáticas de gusto que resultaron significativas en el análisis previo (*MOD3*), también fueron incorporadas a la especificación. Asimismo, se probó un conjunto de modelos que incorporaban correlación entre alternativas a través de estructuras jerárquicas, pero en ninguno de ellos se verificó el cumplimiento de las condiciones estructurales de los parámetros de nido (en particular, en ninguno de los nidos $\phi < 1$), por lo que finalmente fueron descartados.

6.3.3 Resultados de los modelos híbridos

Las siguientes tablas presentan separadamente los resultados de los modelo de medición (Tabla 6-6), estructural (Tabla 6-7) y de elección (Tabla 6-8). Esta separación se realiza

únicamente por motivos de diagramación, puesto que los modelos fueron estimados utilizando el método simultáneo, construyendo una función de verosimilitud única que incorpora el modelo de elección y el modelo MIMIC en conjunto. La Figura 6-3 permite observar la estructura MIMIC de los modelos híbridos de elección discreta, incluyendo tanto las variables socioeconómicas como los indicadores de percepción asociados a las tres variables latentes construidas.

Los resultados de las ecuaciones de medición muestran que todos los coeficientes son positivos y significativos, de acuerdo con lo esperado. Nuevamente se observa una mayor correlación con los indicadores de percepción asociados a la conveniencia del destino y la menor cantidad de transbordos. Por su parte, los parámetros δ , asociados a la escala ordinal del modelo, también resultan positivos y significativos.

Se observa que la edad del usuario tiene un efecto cuadrático en la definición de la ecuación estructural de la variable *Conveniencia*, de modo que ésta es máxima para una edad relativamente “joven” de los usuarios (aproximadamente 51 años). Esto implica que la percepción positiva de la conveniencia del modo tiende ser creciente para viajeros jóvenes, y decreciente para adultos y adultos mayores. En el caso de la variable *Seguridad*, se observa una incidencia similar de la variable edad, aunque en este caso el máximo se alcanza cerca de los 48 años.

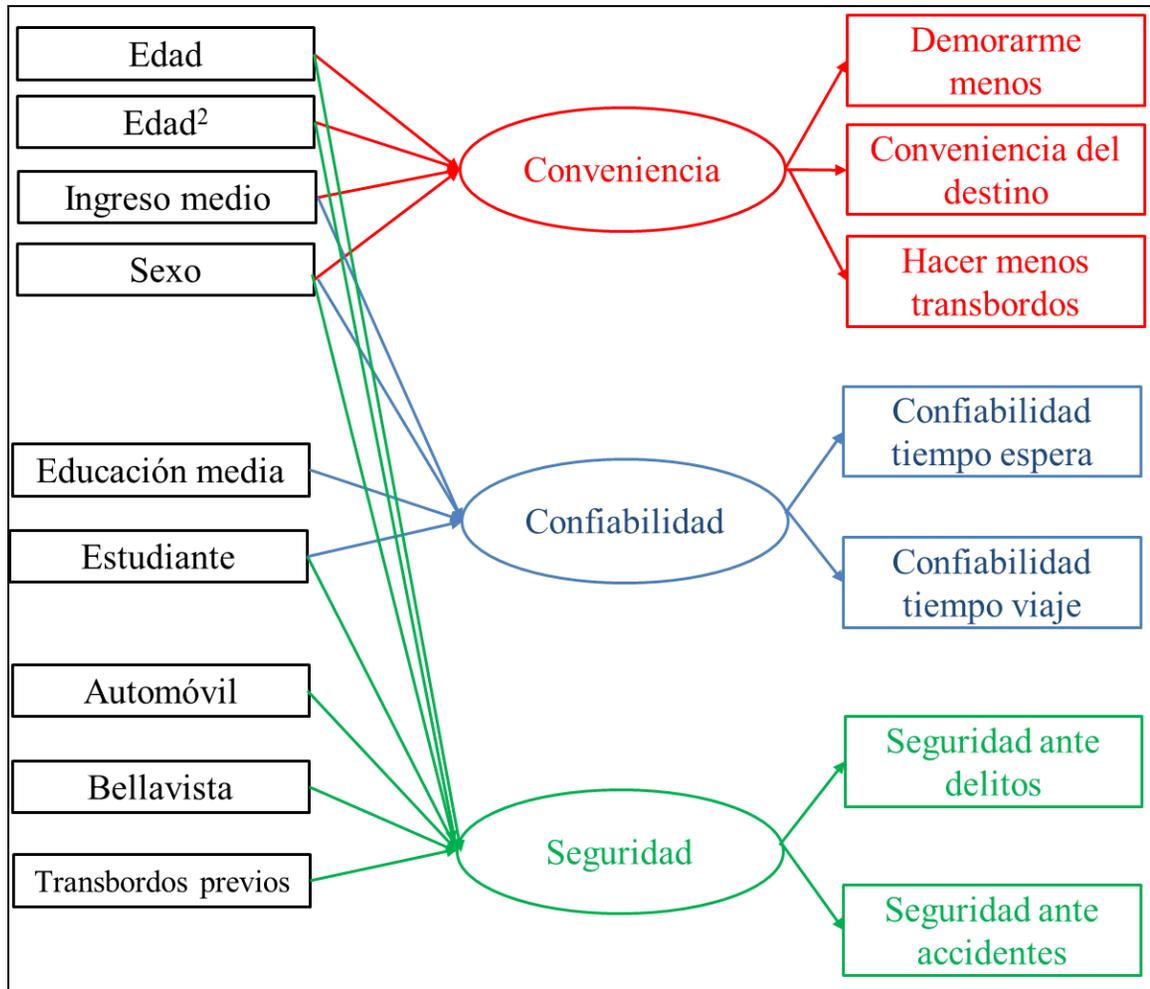


Figura 6-3: Esquematización de estructura MIMIC

Fuente: Elaboración propia

Una estructura similar a lo observado para la variable edad se registra en la distribución de ingresos: los usuarios de ingreso medio tienden a evaluar positivamente la conveniencia de taxi colectivo, mientras que tanto los de ingresos más bajos como más altos, tienen una evaluación más bien neutra (el estrato de ingreso alto fue definido como referencia). Este fenómeno se observa en las variables *Conveniencia* y *Confiabilidad*. Por otro lado, las tres variables latentes son mejor evaluadas por los hombres ($SEXO = 1$).

Tabla 6-6: Modelos híbridos de elección discreta – Modelos de medición

Variable	HIBR5		HIBR6	
	Coef.	Test-T	Coef.	Test-T
<i>Variable Conveniencia – Coeficientes de la ecuación de medición</i>				
y_a : Demorarme menos	1,45	4,6	1,44	4,6
y_e : Me deja donde me conviene	0,794	5,4	0,795	5,4
y_h : Menos transbordos	2,51	2,3	2,54	2,3
<i>Variable Confiabilidad – Coeficientes de la ecuación de medición</i>				
y_b : Confiabilidad tiempo de viaje	0,669	2,9	0,649	2,9
y_g : Confiabilidad tiempo de espera	0,494	3,8	0,487	3,8
<i>Variable Seguridad – Coeficientes de la ecuación de medición</i>				
y_i : Seguridad ante accidentes	0,708	2,0	0,724	2,0
y_j : Seguridad ante delitos	0,370	2,6	0,373	2,6
<i>Parámetros de Probit ordinal – y_a: Demorarme menos</i>				
δ_1	0,116	1,1	0,116	1,1
δ_2	3,63	5,3	3,62	5,3
<i>Parámetros de Probit ordinal – y_e: Me deja donde me conviene</i>				
δ_1	0,232	3,0	0,232	2,9
δ_2	1,96	6,9	1,96	6,9
<i>Parámetros de Probit ordinal – y_h: Menos transbordos</i>				
δ_1	0,405	1,2	0,408	1,2
δ_2	4,58	2,6	4,62	2,6
<i>Parámetros de Probit ordinal – y_b: Confiabilidad tiempo de viaje</i>				
δ_1	0,643	4,9	0,636	5,0
δ_2	1,09	5,4	1,08	5,5
<i>Parámetros de Probit ordinal – y_g: Confiabilidad tiempo de espera</i>				
δ_1	0,659	6,3	0,659	6,3
δ_2	1,12	6,5	1,12	6,5
<i>Parámetros de Probit ordinal – y_i: Seguridad ante accidentes</i>				
δ_1	1,20	4,8	1,21	4,7
δ_2	1,24	4,0	1,25	4,0
<i>Parámetros de Probit ordinal – y_j: Seguridad ante delitos</i>				
δ_1	0,698	7,1	0,698	7,1
δ_2	1,10	6,5	1,10	6,5

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

Tabla 6-7: Modelos híbridos de elección discreta – Modelos estructurales

Variable	HIBR5		HIBR6	
	Coef.	Test-T	Coef.	Test-T
<i>Variable Conveniencia</i>				
<i>EDAD</i>	0,105	5,6	0,105	5,6
<i>EDAD2</i>	-0,001	-4,7	-0,002	-4,8
<i>ING_MEDIO</i>	1,00	3,8	1,00	3,8
<i>SEXO</i>	0,492	1,8	0,490	1,7
Desviación estándar	1	–	1	–
<i>Variable Confiabilidad</i>				
<i>EDUCMED</i>	-1,18	-3,9	-1,18	-3,9
<i>ESTUDIA</i>	1,35	2,9	1,39	2,9
<i>ING_MEDIO</i>	1,00	2,2	1,04	2,2
<i>SEXO</i>	0,650	1,4	0,636	1,4
Desviación estándar	1	–	1	–
<i>Variable Seguridad</i>				
<i>EDAD</i>	0,105	5,6	0,096	2,5
<i>EDAD2</i>	-0,001	-2,1	-0,001	-2,2
<i>AUTOMOVIL</i>	-0,413	-1,0	-0,425	-1,0
<i>BELLAVISTA</i>	-1,66	-2,7	-1,64	-2,7
<i>ESTUDIA</i>	0,603	1,2	0,613	1,3
<i>LEJOS</i>	-0,917	-1,8	-0,904	-1,9
<i>SEXO</i>	1,08	1,8	1,06	1,8
Desviación estándar	1	–	1	–

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

Los usuarios que cuentan con un vehículo en su hogar (*AUTOMOVIL* = 1) tienen una valoración negativa de la variable *Seguridad* del taxi colectivo. Asimismo, la evaluación de la variable *Confiabilidad* es significativamente superior para aquellos usuarios cuyo máximo nivel educacional fue la enseñanza media (*EMEDIA* = 1). Finalmente, los usuarios que fueron encuestados realizando un transbordo (*LEJOS* = 1), tienen una valoración negativa de la *Seguridad* del taxi colectivo, al igual que quienes fueron encuestados en la zona de Bellavista de La Florida (*BELLAVISTA* = 1). Es interesante notar que en el cuestionario de indicadores de percepción existen algunas diferencias perceptibles en la evaluación de las preguntas asociadas a seguridad; en efecto, 72% de los usuarios de Bellavista de La Florida no percibe al taxi colectivo como un modo

seguro respecto a la probabilidad de ocurrencia de accidentes (superior al 57% promedio en las otras dos zonas de encuesta), y un 50% no lo considera seguro respecto a los delitos (40% en las otras zonas). Esta es, por tanto, la única dimensión en que existen diferencias significativas entre las zonas evaluadas.

Es interesante notar que, en el caso de la variable *Conveniencia*, los modelos MIMIC finalmente seleccionados incluyen indicadores de medición ligeramente distintos a los que formaron parte del mejor modelo de AFC estimado en la sección 6.2. Los indicadores más relevantes para los usuarios siguen siendo la conveniencia del destino (“*Me deja donde me conviene*”) y la posibilidad de hacer menos transbordos. Ambos indicadores tienen una carga positiva, significativa y mayor que uno en las ecuaciones de medición. Además, aunque en este modelo no parece incidir la variable asociada a viajar sentado, resulta significativa la influencia del indicador relacionado con una percepción de menores tiempos de viaje en la alternativa (“*Me demoro menos*”). Este hecho parece confirmar que la variable latente construida se asocia, en mayor medida, con la conveniencia –y no necesariamente con la comodidad– y que éste es el factor intangible de mayor relevancia en la elección del modo.

En ambos modelos de elección se observan resultados bastante similares tanto en magnitud y significancia estadística de los parámetros, como en log-verosimilitud. En ambos casos, los modelos híbridos son significativamente superiores a un modelo MNL simple que no incorpore variables latentes; en efecto, el *test* LR vale 18,67 y 19,12 respectivamente, y ambas cifras son superiores al valor crítico para tres grados de libertad al 95% de confianza. Aunque la log-verosimilitud es similar a la registrada en el caso del modelo jerárquico con variaciones de gusto (*MOD3*) y, por tanto, el poder explicativo de ambos modelos es equivalente, la relevancia de los modelos híbridos es la posibilidad de identificar de manera explícita algunas variables latentes que podrían incidir en la opinión de los usuarios, y que podrían quedar “ocultas” en los parámetros del modelo jerárquico. Desde este punto de vista, sería preferible la estructura de modelación híbrida.

Tabla 6-8: Modelos híbridos de elección discreta – Modelos de elección

Variable	HIBR5		HIBR6	
	Coef.	Test-T	Coef.	Test-T
<i>Parámetros de niveles de servicio</i>				
α_{TXC}	-3,84	-4,7	-3,81	-5,3
α_{BUS}	-2,90	-10,1	-2,89	-10,1
<i>TVIA</i>	-0,018	-1,5	-0,018	-1,5
<i>TESP</i>	-0,108	-4,5	-0,111	-4,6
<i>TCAM</i>	-0,188	-7,2	-0,188	-7,2
<i>NTRA</i>	-2,49	-9,3	-2,47	-9,2
<i>TAR / TS</i>	-0,009	-1,1	-0,009	-1,1
<i>VARIABLES LATENTES</i>				
<i>TCAM × CONVEN</i>	-0,230	-2,4	-0,216	-2,5
<i>CONFIAB</i>	0,463	0,9	–	–
<i>TESP × CONFIAB</i>	–	–	0,077	1,3
<i>SEGUR</i>	0,629	1,5	0,582	1,4
<i>VARIACIONES SISTEMÁTICAS DE GUSTOS</i>				
<i>TCAM × LEJOS</i>	-0,083	-3,1	-0,082	-3,1
<i>TCAM × SX</i>	0,131	5,0	0,131	5,0
<i>TESP × AM</i>	-0,313	-2,3	-0,307	-2,3
<i>TESP × ESTUD</i>	-0,097	-1,8	-0,097	-1,8
<i>AJUSTE DEL MODELO DE ELECCIÓN</i>				
<i>l (0)</i>	-935,387		-935,387	
<i>l (k)</i>	-918,930		-918,930	
<i>l* (□)</i>	-593,180		-592,955	
$\rho^2 (0)$	0,366		0,366	
$\rho^2 (k)$	0,354		0,354	
LR Test (k)	651,500		651,950	
<i>AJUSTE DEL MODELO GLOBAL</i>				
LL (*)	-1231,766		-1231,436	

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta y mediciones

Considerando que los parámetros asociados a los atributos de nivel de servicio mantienen el orden de magnitud e interrelación estimados en los modelos simples (capítulo 6.1), la adición de la *Conveniencia* muestra que un usuario con alta valoración de la conveniencia del taxi colectivo tendrá una valoración significativamente mayor del tiempo de caminata que un usuario que no la tenga, o bien, que tenderá a preferir aquellas opciones de transporte que impliquen menos tiempo de transbordo y de egreso. Todo ello reafirma que la característica más apreciada por los usuarios de taxi colectivo

es precisamente la flexibilidad que entrega para acercarse al destino sin transbordos ni caminatas adicionales.

Por otra parte, la variable *Seguridad* tiene, en ambos modelos, el signo positivo esperado, y un *test-t* superior al correspondiente a la variable *Confiabilidad*. Se muestra que, de acuerdo con lo esperado, quienes tienen una percepción positiva de la seguridad que entrega el taxi colectivo, tienen una mayor probabilidad de escogerlo. Es importante notar que ninguno de los dos métodos de incorporación de la variable *Confiabilidad* permite encontrar estimadores estadísticamente significativos para esta variable.

En el caso del modelo HIBR5, el *test-t* es menor que 1,0, aunque el coeficiente es positivo, de acuerdo a lo esperado. Esto no necesariamente implica que la variable latente no tenga un efecto en la elección, y sólo parece indicar que su efecto no es aditivo en la función de utilidad. En efecto, la interacción de esta variable con el tiempo de espera presenta signo esperado y un *test-t* algo superior (1,3), aunque aún no significativo. Se probó una serie de interacciones adicionales de esta variable con otros atributos de nivel de servicio, aunque ninguna entregó resultados mejores que los aquí reportados.

6.4 Análisis de los Modelos de Elección

La Tabla 6-9 presenta una comparación de las valoraciones subjetivas de los distintos tiempos (caminata, espera y viaje) obtenidas en los distintos modelos estimados, de modo de establecer una comparación entre las estimaciones. Como los coeficientes del modelo fueron estimados utilizando la tasa salarial, los valores subjetivos del tiempo en términos de CL\$ debieron ser obtenidos a través de la tasa salarial individual, por lo que los valores reportados en la tabla corresponden, en realidad, a promedios para la muestra completa.

Tabla 6-9: Resumen de los valores subjetivos del tiempo según modelo

Valor Subjetivo del Tiempo (\$/min)	Modelo					
	MOD1	MOD2	MOD3	MOD4	HIBR5	HIBR6
Tiempo de viaje	52,0	60,2	93,7	184,2	80,3	80,3
Tiempo de espera						
<i>Base</i>	285,8	286,8	397,0	512,5	481,8	495,2
<i>Adultos mayores</i>	–	–	905,6	–	1.878,1	1.864,8
<i>Estudiantes</i>	–	–	736,1	–	914,5	927,9
Tiempo de caminata						
<i>Base</i>	444,0	407,2	687,0	545,6	838,7	838,7
<i>Usuarios en transbordo</i>	–	–	901,2	862,1	1.209,0	1.204,5
<i>Hombres</i>	–	–	227,5	172,4	254,3	254,3

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

En general, se observa un valor del tiempo de viaje similar en todas las especificaciones (entre \$52,0 y \$93,7 por min). Se encuentra que la valoración del tiempo de espera es entre 2,8 y 6,2 veces superior al tiempo de viaje y, en general, que el valor asignado al tiempo de caminata es también superior, salvo cuando se separan los atributos según las variaciones sistemáticas de gusto. En efecto, en los modelos que incluyen una diferenciación en el tiempo de caminata se observan mayores valoraciones para los usuarios que realizan transbordo en el punto de encuesta ($LEJOS = 1$) y para los adultos mayores, que también tienen mayor valoración del tiempo de espera. Finalmente, cuando se incluyen variables latentes, los modelos permiten confirmar que las variables más relevantes para los usuarios tienen que ver con la posibilidad de no transbordar y que el vehículo los deje en un lugar cercano a la casa. Una valoración alta y positiva de estos atributos hace que perciban como más desfavorables las alternativas que no cuentan con estos atributos y, por ende, les resulte más “desagradable” caminar más para llegar a su destino.

De manera complementaria, la Tabla 6-10 presenta un análisis de las elasticidades agregadas de la demanda para cada especificación, de acuerdo a los principales atributos. Las elasticidades agregadas por tipo de alternativa (taxi colectivo, bus/bus-Metro y

Metro/Metro-bus) fueron calculadas según el procedimiento usual de agregación para modelos tipo Logit multinomial y jerárquico, que se reporta en el Anexo F.

Tabla 6-10: Resumen de elasticidades de la demanda según atributo y modelo

Modo	Variable	Modelo					
		MOD1	MOD2	MOD3	MOD4	HIBR5	HIBR6
Taxi colectivo	Tiempo de viaje	-0,018	-0,067	-0,061	-0,117	-0,029	-0,029
	Tiempo de espera						
	Base	-0,039	-0,122	-0,095	-0,115	-0,064	-0,066
	Adultos mayores	–	–	-0,218	–	-0,250	-0,247
	Estudiantes	–	–	-0,177	–	-0,122	-0,123
	Tiempo de caminata						
	Base	-0,060	-0,252	-0,230	-0,167	-0,147	-0,147
	En transbordo	–	–	-0,302	-0,264	-0,212	-0,211
	Hombres	–	–	-0,076	-0,053	-0,045	-0,045
Bus y Bus-Metro	Tiempo de viaje	-0,258	-0,458	-0,399	-1,137	-0,298	-0,147
	Tiempo de espera						
	Base	-0,628	-1,068	-0,812	-1,435	-0,828	-0,850
	Adultos mayores	–	–	-1,852	–	-3,227	-3,201
	Estudiantes	–	–	-1,505	–	-1,571	-1,593
	Tiempo de caminata						
	Base	-0,769	-1,354	-1,220	-1,384	-1,226	-1,227
	En transbordo	–	–	-1,601	-2,187	-1,768	-1,762
	Hombres	–	–	-0,404	-0,437	-0,372	-0,372
Metro y Metro-Bus	Tiempo de viaje	-0,199	-0,220	-0,195	-0,589	-0,147	-0,147
	Tiempo de espera						
	Base	-0,620	-0,586	-0,466	-0,886	-0,491	-0,503
	Adultos mayores	–	–	-1,063	–	-1,912	-1,895
	Estudiantes	–	–	-0,864	–	-0,931	-0,943
	Tiempo de caminata						
	Base	-1,132	-0,985	-0,929	-1,183	-0,972	-0,972
	En transbordo	–	–	-1,218	-1,869	-1,768	-1,762
	Hombres	–	–	-0,308	-0,374	-0,295	-0,295

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta

Se observa que la probabilidad de elegir taxi colectivo es bastante inelástica a sus atributos: en efecto, la elasticidad al tiempo de viaje es muy cercana a cero en todas las estimaciones, y sólo las elasticidades asociadas al tiempo de caminata (especialmente en el caso de usuarios encuestados durante un transbordo y adultos mayores), superan

valores de $-0,2$. Esto parece confirmar que la demanda por taxi colectivo es relativamente fija y no se vería mayormente afectada ante cambios menores en los niveles de servicio, dado que los aspectos más valorados por el usuario tienen que ver con su conveniencia y confiabilidad.

En contraste, las probabilidades medias de selección de otros modos son bastante más elásticas, en especial en presencia de incrementos en los tiempos de espera y/o caminata, los que podrían implicar reducciones significativas en la demanda. Esto es especialmente relevante en el caso de las alternativas basadas en bus y Metro, en que se observan elasticidades de hasta $-1,435$ con respecto al tiempo de espera, y de $-1,384$ con respecto al tiempo de caminata para usuarios durante un transbordo; esto estaría indicando que la demanda por estos modos parece responder fuertemente a cambios en los atributos y, por ende, es posible que sus usuarios adopten otras alternativas si el nivel de servicio empeora.

Los resultados de los modelos de elección permiten verificar que la conveniencia de utilizar taxi colectivo parece ser el principal motivo para que sus usuarios lo escojan. Aunque esta característica se relaciona con el periodo y la metodología escogidos para la recopilación de información (etapas finales del viaje en punta tarde), es posible observar que para la muestra en estudio parece ser de gran relevancia tener disponible una alternativa cómoda y conveniente, y reducir al mínimo posible el número de transbordos y el tiempo de caminata para llegar a su destino. Adicionalmente, cuando quienes lo utilizan logran percibir un modo más confiable y seguro, la probabilidad de escogerlo aumenta significativamente, incluso cuando atributos de nivel de servicio como costo, tiempo de espera y de viaje no siempre sean significativamente mejores que los de los modos alternativos. En efecto, la demanda por taxi colectivo parece ser bastante inelástica ante cambios en estos atributos, lo que parecería indicar una alta valoración de los usuarios a las características intrínsecas de su operación

De esta forma, en muchos aspectos, el taxi colectivo parece recoger apropiadamente los requerimientos de quienes lo utilizan y esto hace que tenga una buena evaluación en los aspectos que lo definen como una opción distinta al transporte público mayor, a pesar de los inconvenientes operativos que presenta.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se realizó un análisis de la red y de los usuarios de taxi colectivo en Santiago, a partir del cual se diseñó y aplicó un instrumento de recopilación de información con el propósito de conocer las motivaciones que los llevan a escoger este modo de transporte y analizar las diferencias respecto a las demás alternativas de transporte público. El presente capítulo detalla las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

7.1 Conclusiones

A continuación se detallan las conclusiones del estudio, considerando el análisis de las características de la red de taxis colectivos, la encuesta de percepción, los modelos de comportamiento y, finalmente, algunas recomendaciones de política pública.

7.1.1 Sobre las Características Operativas del Taxi Colectivo

El análisis de la operación de los taxis colectivos en el contexto de Chile permitió concluir, en primer término, que el taxi colectivo es un modo de transporte típico de la realidad chilena. Surgió de manera espontánea para cubrir necesidades de transporte público en zonas y horarios en que la red de buses presentaba deficiencias de cobertura, y su desarrollo también fue adaptado a la demanda.

En segundo lugar, la operación del taxi colectivo en Chile puede homologarse con los modos de transporte público alternativo o *paratransit* que funcionan en distintos países en vías de desarrollo, principalmente debido al desarrollo informal de la red. No obstante, existen entre ellos algunas diferencias en aspectos como el estándar normativo y el nivel de regulación.

En tercer lugar, el rol complementario del taxi colectivo en las redes chilenas de transporte público se cumple a pesar de su informalidad operativa. La inexistencia de una planificación de los servicios hace que la mayor parte de los ingresos de las empresas dependa directamente del pago de la tarifa por parte de los usuarios, hecho que suele conducir a prácticas ineficientes desde el punto de vista del sistema (Cervero, 2007; Díaz *et al.*, 2006). En efecto, considerando que el modo opera con vehículos de baja capacidad, su impacto en la congestión durante estos periodos puede ser relevante, especialmente si utiliza infraestructura dedicada a modos más eficientes desde el punto de vista del uso del espacio público, como el bus. Por otra parte, si bien en teoría las licitaciones de vías involucran algunas exigencias mínimas en términos de frecuencias y tarifas, en la práctica no se observa mayor fiscalización de estos estándares. Como se ha mencionado, este tipo de prácticas se debe principalmente a la informalidad que se detecta en la industria, cuya principal característica actual es el alto grado de atomización. Existe un gran número de empresas operadoras, cada una de las cuales controla flotas pequeñas de vehículos. Se trata de una industria con bajo nivel de profesionalización, que prácticamente no utiliza tecnologías auxiliares para optimizar su operación y que, más allá de letreros informativos en las vías, no entrega mayor información a sus usuarios.

Finalmente, se concluye que, aun a pesar de estas deficiencias, el uso del taxi colectivo es creciente en muchas ciudades de tamaño medio y se ha mantenido relativamente constante en Santiago durante los últimos años. Sus principales beneficios se asocian a su acción como modo complementario al transporte público mayor en zonas y horarios de baja cobertura, su flexibilidad y su capacidad de responder rápidamente a los cambios del sistema.

7.1.2 Sobre la Encuesta de Percepción

En línea con lo anterior, la encuesta de percepción aplicada a los usuarios ha mostrado que el taxi colectivo es un modo bien evaluado por sus usuarios en diversos aspectos. En

primer término, existe una evaluación positiva de algunos aspectos distintivos del modo, como la posibilidad que el viaje termine en un destino conveniente para los usuarios, les permita viajar sentados y puedan ahorrar transbordos. La evaluación positiva de algunos de estos atributos presenta un contraste con la valoración que los modos tipo *paratransit* tienen en el contexto de otros países en vías de desarrollo, lo que muestra oportunidades para el mejoramiento del servicio. En segundo lugar, se observa una valoración positiva de la seguridad del modo, que podría asociarse con la proximidad entre el conductor y el usuario. Finalmente, en general, el taxi colectivo es percibido como un modo de transporte confiable, que permite predecir con alguna certeza los tiempos de espera y de viaje.

7.1.3 Sobre los Modelos de Comportamiento

La estimación de los modelos de comportamiento permitió verificar, en primer término, que la valoración de los atributos confirma la fuerte penalización que los usuarios otorgan a alternativas que impliquen transbordos o incrementos en el tiempo de caminata. La diferencia es significativamente superior para personas con dificultades de desplazamiento (como adultos mayores) y para quienes ya han realizado transbordos en etapas anteriores. El periodo y los puntos escogidos para la encuesta, así como la metodología de muestreo, inciden en que buena parte de los viajes captados sean etapas finales en desplazamientos de vuelta a casa. Esto, a su vez, influye en la evaluación positiva de aquellos atributos que “simplifican” el viaje, en términos de reducir las caminatas tanto en los egresos como en los transbordos, especialmente si los viajeros provienen de etapas anteriores.

En segundo lugar, los modelos híbridos de elección discreta muestran que aquellos usuarios con una valoración positiva de la conveniencia del modo, tienen una valoración mayor de sus tiempos de caminat.

En tercer lugar, la demanda por taxi colectivo es relativamente inelástica con respecto a sus principales atributos de niveles de servicio. Se trata, entonces, de una demanda relativamente pequeña, pero bastante fija, y que se sustenta principalmente en aquellos aspectos del modo que lo diferencian de las demás alternativas de transporte público.

Finalmente, el taxi colectivo cumple mejor este rol de adaptación a las necesidades de los usuarios cuando se le permite cierta *flexibilidad* a su recorrido, tanto en el momento de captar a los pasajeros como para llevarlos hacia sus hogares. En definitiva, las dimensiones mejor evaluadas del modo se asocian a su capacidad de adaptarse a las necesidades de sus usuarios y, en su estado operativo actual, esto puede asociarse precisamente a algún grado de informalidad.

7.1.4 Sobre Regulación y Política Pública

Existe consenso en la literatura especializada que el crecimiento sustentable de las grandes ciudades debe involucrar la provisión de redes multimodales de transporte público, a fin de garantizar el acceso expedito de los usuarios a sus actividades (ver por ejemplo SOCHITRAN, 2013). Considerando este hecho, así como los resultados de la aplicación de los modelos y la estimación de los modelos de comportamiento, puede concluirse que el taxi colectivo y los modos complementarios a la red de transporte público mayor pueden cumplir un rol fundamental, aportando fuertemente a la flexibilidad y respuesta del sistema ante la multiplicidad de requerimientos de transporte.

Si bien el taxi colectivo es reconocido y valorado por sus usuarios, parece interesante modernizar su operación para superar sus ineficiencias operativas y los eventuales perjuicios que puede ocasionar al sistema en su conjunto. Los resultados de este trabajo pueden ser relevantes de tomar en cuenta en este proceso. De acuerdo con Godard *et al.* (2006), usualmente la relación de las autoridades de transporte con los modos tipo *paratransit* en el mundo parte por ignorarlos y/o desconocer su importancia, para luego

combatirlos. Una vez que este conflicto no entrega los resultados esperados, se reconoce su rol y se formaliza y regula su operación. Chile ha recorrido este camino de manera progresiva en las últimas décadas y en la actualidad se discute el paso a la siguiente etapa, que implicaría apoyar a los operadores para que puedan modernizarse en un esquema de operación integrada. Este proceso podría verse favorecido por medidas que tiendan a:

- i) *Diferenciar al taxi colectivo del resto de los modos de transporte.* Ante el advenimiento de servicios de transporte basados en aplicaciones y *ridesourcing* como Uber y Cabify, el taxi colectivo debiera definirse como un modo con características específicas, aprovechando y fomentando sus atributos más valorados, que se relacionan con la posibilidad de reducir tiempos de caminata y transbordos, gracias a su gran flexibilidad.
- ii) *Establecer al taxi colectivo como un modo complementario a la red de transporte público mayor.* Se debiera fomentar la operación del taxi colectivo en sectores y zonas de baja cobertura, en que tenga sentido mantener las características de flexibilidad horaria y de recorrido propias del modo, operando de manera complementaria a la red de transporte público mayor, y no como su competencia. Resulta de especial interés favorecer al taxi colectivo como modo relevante en viajes locales, de alimentación a las redes de buses troncales y de Metro, y de conexión a sectores poblacionales con baja accesibilidad. En paralelo, sería esperable la reducción o eliminación de líneas que circulan por ejes de alta demanda, en paralelo con un incremento de servicios en sectores poco cubiertos, como desarrollos urbanos recientes y zonas de la periferia en proceso de integración con la ciudad. Asimismo, se debería analizar en detalle la factibilidad de incorporar esquemas tarifarios flexibles –como los existentes actualmente– a una operación con tarifa integrada como la de Transantiago.
- iii) *Redefinir la red de servicios.* Se requerirá un reordenamiento de la red de líneas de taxi colectivo, con el propósito de garantizar, por una parte, que los

distintos sectores de la ciudad cuenten con una adecuada cobertura en términos de accesibilidad, conectividad con destinos de interés y frecuencia ofrecida, y por otra, que las externalidades de la operación no afecten sectores de alta congestión en determinados horarios.

- iv) *Reorganizar las empresas operadoras.* Como se ha visto, algunos de los inconvenientes del modo se asocian a la atomización del mercado y a la precariedad de la operación, y podrían resolverse favoreciendo la asociación y coordinación entre distintas empresas operadoras. Esto podría lograrse estableciendo, por ejemplo, áreas o zonas de la ciudad a licitar (de tamaño reducido), al interior de las cuales se favorezca la operación de un número limitado de operadores, mejorando la cobertura al interior de las mismas.
- v) *Modernizar la operación del servicio.* Los niveles de servicio ofrecidos a los usuarios sólo podrán ser gestionados si se implementan mejoras tecnológicas en la operación. Como mínimo, los vehículos debieran generar registros de posicionamiento (GPS), de modo que sea posible controlar el cumplimiento de aspectos como: la cobertura comprometida (garantizando cierta flexibilidad en modificar el trazado), las frecuencias ofrecidas al usuario, y los tiempos de desplazamiento. Asimismo, debiera estudiarse la posibilidad de implementar esquemas de regulación de frecuencias de salida en los terminales para entregar un ajuste adecuado entre oferta y demanda, así como sistemas de comunicación entre vehículos de un mismo operador, que permitan mejorar la regularidad del servicio durante el trayecto.
- vi) *Mejorar la información al usuario.* Finalmente, es necesario mejorar fuertemente la información al usuario, de modo que éste efectivamente perciba al taxi colectivo como una alternativa relevante en su viaje. Esto implica, por una parte, mejorar la señalización ya existente en distintos sectores, incorporando información acerca de los destinos de los servicios, horarios de operación y otros; y por otra, gestionar otras formas de entrega de información, como aplicaciones móviles, planificadores de viaje o consultas web, similares a las que ya existen para el transporte público mayor.

Es claro que un programa de estas características requerirá de un marco institucional sólido, instrumentos legales apropiados y una capacidad de fiscalización suficiente para resolver los principales inconvenientes que actualmente mantienen al taxi colectivo como un modo de transporte poco utilizado.

El proceso de modernización del servicio de taxis colectivos en Santiago y el resto de las ciudades de Chile es una tarea relevante para el futuro de sus sistemas de transporte público, y debiera considerar en su planteamiento a operadores y usuarios. Se debe tender a un compromiso entre la mantención de las características propias del modo que son bien evaluadas por sus usuarios y el bienestar de la sociedad en su conjunto, en términos de uso de la vialidad pública. Esto representa un importante desafío para las autoridades chilenas, si se quiere reforzar el relevante rol de apoyo que cumplen actualmente los taxis colectivos en el contexto del transporte público nacional. La regulación debe conducirlos a su modernización e integración, pero también a la entrega de un mejor nivel de servicio para sus usuarios.

7.2 Recomendaciones

Como se ha mencionado previamente, ésta corresponde a una primera investigación académica centrada en los taxis colectivos, por lo que en rigor el estudio tiene un carácter exploratorio y no pretende ser representativo de la red en su conjunto. En este sentido, una de las principales limitaciones encontradas en el desarrollo de este trabajo ha sido la ausencia de un conjunto sistematizado de información que caracterice apropiadamente la red de taxis colectivos en Santiago, en términos de trazados georreferenciados de sus líneas, localización de sus terminales y nivel de servicio ofrecido, como existe para los modos de transporte público mayor. El desarrollo de algún estudio que recopile y analice esta información para toda la red de Santiago se considera una tarea fundamental para el estudio de este modo y la formulación de políticas regulatorias. La metodología empleada para caracterizar las áreas de interés en esta investigación puede considerarse un primer paso en esta dirección, especialmente en

lo referente a los procedimientos diseñados para recopilar y procesar información operativa. Adicionalmente, se requieren estudios especializados acerca de la operación del modo, la estructura de costos del sistema y la generación de externalidades, a fin de evaluar posibles políticas públicas con información actualizada

Como forma de complementar el acercamiento a los usuarios del modo, una posible ampliación de la muestra, que permita considerar otros puntos relevantes de inicio de servicios de taxi colectivo en distintos periodos del día, asoma como una extensión potencialmente relevante para estudiar este problema. En paralelo podría probarse la implementación de estructuras más complejas de modelación, que permitan identificar, por ejemplo, clases latentes entre los encuestados, o distintas estructuras tipo Logit Mixto que condujeran a modelos con mejor nivel de ajuste que los acá presentados.

Al implementar las medidas propuestas previamente, o cualquier esquema de regulación de taxis colectivos, no puede dejar de considerarse las características propias del modo que son bien evaluadas por los usuarios. Por ejemplo, si bien podría considerarse apropiado “rigidizar” la operación de los taxis colectivos en términos de restringir y fiscalizar sus recorridos para que se mantengan fijos durante todo el trayecto, se estaría eliminando la posibilidad (muy bien evaluada por los usuarios del modo) que el vehículo los deje “en la puerta de la casa”. Similarmente, desde el punto de vista operacional podría parecer atractivo proveer un servicio equivalente al actual con vehículos de mayor tamaño, y sería esperable que de esta forma incluso pueda inducirse una mayor demanda. Si se desea implementar esta medida, sería importante analizar el tamaño óptimo de los vehículos a utilizar, ya que el uso de un vehículo muy grande (como un minibús, por ejemplo), podría incrementar los tiempos de espera (producto de menores frecuencias ofrecidas) y los tiempos totales de viaje (producto de la subida y bajada de un mayor número de pasajeros), disminuyendo en la práctica la calidad del servicio que reciben los usuarios.

Asimismo, esta investigación se centró principalmente en el análisis de la demanda por taxi colectivo desde un polo de generación de viajes (o terminal) hasta el hogar de los usuarios. No puede descartarse que exista una demanda insatisfecha en tramos intermedios del recorrido, que no puede abordar los vehículos debido a que éstos circulan llenos. Si esto sucediera, sería interesante analizar la posibilidad de implementar distintos puntos de inicio para cada línea, de modo de captar apropiadamente esta demanda. Este aspecto no fue abordado en esta investigación ni en las referencias bibliográficas consultadas, por lo que podría ser un aspecto interesante de analizar en el trabajo futuro.

Finalmente, dada la creciente participación del taxi colectivo en ciudades intermedias, se recomienda aplicar instrumentos similares en regiones, previo trabajo de caracterización de los usuarios de cada ciudad. Este tipo de análisis debiera complementarse con el diseño y la aplicación de encuestas de satisfacción de usuarios que permitan estudiar los atributos más relevantes para los viajeros en cada ciudad. Esto debería ayudar a detectar las necesidades de los usuarios del modo, así como verificar la aceptabilidad de eventuales medidas de mejoramiento del sistema.

Este tipo de estudios complementarios acerca de los usuarios del taxi colectivo permitirá, en definitiva, orientar sus políticas regulatorias hacia el bienestar de la sociedad en su conjunto, pero considerando como insumo las necesidades y atributos valorados por los usuarios, creando de esta forma un sistema que incluya como protagonistas a todos sus actores relevantes.

BIBLIOGRAFIA

Águila, F. (2016) El nuevo servicio de Uber que mantiene en alerta a los colectiveros. *Emol.com*, 12 de mayo de 2016.: <http://www.emol.com/noticias/Nacional/2016/05/12/802535/La-anunciada-aplicacion-de-Uber-que-ahora-traera-dolores-de-cabeza-a-los-colectiveros.html>. Visitado el 5 de julio de 2017.

Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. *2nd International Symposium on Information Theory*, 2-8 de septiembre de 1971, Tsahkadsor, Armenia, 267–281.

Al-Ayyash, Z., Abou-Zeid, M. y Kaysi, I. (2014). Forecasting students' demand for a shared-ride taxi service using an integrated choice and latent variable model. *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, 11-15 de enero de 2015, Washington DC.

Amorós-Zurita, R. (2013). El rol del transporte público alternativo motorizado en la ciudad. *Territorios en Formación*, 5, 3–22.

Ashok, K., Dillon, W. R. y Yuan, S. (2002). Extending discrete choice models to incorporate attitudinal and other latent variables. *Journal of Marketing Research*, 39, 31–46.

Bahamonde-Birke, F. y Ortúzar, J. de D. (2014). Is sequential estimation a suitable second best for estimation of hybrid choice models? *Transportation Research Records: Journal of the Transportation Research Board*, 2429, 51–58.

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

Basilevsky, A. (1994). *Statistical Factor Analysis and Related Methods. Theory and Applications*. Chichester: John Wiley & Sons.

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

Ben Akiva, M. y Bolduc, D. (1996). Multinomial probit with a logit kernel and a general parametric specification of the covariance structure. Working Paper. Department d'Economique, Université Laval.

Ben Akiva, M., Walker, J.L., Bernardino, A.T., Gopinath, D.A., Morikawa, T. y Polydoropoulou, A. (2002). Integration of choice and latent variable models. En H.S.

Mahmassani (Ed.), *In Perpetual Motion: Travel Behavior Research Opportunities and Application Challenges*. Amsterdam: Elsevier.

Bearse, P., Gurmu, S., Rapaport, C. y Stern, S. (2004). Paratransit demand of disabled people. *Transportation Research*, 38B, 809–831.

Bhat, C. (2003). Random utility-based discrete choice models for travel demand analysis. En K. Gouliias (Ed.), *Transportation Systems Planning: Methods and Applications*. Texas: CRC Press.

Bhat, C., Dubey, S.K. y Nagel, K. (2015). Introducing non-normality of latent psychological constructs in choice modeling with an application to bicyclist route choice. *Transportation Research*, 78B, 341–363.

Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: a free package for the estimation of discrete choice models. *3rd Swiss Transport Research Conference*, 19–21 de marzo de 2003, Ascona Suiza, 1–24.

Bierlaire, M. (2015). Monte-Carlo integration with PythonBiogeme. Report TRANSP-OR 150806. Transport and Mobility Laboratory, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Bierlaire, M. (2016a). Estimating choice models with latent variables with PythonBiogeme. Report TRANSP-OR 160628. Transport and Mobility Laboratory, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Bierlaire, M. (2016b). PythonBiogeme: a short introduction. Report TRANSP-OR 160706. Transport and Mobility Laboratory, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Bollen, K.A., Kirby, J.B., Curran, P.P., Paxton, P.M. y Chen, F. (2007). Latent variable models under misspecification. Two-stage least squares (2SLS) and maximum likelihood (ML) estimators. *Sociological Methods & Research*, 36, 48–86.

Cardell, N.S. y Dunbar, F. (1980). Measuring the social impacts of automobile downsizing. *Transportation Research*, 14A, 423–434.

Carrasco, J.A. y Ortúzar, J. de D. (2002). Review and assessment of the nested logit model. *Transport Reviews*, 22, 197–218.

Carreira, R., Patrício, L., Jorge, R.N. y Magee, C. (2013). Understanding the travel experience and its impact on attitudes, emotions and loyalty towards the transportation provider – a quantitative study with mid-distance bus trips. *Transport Policy*, 31, 35–46.

Cervero, R. (2000). *Informal Transport in the Developing World*. Nairobi, Kenia: United Nations Centre for Human Settlements (Habitat).

Cervero, R. y Golub, A. (2007). Informal transport: a global perspective. *Transport Policy*, 14, 445-457.

Chorus, C. G. y Kroesen, M. (2014). On the (im-) possibility of deriving transport policy implications from hybrid choice models. *Transport Policy*, 36, 217–222.

Chowdhury, S. y Ceder, A. (2013). A psychological investigation on public-transport users' intention to use routes with transfers. *International Journal of Transportation*, 1, 1–20.

Clifton, K. y Handy S. (2003). Qualitative methods in travel behaviour research. En P. Jones y P. R. Stopher (eds.). *Transport Survey Quality and Innovation*, Bingley: Emerald Group Publishing.

CONASET (2014) *Manual de Señalización de Tránsito*. Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito, Santiago.

Daganzo, C. y Newell, G. (1995). *Methods of Analysis for Transportation Operations*, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley.

Daganzo, C. y Kusnic, M. (1993). Technical Note – Two Properties of the Nested Logit Model. *Transportation Science*, 27, 395–400.

Daly, A. (1992). *ALOGIT Users' Guide, Version 3.2*. Amsterdam: The Hague Consulting Group.

Daly, A. y Zachary, S. (1978). Improved multiple choice models. En D. Hensher y M. Dalvi (Eds.), *Determinants of Travel Choice*. Westmead: Saxon House.

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

Daziano, R. A. y Bolduc, D. (2013). Incorporating pro-environmental preferences towards green automobile technologies through a Bayesian hybrid choice model. *Transportmetrica A: Transport Science*, 9, 74–106.

Decreto N° 44 (2011). Subsecretaría de Transportes, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. Santiago, Chile, 9 de agosto de 2011. Modificado por el Decreto N° 210 del 17 de junio de 2015.

Decreto N° 80 (2004). Subsecretaría de Transportes, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. Santiago, Chile, 13 de septiembre de 2004. Modificado por el Decreto N° 199 del 13 de febrero de 2016.

Decreto N° 191 (2015). Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. Santiago, Chile, 3 de diciembre de 2015.

Decreto N° 212 (1992). Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. Santiago, Chile, 21 de noviembre de 1992. Modificado por el Decreto N° 181 del 20 de febrero de 2016.

Deka, D. y Gonzales, E. (2014). The generators of paratransit trips by persons with disabilities. *Transportation Research*, 70A, 181–193.

De Cea, J. y Fernández, F. (1993). Transit assignment for congested public transport systems: an equilibrium model. *Transportation Science*, 27, 133–147.

De Oña, J., De Oña, R., Eboli, L. y Mazzulla, G. (2013). Perceived service quality in bus transit service: a structural equation approach. *Transport Policy*, 29, 219–226.

Díaz, G., Gómez-Lobo, A. y Velasco, A. (2006). Micros en Santiago: de enemigo público a servicio público. En A. Galetovic (Ed.), *Santiago. Dónde Estamos y Hacia Dónde Vamos*. Santiago: Centro de Estudios Públicos.

Domencich, T. y McFadden, D. (1975). *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*. Amsterdam: North-Holland.

DTPM (2016). *Estudio Satisfacción de Empresas Operadoras. Informe de Resultados. Medición Noviembre 2016*. Directorio de Transporte Público Metropolitano. Realizado por Brújula Investigación y Estrategia.

DTPM (2017). Google Maps, el nuevo planificador de viajes de Transantiago. Directorio de Transporte Público Metropolitano, sin fecha. URL: <http://www.dtpm.cl/index.php/noticias/293-google-maps-el-planificador-de-viajes-de-transantiago>. Visitado el 15 de julio de 2017.

FESUB Concepción (2006). *Estudio de Costos de Transporte Público para el Gran Concepción. Informe Final*. Ferrocarriles Suburbanos S. A. Concepción, Chile. Realizado por Fernández & De Cea – Ingenieros Ltda.

Figueroa, V. (2012). La política pública del Transantiago: implicancias conceptuales y metodológicas para un estudio de caso. En M. Olavarría (Ed.), *¿Cómo se Formulan las Políticas Públicas en Chile? Tomo 3. El Transantiago*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

Fox, J. (2009). Teacher's Corner: Structural equation modeling with the sem package in R. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 13(3), 465–486.

Franklin, J. y Niemeier, D. (1998). Discrete choice elasticities for elderly and disabled travelers between fixed-route transit and paratransit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1623, 31–36.

Fujii, S. y Gärling, T. (2003). Application of attitude theory for improved predictive accuracy of stated preference methods in travel demand analysis. *Transportation Research*, 37A, 389–402.

Gardner, B. y Abraham, C. (2008). Psychological correlates of car use: a meta-analysis. *Transportation Research*, 11F, 300–311.

Godard, X. (2006). Coping with paratransit in developing cities, a scheme of complementarity with institutional transport. *Future Urban Transport Conference*, Gotemburgo, Suecia, 2-5 de abril 2006.

Gwilliam, K. (2002). *Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review*. Washington D. C.: The World Bank

Hensher, D.A., Rose, J.M. y Greene, W.H. (2005). *Applied Choice Analysis: A Primer*. Cambridge: Cambridge University Press.

Horowitz, J.L. (1981). Sources of error and uncertainty in behavioural travel demand models. En P.R. Stopher, A.H. Meyburg y W. Brög [Eds.], *New Horizons in Travel Behaviour Research*. Londres: Croom Helm.

INE (2016). *Anuarios Parque de Vehículos en Circulación*. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. Recuperado de http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/transporte_y_comunicaciones/parquevehiculos.php. Visitado el 15 de julio de 2017.

Jara-Díaz, S. R. y Ortúzar, J. de D. (1989). Introducing the expenditure rate in the estimation of mode choice models. *Journal of Transport Economics and Policy*, 23, 293–308.

Joewono, T. y Kubota, H. (2007). User satisfaction with paratransit in competition with motorization in Indonesia: anticipation of future implications. *Transportation*, 34, 337–354.

Johansen, B. G. (2013). *Modelling the Effects of Personality Traits on Ridership: The Case of High Speed Rail in Norway* Master's Thesis, Department of Economics, University of Oslo.

- Kaiser, H.F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31–36.
- Kaiser, H.F. (1958). The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 187–200.
- Koffman, D., Lewis, D., Chia, D., Burkhardt, J. y Bradley, M. (2007). Improving ADA Complementary Paratransit Demand Estimation. *TCRP Report 119*, Transit Cooperative Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Koppelman, F. S. y Bhat, C. (2006). *A Self-Instructing Course in Mode Choice Modeling: Multinomial and Nested Logit Models*. US Department of Transportation, Federal Transit Administration.
- Lai, W. y Chen, C. (2010). Behavioral intentions of public transit passengers—the roles of service quality, perceived value, satisfaction and involvement. *Transport Policy*, 18, 318–325.
- Lanzini, P. y Khan, S.A. (2017). Shedding light on the psychological and behavioral determinants of travel mode choice: a meta-analysis. *Transportation Research*, 48F, 13–27.
- LaPaix, L., Bierlaire, M., Cherchi, E. y Monzón, A. (2013). How urban environment affects travel behaviour: integrated choice and latent variable model for travel schedules. En Hess, S. y Daly, A. (Eds.), *Choice Modelling: The State of the Art and the State of Practice*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited.
- Lave, R. y Mathias, R. (2003). Paratransit systems. En Kim, T. (Ed.), *Transportation Engineering and Planning: Encyclopedia of life support systems*. Washington D. C.: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Ley N° 18290 (1984) Ministerio de Justicia de Chile. Santiago, Chile, 7 de febrero de 1984. Modificada por la Ley N° 20068 del 10 de diciembre de 2005.
- Ley N° 20378 (2009) Subsecretaría de Transportes, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. Santiago, Chile, 5 de septiembre de 2009. Modificada por la Ley N° 20877 del 30 de noviembre de 2015.
- Likert, R. (1934). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 5–55.
- Loehlin, J. C. (2004). *Latent Variable Models. An Introduction to Factor, Path and Structural Equation Analysis, 4th Edition*, Mahwa, New Jersey: Laurence Erlbaum Associates, Publishers.

Manski, C.F. y Lerman, S.R. (1977). The estimation of choice probabilities from choice based samples. *Econometrica*, 45, 1977–1988.

McFadden, D. (1974). The measurement of urban travel demand. *Journal of Public Economics*, 3, 303-328.

McFadden, D. (1986). The choice theory approach to marketing research. *Marketing Science*, 5, 275–297.

McFadden, D. y Train, K. (2000). Mixed MNL models for discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, 15, 447–470.

Medina, F. y Galván, F. (2007). Imputación de datos: teoría y práctica. *Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos N° 54*. Santiago de Chile, CEPAL.

MTT (1992). *Estudio de Diagnóstico y Recomendaciones para el Mercado de Taxis y Taxis Colectivos, Informe Final*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Santiago, Chile. Realizado por Bakovic y Belic Ingenieros Consultores.

MTT (2002). *Análisis del Sistema de Taxis Colectivos de la Ciudad de Santiago, Informe Final*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Santiago, Chile. Realizado por Fernández & De Cea – Ingenieros Consultores.

MTT (2012). *Plan Maestro de Transporte 2025 Santiago*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Santiago https://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2014/02/plan_maestro_2025_2.pdf . Visitado el 30 de septiembre de 2016.

MTT (2016). *Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros [Base de datos]*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Obtenida a través de Solicitud de Información por Ley de Transparencia.

Mulley, C., Nelson, J., Teal, R., Wright, S. y Daniels, R. (2012). Barriers to implementing flexible transport services: an international comparison of the experiences in Australia, Europe and USA. *Research in Transportation Business & Management*, 3, 3–11.

Munizaga, M. y Daziano, R. A. (2001). Modelos Mixed Logit: Antecedentes teóricos y aplicaciones. *Actas del VII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 9-12 de octubre 2001, Concepción, Chile, 61–73.

Munizaga, M. y Palma, C. (2012). Estimation of a disaggregate multimodal public transport origin-destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research*, 24C, 9–18.

Muñoz, V., Thomas, A., Navarrete, C. y Contreras, R. (2015). Encuesta origen-destino de Santiago 2012. Resultados y validaciones. *Ingeniería de Transporte*, 19, 21–36.

Nguyen-Hoang, P. y Yeung, R. (2010). What is paratransit worth? *Transportation Research*, 44A, 841–853.

Okamura, T., Kaneko, Y., Nakamura, F. y Wang, R. (2013). Passengers' attitudes to the service items of jeepneys in Metro Manila by different lifestyles. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, 1384–1395.

Orro, A., Novales, M. y Benítez, F. (2006) Variaciones en los gustos de elección modal. *XIV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tráfico y Transporte*, 20–23 de septiembre de 2006, Las Palmas de Gran Canaria, España.

Ortúzar, J. de D. (2000). *Modelos Económicos de Elección Discreta*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica.

Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L. (2011). *Modelling Transport*, 4th Edition. Chichester: John Wiley & Sons.

O’Ryan, R., Sperling, D., Delucchi, M. y Turrentine, T. (2002) Transportation in Developing Countries: Greenhouse Scenarios in Chile. Documento de Trabajo 111, 1-37. Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile.

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

Phun, V. y Yai, T. (2016). State of the art of paratransit literatures in Asian developing countries. *Asian Transport Studies*, 4, 57–77.

QGIS Development Team (2009). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL: <http://qgis.osgeo.org>. Visitado el 1 de julio de 2016.

Raiche, G., Riopel, M. y Blais, J-G. (2006). Non-graphic solutions for the Cattell’ Scree Test. *International Meeting of the Psychometric Society IMPS 2006*, Montréal, Canadá, 16 de junio de 2006, 1–12.

Raveau, S., Yáñez, M. F. y Ortúzar, J. de D. (2012). Practical and empirical identifiability of hybrid discrete choice models. *Transportation Research*, 46B, 1374–1383.

Raveau, S., Muñoz J.C., Prato, C., Soto, A., Tamblay, S. e Iglesias, P. (2017). A behavioural planning tool for modelling public transport systems. *TransitData 2017, 3rd International Workshop and Symposium*, Santiago, Chile, 22-24 de mayo 2017.

Rayle, L., Dai, D., Chan, N., Cervero, R. y Shaheen, S. (2016). Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco. *Transport Policy*, 45, 168–178.

Revelle, W. (2010). *Psych: Procedures for Personality and Psychological Research*. R package version 1.0-86. Northwestern University, Evanston, Illinois.

Richardson, A. J., Ampt, E. S. y Meyburg, A. H. (1995). *Survey Methods for Transport Planning*. Melbourne: Eucaliptus Press.

Sagredo, R. y Solís, H. (2006) *Estudio Descriptivo Acerca de la Aplicación y Funcionamiento de Plan Transantiago*. Memoria de Ingeniero de Ejecución en Gestión Pública. Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Chile

SECTRA (2003). *Actualización y Recolección de Información del Sistema de Transporte Urbano, II Etapa. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por la Pontificia Universidad Católica de Chile.

SECTRA (2007). *Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Punta Arenas. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por la Pontificia Universidad Católica de Chile.

SECTRA (2010). *Actualización diagnóstico del S.T.U. de la ciudad de Copiapó. Encuesta origen destino de viajes. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por TRASA Ingeniería Ltda.

SECTRA (2012). *Actualización diagnóstico del S.T.U. de la ciudad de Iquique. Encuesta origen-destino de viajes. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por Apia XXI Ingenieros y Arquitectos Consultores.

SECTRA (2013a). *Encuesta origen-destino de Santiago. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por la Universidad Alberto Hurtado.

SECTRA (2013b). *Actualización diagnóstico del S.T.U. de la conurbación Coquimbo-La Serena. Encuesta origen-destino de viajes. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por CIS Ingenieros Consultores.

SECTRA (2014a). *Actualización diagnóstico del S.T.U. de la ciudad de Puerto Montt. Encuesta origen destino de viajes. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por TRASA Ingeniería Ltda.

SECTRA (2014b). *Encuesta Origen-Destino de Viajes del Gran Valparaíso. Informe Final*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano. Realizado por TRASA Ingeniería Ltda.

Sillano, M. y Ortúzar, J. de D. (2004). Willingness-to-pay estimation with mixed logit models: some new evidence. *Environment and Planning* 37A, 525-550.

SOCHITRAN (2013). Políticas de Transporte Urbano para Nuestras Ciudades. Sociedad Chilena de Ingeniería de Transportes. http://www.sochitran.cl/wp-content/uploads/PTU_Sochitran1.pdf. Visitado el 30 de septiembre de 2016.

SUBTRANS (2013). Política Nacional de Transportes. *Subsecretaría de Transportes*. <https://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2013/05/documento-politica.pdf>. Visitado el 30 de septiembre de 2016

Sumaedi, S., Bakti, I. y Yarmen, M. (2012). The empirical study of public transport passengers' behavioral intentions: the roles of service quality, perceived sacrifice, perceived value, and satisfaction (Case study: *Paratransit* passengers in Jakarta, Indonesia). *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2, 83–91.

Swait, J.D. (2001). Choice set generation with the generalized extreme value family of discrete choice models. *Transportation Research*, 35B, 643–666.

Tangphaisankun, A., Nakamura, F. y Okamura, T. (2010). A study in integrating paratransit as a feeder system into urban transportation and its effects on mode choice behavior: A study in Bangkok, Thailand. *12th World Conference of Transport Research*, 11-15 de julio de 2010, Lisboa, Portugal, 1–22.

Tardiff, T. J. (1976). A note on goodness-of-fit statistics for probit and logit models. *Transportation*, 5, 377-388.

Thomson, I. (1995). Una evaluación crítica de algunos aspectos del desarrollo del Sistema de Transporte Urbano de Santiago. *Actas del VII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 17-20 de octubre 1995, Santiago, Chile, 436–451.

Tierney, K., Decker, S., Proussaloglou, K., Rossi, T., Ruiter, E. y McGuckin, N. (1996). *Travel Survey Manual*. Report N° FHWA-PL-96-029, Washington D.C.

Tirachini, A. (2016). *Recomendaciones regulación nuevas plataformas tecnológicas*. Presentación para la Comisión Transportes del Senado. Recuperada de http://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=tramitacion&ac=getDocto&iddocto=2052&tipodoc=docto_comision. . Visitado el 15 de julio de 2017.

Train, K.E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*, 2nd edition. New York, Cambridge University Press.

Train, K.E. y McFadden, D.L. (1978). The goods/leisure trade off and disaggregate work trip mode choice models. *Transportation Research*, 12, 349–353.

Train, K.E., McFadden, D.L. y Goett, A.A. (1987). Consumer attitudes and voluntary rate schedules for public utilities. *The Review of Economics and Statistics*, 69, 383–391.

Vij, A. y Walker, J. L. (2013). Hybrid choice models: The identification problem. En S: Hess y A. Daly (Eds.), *Handbook of Choice Modelling*. Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar Publishing Limited.

Yáñez, M.F., Raveau, S. y Ortúzar, J. de D. (2010). Inclusion of latent variables in Mixed Logit models: modelling and forecasting. *Transportation Research*, 44A, 744–753.

Williams, H.C.W.L. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environmental and Planning*, 9A, 285–344.

ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES DE ENCUESTA

A.1.: Puntos de Encuesta y Medición

La siguiente tabla resume los puntos utilizados para la recopilación de encuestas en cada zona, indicando además los servicios que salen de ella.

Tabla A-1: Puntos de encuesta y servicios medidos

Zona	Modo	Punto	Ubicación	Servicios relevantes
Bellavista de La Florida	Taxi colectivo	BV1	Vicuña Mackenna Oriente entre Calle Nueva y Melchor	3021; 3028; 3029; 3030; 3031
		BV4	Vicuña Mackenna Oriente esq: Calle Nueva	2012; 2011; 3036
		BV5	San Carlos de Ancud esq. Pudeto	3003; 5011
		BV8	Serafín Zamora esq. Vicuña Mackenna Poniente	3012; 3013; 3033; 3035
	Bus	PE125	Parada 9 / (M) Bellavista de La Florida	224
		PE1282	Parada / Est. Intermodal de la Florida	322; 323; E06; E13; E15; E18
		PE160	Parada 3 / (M) Bellavista de La Florida	211; 225; 118
		P425	Parada 8 / (M) Bellavista de La Florida	E03; E18
	Metro	VM	Estación Vicuña Mackenna	L4-L4A
	Lo Ovalle	Taxi colectivo	OV16	José Ureta entre Gran Avenida y Esmeralda (vereda sur)
OV17			Estacionamiento Caracol Lo Ovalle	3003; 5042
OV18			José Ureta entre Gran Avenida y Esmeralda (vereda norte)	5026; 5031; 5033; 5061; 5067
Bus		PG1	Parada / (M) Lo Ovalle	201; 229; 301; I12
		PG1585	Parada / Est. Intermodal Lo Ovalle	E02; E03; G11; G18
		PG279	Parada 3 / Paradero 17 Gran Avenida	226
Metro		OV	Estación Lo Ovalle	L2
Cal y Canto	Taxi Colectivo	CC21	Morandé esq. San Pablo	7005
		CC22	Morandé entre San Pablo y Gral. Mackenna	7004; 7012; 8006; 8007; 8008; 8015
		CC23	Morandé entre Gral. Mackenna y Pdte. Balmaceda (vereda oriente)	8002; 8003
		CC24	Morandé entre Gral. Mackenna y Pdte. Balmaceda (vereda poniente)	5004; 7013
		CC26	San Pablo esq. Puente	5027
		CC27	San Pablo entre Puente y 21 de Mayo	7010
		CC28	Cardenal Caro esq. Av. La Paz	8013
	Bus	PA245	Parada 2 / Teatro Teletón	303; 307; 314; B29
		PA380	Parada 4 / Estación Mapocho	408; B20
		PA396	Parada 3 / Estación Mapocho	502; 502c; 503; 509

Zona	Modo	Punto	Ubicación	Servicios relevantes
		PA423	Santo Domingo Esq. / Teatinos	505; 508
		PA669	Parada 12 / Estación Mapocho	312e
		PA87	Parada 7 / Estación Mapocho	201; 201e; 202c; 214; 308
		PB864	Artesanos Esq. / Av. La Paz	B02; B04; B23; B24
	Metro	CC	Estación Cal y Canto	L2

Por su parte, las siguientes figuras muestran los destinos de los servicios de taxi colectivo que salen de cada zona de encuesta, con colores que identifican las agrupaciones utilizadas (según destino). Como se menciona en el cuerpo del informe, estas agrupaciones definieron el método de muestreo empleado en cada punto de control.

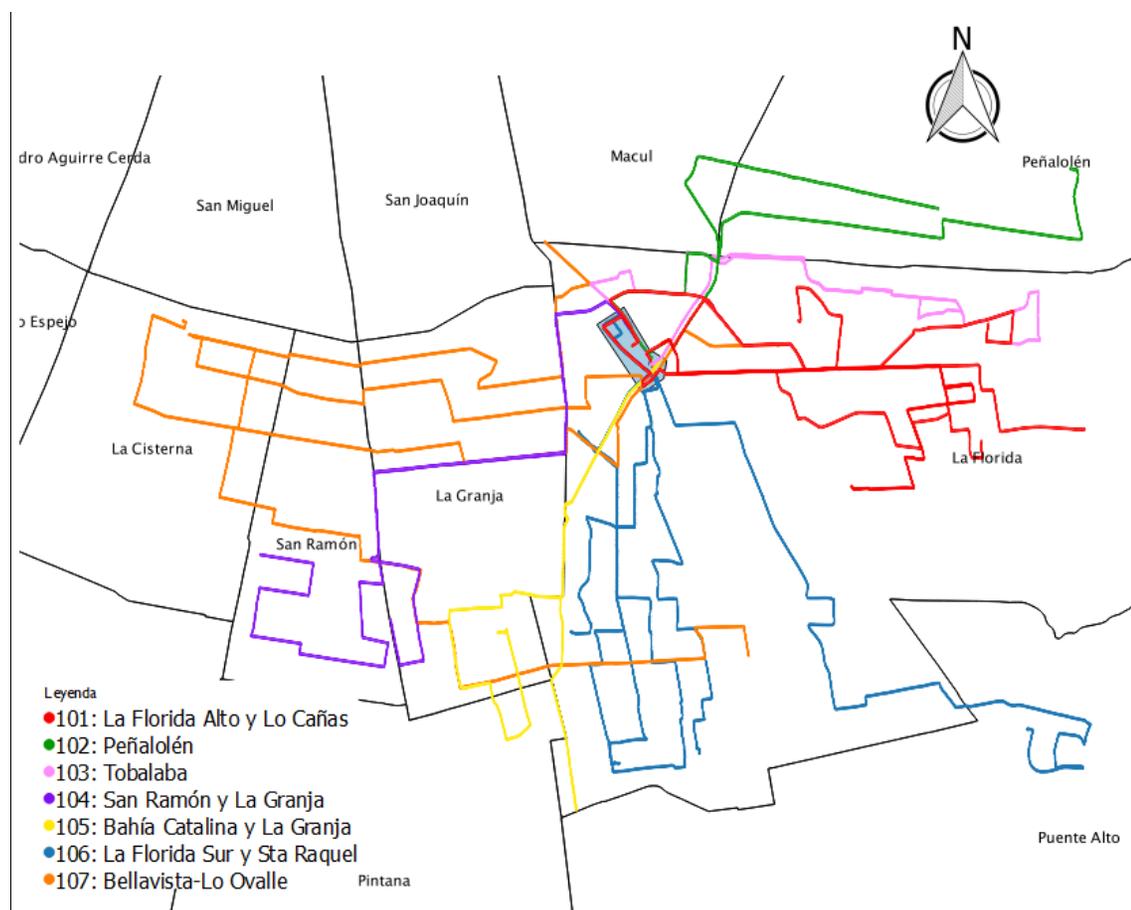


Figura A-1: Servicios de taxi colectivo que operan en Bellavista de La Florida

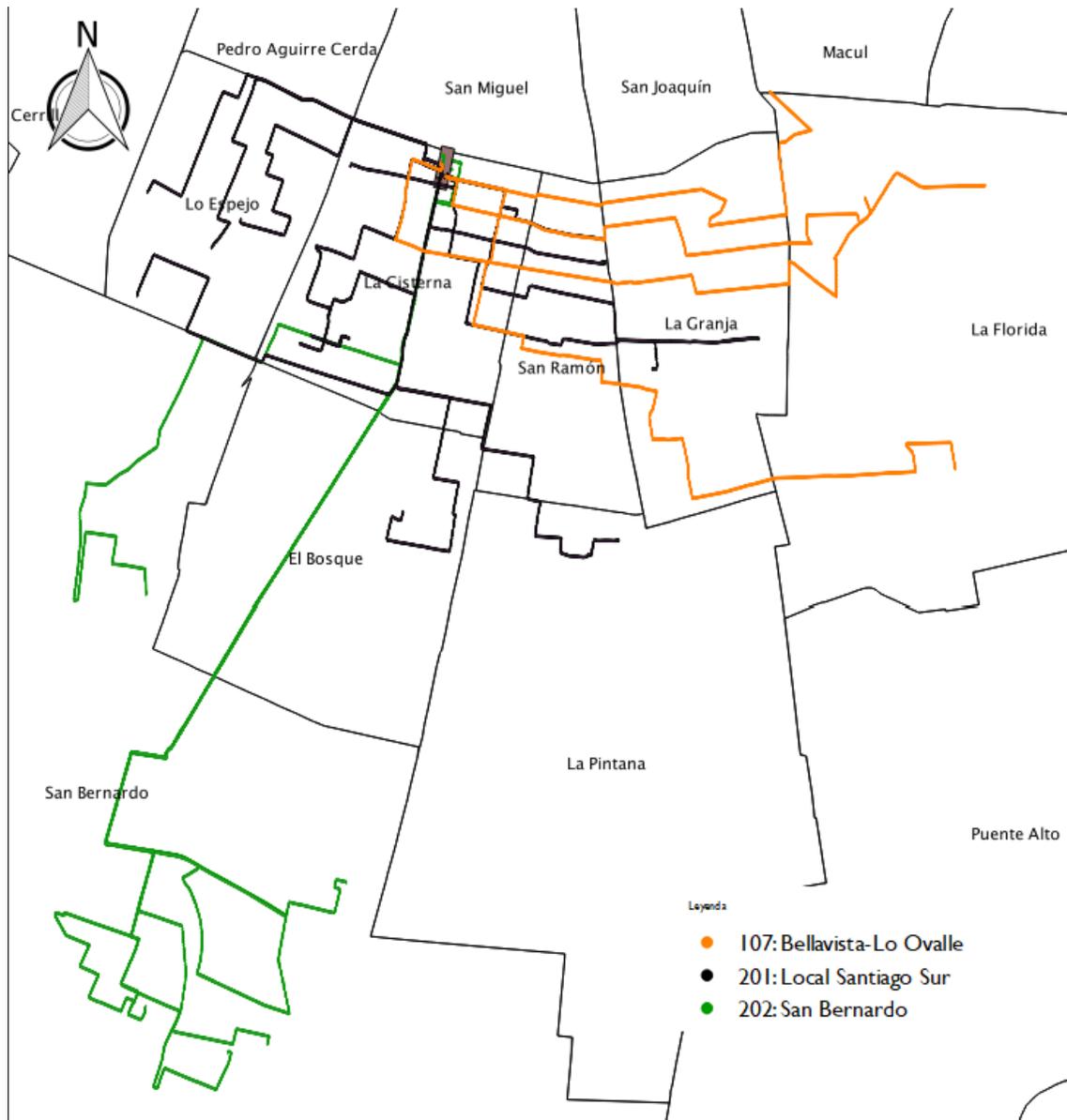


Figura A-2: Servicios de taxi colectivo que operan en Lo Ovalle

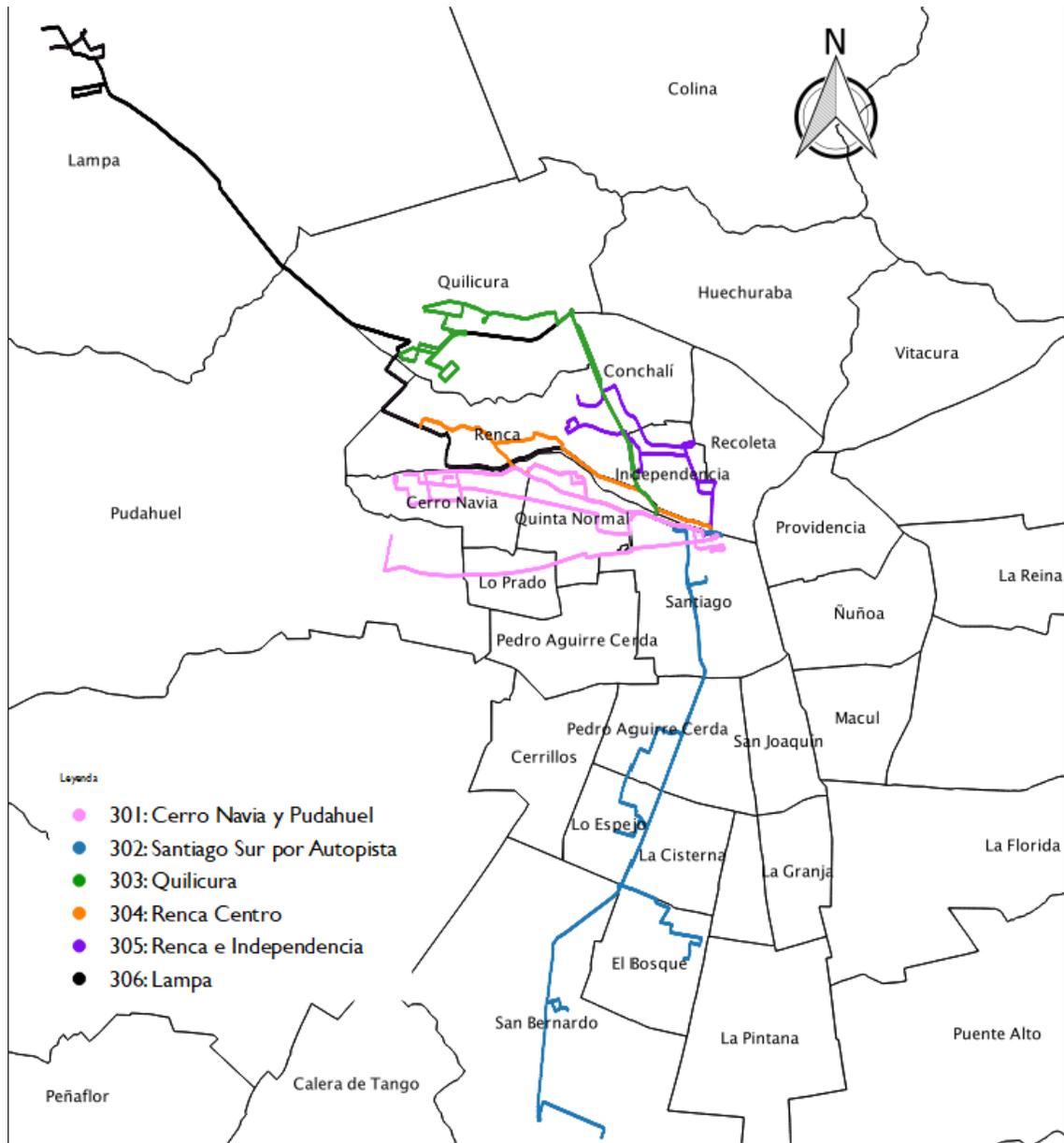


Figura A-3: Servicios de taxi colectivo que operan en Cal y Canto

A.2.: Formulario de Encuesta, Modo: Taxi Colectivo

	<p>Encuesta Origen-Destino Puntual Modo: Taxi Colectivo (v. 4) <i>Realizada por el Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística de la Pontificia Universidad Católica de Chile</i></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">Folio</td><td style="width: 40%;"></td></tr> <tr><td>Fecha</td><td></td></tr> <tr><td>Hora inicio</td><td></td></tr> <tr><td>Encuestador</td><td></td></tr> </table>	Folio		Fecha		Hora inicio		Encuestador	
Folio										
Fecha										
Hora inicio										
Encuestador										
A CONTEXTO										
1. Zona de encuesta (<i>Llenar encuestador</i>) <input type="checkbox"/> Lo Ovalle <input type="checkbox"/> Bellavista de La Florida <input type="checkbox"/> Cal y Canto										
2. Punto de medición (<i>Copiar código</i>) <input style="width: 100px;" type="text"/>										
3. ¿Qué servicio espera? <input style="width: 100px;" type="text"/>										
B DATOS BÁSICOS DEL VIAJE										
4. ¿Cuál es el motivo de su viaje? <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Estudio <input type="checkbox"/> Trámites <input type="checkbox"/> Compras <input type="checkbox"/> Salud <input type="checkbox"/> Volver a casa <input type="checkbox"/> Otro, ¿cuál? _____										
5. ¿Qué tan seguido hace este viaje? <input type="checkbox"/> Todos los días <input type="checkbox"/> 2-3 veces por semana <input type="checkbox"/> 1 vez por semana <input type="checkbox"/> Cada 2 semanas <input type="checkbox"/> 1 vez al mes <input type="checkbox"/> Excepcionalmente										
C DETALLES DEL VIAJE										
6. ¿En qué lugar comenzó su viaje? <input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Lugar de trabajo <input type="checkbox"/> Lugar de estudio <input type="checkbox"/> Otro _____										
7. ¿Dónde queda el lugar en que comenzó su viaje? Calle: <input style="width: 150px;" type="text"/> <i>(Indicar dirección precisa o intersección más cercana. Sólo indicar lugar en casos en que éstos sean perfectamente identificables; ejemplo: Estadio Nacional, Palacio de La Moneda. Si hay ambigüedad, solicitar precisión)</i> Con calle: <input style="width: 150px;" type="text"/> Lugar: <input style="width: 150px;" type="text"/> Comuna: <input style="width: 150px;" type="text"/>										
8. En este paradero, ¿le sirve otra línea o servicio? <input type="checkbox"/> Sí, ¿Cuál(es)? _____ <input type="checkbox"/> No										
9. ¿Cuánto pagará al subir al taxi colectivo? <input style="width: 100px;" type="text"/>										
10. ¿En qué lugar terminará el viaje? <input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Lugar de trabajo <input type="checkbox"/> Lugar de estudio <input type="checkbox"/> Otro _____										
11. ¿Dónde queda el lugar en que terminará su viaje? Calle: <input style="width: 150px;" type="text"/> <i>(Indicar dirección precisa o intersección más cercana. Sólo indicar lugar en casos en que éstos sean perfectamente identificables; ejemplo: Estadio Nacional, Palacio de La Moneda. Si hay ambigüedad, solicitar precisión)</i> Con calle: <input style="width: 150px;" type="text"/> Lugar: <input style="width: 150px;" type="text"/> Comuna: <input style="width: 150px;" type="text"/>										
12. Cuando se baje del servicio que está esperando, ¿llegará caminando hasta su destino (sin tomar otro servicio)? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <i>(Si responde NO, pasar directo a Pregunta 14)</i>										
13. ¿Cuántas cuadras caminará? _____ cuadras <i>(Pasar a pregunta 15)</i>										

1. ¿Cuáles serán las etapas de su viaje desde que se baje desde el servicio que espera, hasta destino? Por favor detalle todos los medios de transporte a los que se subirá. *Considere que hay una etapa por cada transbordo (o cambio de vehículo).*

Etapa	Modo	Servicio utilizado (Sólo Tte. Público)	Tarifa pagada (Sólo Tte. Público)
1	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Bus <input type="checkbox"/> Metro <input type="checkbox"/> Taxi colectivo <input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> Otro	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Bus <input type="checkbox"/> Metro <input type="checkbox"/> Taxi colectivo <input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> Otro	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Bus <input type="checkbox"/> Metro <input type="checkbox"/> Taxi colectivo <input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> Otro	<input type="text"/>	<input type="text"/>

2. Si no pudiera usar este servicio para realizar el viaje, ¿qué alternativas tendría?: *(Marcar todas las que indique)*

<input type="checkbox"/>	Otro(s) servicio(s) de taxi colectivo:	Indique servicios:	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/>	Servicio(s) de bus:	Indique servicios:	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/>	Combinación entre bus y Metro:	Indique servicios:	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/>	Viajar sólo en Metro		
<input type="checkbox"/>	Viajar en bicicleta		
<input type="checkbox"/>	Caminar		
<input type="checkbox"/>	Usar auto o que me pasen a buscar		
<input type="checkbox"/>	Otro, ¿cuál?		<input type="text"/>

3. ¿Hace este mismo viaje (en sentido inverso) durante la mañana? Sí No
Responda "sí" sólo si utiliza los mismos servicios pero en el otro sentido. Si cambia cualquier servicio, responda "NO".

E VARIABLES CUALITATIVAS DEL TAXI COLECTIVO

4. A continuación le leeré algunas frases, para recoger su opinión sobre el taxi colectivo. Utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 es "completamente en desacuerdo" y 5 es "completamente de acuerdo", por favor indíquenos qué tan de acuerdo está con las siguientes afirmaciones.

Pregunta	1 Muy en desacuerdo	2 En desacuerdo	3 Indiferente	4 De acuerdo	5 Muy de acuerdo
Viajando en taxi colectivo me demoro menos que en otros medios.					
Puedo saber exactamente cuánto me voy a demorar antes de subirme al taxi colectivo.					
Para mí es importante ir sentado durante mi viaje.					
Para mí es importante poder transportar bultos (carga) en mi viaje.					
El viaje en taxi colectivo me permite hacer menos transbordos.					
Viajando en taxi colectivo espero menos que viajando en otros medios.					
Puedo saber exactamente cuánto voy a esperar antes de llegar a la parada del taxi colectivo.					
El servicio de taxi colectivo me deja en un lugar que me conviene.					
Si ando en taxi colectivo, es menos probable que me ocurra un accidente.					
Tengo seguridad de que no seré víctima de un delito si viajo en taxi colectivo.					
Siempre puedo preguntar, sugerir o reclamar algo al conductor del taxi colectivo.					
El conductor del taxi colectivo ayuda a la gente que tiene problemas de movilidad (adultos mayores, personas con discapacidad, mujeres embarazadas, entre otros).					

F INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA

1. ¿Qué edad tiene? años 2. Sexo (*No se pregunta*) M F
3. ¿Cuántos automóviles tiene en casa? 0 1 2 o más
4. ¿Qué estudios tiene?
- | | | |
|--|-------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Básica o primaria | <input type="checkbox"/> Completa | <input type="checkbox"/> Estudiante |
| <input type="checkbox"/> Media o humanidades | <input type="checkbox"/> Incompleta | <input type="checkbox"/> Trabajador/a |
| <input type="checkbox"/> Técnica (Instituto Profesional) | | <input type="checkbox"/> Desempleado/a o Buscando trabajo |
| <input type="checkbox"/> Universitaria | | <input type="checkbox"/> Pensionado/a |
| <input type="checkbox"/> Postgrado | | <input type="checkbox"/> Dueño/a de casa |
5. ¿Cuál de estos conceptos define mejor su actividad actual? (*Puede indicar más de uno*)
6. ¿En qué comuna vive? _____
7. Finalmente, y aunque no nos pueda dar un monto exacto, ¿nos puede indicar aproximadamente en qué rango está su ingreso líquido mensual?
- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Menos de \$ 200.000 | <input type="checkbox"/> Entre \$ 1.600.001 y \$ 2.400.000 |
| <input type="checkbox"/> Entre \$ 200.001 y \$ 400.000 | <input type="checkbox"/> Más de \$ 2.400.000 |
| <input type="checkbox"/> Entre \$ 400.001 y \$ 800.000 | <input type="checkbox"/> No responde |
| <input type="checkbox"/> Entre \$ 800.001 y \$ 1.600.000 | |

¡Muchas gracias por su respuesta!

ANEXO B: PAUTA DE GRUPOS FOCALES

OBJETIVO GENERAL
<p>Identificar dimensiones, variables y atributos relevantes que inciden en la elección de este modo de transporte en la ciudad de Santiago.</p>
INTRODUCCIÓN A LOS PARTICIPANTES
<p><i>Bienvenida:</i> Buenas tardes y bienvenidos a esta reunión. Les agradecemos el tiempo que se han tomado en venir.</p> <p><i>Presentación de moderador y estudio:</i> Mi nombre es ____ y mi ayudante es _____, estamos realizando un estudio para la Universidad Católica de Chile.</p> <p><i>Explicación de por qué se invitó a los participantes:</i> Ustedes fueron seleccionados debido a que todos son usuarios de colectivo en Santiago. Nos interesa conversar con distintos usuarios para saber por qué utilizan este servicio.</p> <p><i>Revisión del tema a tratar:</i> Esta tarde vamos a conversar sobre sus opiniones con respecto a sus viajes en colectivo en la ciudad de Santiago y las razones por qué lo eligen. También hablaremos brevemente sobre el sistema de transporte de la ciudad en general. Lo más importante de señalarles es que no hay respuestas equivocadas, simplemente opiniones diferentes. Siéntanse libre de expresar sus puntos de vista, pues nos interesan tanto las opiniones positivas como negativas.</p> <p><i>Descripción de la actividad:</i> Antes de comenzar, permítanme que les diga algunas normas generales. Lo que Uds. digan aquí será confidencial, es decir, sus nombres no serán revelados (sólo anotaremos su nombre de pila, no su apellido).</p> <p>Vamos a grabar la conversación porque no queremos olvidar ninguno de sus comentarios, pero esta grabación será oída sólo por nosotros, porque en base a esta actividad tenemos que entregar un informe escrito. Les pedimos que hablen de a uno, porque si hay varias personas hablando al mismo tiempo, no se escuchará bien.</p> <p>Esta conversación durará aproximadamente una hora y media y si desean abandonar la sala en algún momento, pueden hacerlo pero, por favor, que sea en silencio.</p>

PREGUNTAS			
Ámbito	Objetivo	Pregunta Principal	Preguntas secundarias o explicativas
Aspectos generales	<p>Conocer el contexto de los viajes del entrevistado.</p> <p>Introducir al entrevistado en el tema de conversación.</p>	<p>¿Para qué utiliza generalmente colectivo?</p> <p><i>Preguntar de manera individual a algunos de los participantes</i></p>	<p>¿Qué tipo de actividad va a realizar?</p> <p>¿Qué tan seguido usa este servicio?</p> <p>¿En qué horarios lo utiliza?</p> <p>¿Combinan esos viajes con otros medios de transporte? (metro, bus, etc).</p>
	<p>Recordar situaciones experimentadas en relación al servicio de colectivos.</p>	<p>Piense en las veces que ha utilizado colectivo en los últimos meses ¿Cómo ha sido esta experiencia? ¿Por qué?</p> <p><i>Experiencias: Cumplimiento del objetivo, tiempo, etc.</i></p>	<p>¿Cómo se han sentido en esos viajes?</p> <p><i>Sensaciones: Por ejemplo, ansiedad, tranquilidad, temor, agresividad, confianza, entre otros</i></p>
Motivos de elección del servicio	<p>Conocer las principales razones de uso de los servicios de colectivo</p>	<p>¿Cuáles son los motivos por los que usted elige el servicio de colectivo?</p> <p>¿Alguna otra cosa?</p>	<p>¿Alguien más en su familia o conocidos lo usa o les sugirió que lo usara?</p>
	<p>Conocer la alternativas de viaje percibidas y su evaluación</p>	<p>¿Tiene Ud. otras alternativas para hacer el mismo recorrido?</p> <p>(En caso afirmativo) ¿Utilizas estas alternativas? ¿En qué caso?</p> <p>¿Por qué prefiere utilizar el colectivo en vez de estas alternativas?</p>	<p>¿Cuentan con auto en su hogar?</p> <p>(Si contestan afirmativamente)</p> <p>¿Para qué lo usan?</p> <p>¿Por qué utilizan colectivo a veces y no</p>

			automóvil?
Motivos de elección del servicio	<p>Conocer importancia de otras dimensiones no mencionadas abiertamente por los usuarios.</p> <p>Obtener atributos que definan estas dimensiones.</p>	<p>¿Qué opina sobre (ej. la seguridad) en los servicio de colectivo?</p> <p><i>Considerar preguntar sobre las siguientes dimensiones, si es que éstas no han sido previamente mencionadas por los participantes. De ser necesario explicar estos conceptos a los entrevistados.</i></p> <p><u>Servicio ofertado:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Acceso y egreso -Espera (frecuencia y regularidad) -Tiempo de viaje -Precio <p><u>Variables subjetivas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Comodidad -Flexibilidad -Confiabilidad -Seguridad -Condiciones ambientales -Relación con el conductor -Relación con otros pasajeros -Información disponible sobre el servicio 	<p>¿Cuán importante es para usted (ej. la seguridad) para sus viajes habituales?</p>
Opinión sobre el sistema de transporte	<p>Conocer eventuales situaciones que incidieran en otras elecciones de viaje de los entrevistados.</p>	<p>Pensando en los viajes que hace habitualmente, si pudieran cambiar alguna cosa del sistema de transporte de la Región Metropolitana hoy en día, ¿cuál sería? ¿Y qué más?</p>	<p>¿Por qué cambiaría eso?</p> <p>¿Si ello ocurriera seguiría eligiendo colectivo de la misma forma que ahora?</p>

ANEXO C: METODOLOGIA DE MEDICION DE TIEMPOS DE ESPERA

El fenómeno de espera por taxis colectivos puede estudiarse a través de la teoría de colas porque corresponde al análisis del comportamiento de objetos (personas) que llegan a un punto a una tasa determinada (tasa de llegada) y deben pasar a través de un punto (servidor) en que existe una restricción de paso (tasa de salida). Esta restricción origina la acumulación de objetos antes del servidor, lo que corresponde a la cola.

Suponiendo que existe una única cola y un único servidor (en este caso, que se forma una cola distinta para cada servicio, y que las personas no se cambian de fila de un servicio a otro), y siguiendo el esquema propuesto por Daganzo y Newell (1995), se puede asumir que las personas llegan al sistema en tiempos discretos, $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots$ y que estos tiempos son conocidos. Con estos supuestos es posible caracterizar completamente el proceso de llegada, y construir la curva acumulativa de llegadas en el tiempo t , $A(t)$. De manera análoga puede obtenerse una curva acumulativa de salidas en el tiempo t , $D(t)$. Ambas curvas acumulativas se presentan en la Figura C-1, en que los tiempos de llegada se etiquetan como t_j y los de salida como t'_j .

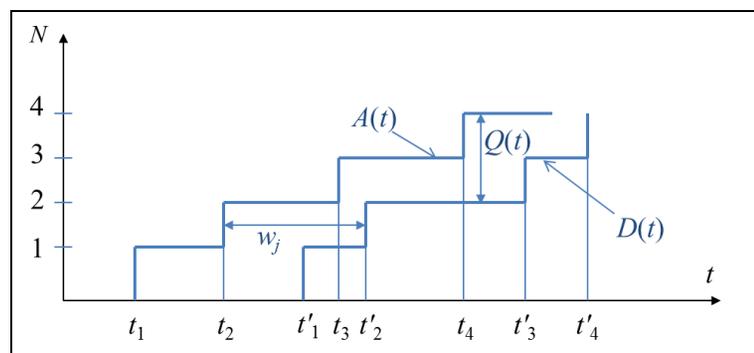


Figura C-1: Curvas acumuladas de salidas y llegadas de usuarios de taxi colectivo

Fuente: Adaptado de Daganzo y Newell (1995)

En esta figura, el sistema está vacío (no hay cola) en $t = 0$, por lo que la distancia vertical entre $A(t)$ y $D(t)$ entrega el largo de cola en cualquier instante de tiempo, t . Además, si

los clientes son enumerados consecutivamente según su orden de llegada, y si son servidos en este mismo orden (disciplina FIFO, o *first-in-first-out*, que aplica para el caso en estudio), entonces la j -ésima salida consecutiva también corresponde a la persona j que llegó a la cola. De esta forma, el tiempo de espera para la j -ésima persona, w_j (la diferencia entre sus tiempos de salida y llegada, $t_j' - t_j$), está dado por:

$$w_j = D^{-1}(j) - A^{-1}(j) \quad (C.1)$$

Esta expresión implica que la estimación de las curvas acumuladas de salida y llegada permite, en teoría, estimar los tiempos de espera de *todos* los usuarios observados en el sistema, además de la longitud de la cola en cada instante.

Para la implementación del método anterior, se realizaron mediciones de frecuencias y tasas de ocupación en el horario de interés (entre 17:00 y 20:00), para todas las líneas de taxi colectivo operativas en cada zona. Para ello, en cada una de las zonas, se definió un subconjunto de puntos en alguna vía, que permitiera el registro simultáneo de las salidas de varios servicios a la vez, de modo de optimizar el levantamiento de información. A partir de la información recopilada fue posible estimar no sólo las frecuencias de operación de cada uno de los servicios, sino también el volumen de usuarios que los utiliza durante el periodo de análisis. El listado de puntos escogidos, así como los resultados de la medición, se presentan en el Anexo D.2.

Como en la medición de frecuencias y tasas de ocupación se registró el número de pasajeros que aborda un vehículo perteneciente a una línea de terminada en cada instante de tiempo, en la práctica esto permitió estimar la curva $D(t)$ directamente a partir de las mediciones. Aprovechando este hecho, se realizó una medición complementaria de llegadas de usuarios que arriban a la cola de cada servicio en cierto intervalo de tiempo (en este caso, 5 minutos), lo que permitió estimar también la curva $A(t)$. De este modo fue posible estimar tiempos de espera individuales y, con ello, los tiempos medios que se requieren para el modelo de demanda. En esta medición se consideraron como puntos únicos aquellos en los que se observaba una única cola para más de un servicio.

Usualmente en este tipo de colas los usuarios abordan la primera línea que llegue (“líneas comunes”), por lo que el tiempo de espera determinado es característico de *todos* los servicios que llegan al punto.

Es necesario recalcar que esta metodología puede utilizarse siempre que se cumplan los supuestos que se asumieron para la deducción de las expresiones anteriores; esto es:

- i. Que se genere una única cola, exclusiva para cada servicio, y
- ii. Que la cola siga una disciplina FIFO.

La inspección visual en los puntos de interés muestra que estos supuestos parecen bastante razonables. En general, en todos los puntos de inicio de servicios de taxi colectivo en las zonas de interés se observan colas con una única fila para un único servidor; es decir, las personas esperan sólo un servicio de taxi colectivo en particular. En ocasiones existe señalización que dirige la formación de las colas de cada servicio, pero en general se trata de colas que se generan de manera cotidiana, alrededor del punto (señalizado o no) en que el servicio esperado se detiene normalmente. Esto implica que los resultados de la medición de tiempos de espera pueden utilizarse sin mayores inconvenientes para la estimación de los modelos.

ANEXO D: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

Anexo D. 1: Resultados de las mediciones de tiempos de viaje

La siguiente tabla presenta el resumen de los resultados de la medición de tiempo de viaje realizada en una muestra de servicios de taxi colectivo, según agrupación. A modo de ejemplo se presenta el cálculo de las velocidades medias por servicio.

Tabla D-1: Resumen de las mediciones de tiempos de viaje

Zona	Agrupación	Servicio	Tiempo de viaje (h)	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)
Bellavista de La Florida	101	3028	0,35	5,6	16,1
	102	2011	0,30	7,5	24,8
	103	3021	0,38	7,0	18,3
	104	5011	0,50	11,2	22,4
	105	3013	0,22	6,1	28,2
	106	3030	0,27	6,4	24,0
Lo Ovalle	107	5054	0,43	9,1	21,1
	201	3005	0,37	6,3	17,3
		5007	0,43	8,0	18,4
		5008	0,30	9,5	31,6
		5057	0,40	10,5	26,2
202	5042	0,70	13,1	18,7	
Cal y Canto	301	7004	0,38	11,5	29,9
	302	5004	0,68	22,8	33,3
	303	8002	0,48	15,0	31,1
	304	8006	0,48	11,6	23,9
	305	8007	0,45	9,1	20,1

Es posible observar que la velocidad promedio de los servicios de taxi colectivo es de 23,9 km/h, y que el rango de variación va entre los 16,1 km/h y los 33,3 km/h.

Anexo D.2: Resultados de las mediciones de frecuencias y tasas de ocupación

La Tabla D-2 presenta el resumen de los resultados de frecuencias y tasas de ocupación por línea de taxi colectivo. Es importante mencionar que estas mediciones fueron realizadas a la salida de cada zona, con la mayor parte de los vehículos cargados. Esta medición, por tanto, permite entregar un valor aproximado de pasajeros transportados por línea de taxi colectivo en la zona de interés, durante el periodo de medición (entre 18:00 y 20:00).

Tabla D-2. Resultados de la medición de frecuencia y tasas de ocupación

Zona	Servicio	Total de Vehículos	Frecuencia (veh/h)	Total de Pasajeros	Carga Media (pax/veh)	Ocupación (%)
Bellavista de La Florida	2011	72	36	139	1,93	48,3%
	2012	31	15,5	64	2,06	51,6%
	2017	17	8,5	26	1,53	38,2%
	3003	57	28,5	196	3,44	86,0%
	3008	41	20,5	163	3,98	99,4%
	3009	40	20	159	3,98	99,4%
	3012	61	30,5	243	3,98	99,6%
	3013	33	16,5	129	3,91	97,7%
	3014	12	6	21	1,75	43,8%
	3021	36	18	133	3,69	92,4%
	3022	9	4,5	19	2,11	52,8%
	3025	34	17	125	3,69	91,9%
	3028	8	4	24	3,00	75,0%
	3029	19	9,5	76	4,00	100,0%
	3030	32	16	128	4,00	100,0%
	3031	19	9,5	75	3,95	98,7%
	3033	33	16,5	129	3,91	97,7%
	3035	53	26,5	210	3,96	99,1%
	3036	23	11,5	72	3,13	78,3%
4009	22	11	88	4,00	100,0%	
5011	38	19	136	3,58	89,5%	
5054	32	16	95	2,97	74,2%	
Lo Ovalle	3005	41	20,5	164	4,00	100,0%
	5003	14	7	56	4,00	100,0%

Zona	Servicio	Total de Vehículos	Frecuencia (veh/h)	Total de Pasajeros	Carga Media (pax/veh)	Ocupación (%)
	5007	47	23,5	188	4,00	100,0%
	5008	45	22,5	180	4,00	100,0%
	5026	14	7	55	3,92	98,2%
	5028	12	6	48	4,00	100,0%
	5030	11	5,5	44	4,00	100,0%
	5031	7	3,5	28	4,00	100,0%
	5033	13	6,5	52	4,00	100,0%
	5036	36	18	144	4,00	100,0%
	5040	35	17,5	132	3,77	94,3%
	5042	27	13,5	106	3,93	98,1%
	5053	81	40,5	322	3,98	99,4%
	5054	29	14,5	116	4,00	100,0%
	5055	4	2	16	4,00	100,0%
	5057	1	0,5	4	4,00	100,0%
	5061	1	0,5	4	4,00	100,0%
	5066	45	22,5	180	4,00	100,0%
	5067	40	20	148	3,70	92,5%
	5070	25	12,5	99	3,96	99,0%
Cal y Canto	5004	23	11,5	91	3,96	98,9%
	5027	62	31	226	3,64	91,1%
	7004	43	21,5	167	3,88	97,1%
	7005	26	13	97	3,73	93,3%
	7010	25	12,5	91	3,64	91,0%
	7012	17	8,5	65	3,82	95,6%
	7013	46	23	180	3,91	97,8%
	8002	46	23	184	4,00	100,0%
	8003	55	27,5	212	3,85	96,4%
	8006	64	32	256	4,00	100,0%
	8007	34	17	116	3,41	85,3%
	8008	59	29,5	228	3,86	96,6%
	8013	33	16,5	132	4,00	100,0%
	8015	35	17,5	124	3,54	88,6%
	8019	56	28	220	3,93	98,2%
	8020	20	10	72	3,60	90,0%
8023	34	17	131	3,85	96,3%	

En la zona de Bellavista de La Florida se observa un flujo total de 722 taxis colectivos, transportando un total de 2.450 pasajeros, con una carga media de 3,39 pax/veh (ocupación de un 85%). Corresponde a la zona de menor ocupación entre las tres escogidas, con varios servicios que, a lo largo de la medición, registraron ocupaciones medias inferiores a 50%. Los servicios 3012 y 3035 transportan un promedio de pasajeros superior a los 100 por hora.

En contraste, la zona de Lo Ovalle registra la salida de 788 taxis colectivos, que transportan a 3.019 pasajeros. La carga media es de 3,83 pax/veh, con una ocupación de 96%. En esta zona, el servicio 5053, que circula hacia La Cisterna y Lo Espejo, concentra la mayor demanda, con un promedio superior a los 160 pasajeros por hora.

Finalmente, en Cal y Canto se registra un flujo de 418 taxis colectivos durante el periodo de medición, éstos transportan 1.659 pasajeros, para una carga media de 3,97 pax/veh (ocupación media del 99%). Aquí los servicios 5027 (dirigido a Lo Espejo), 8003 (Quilicura), 8006 (Renca), 8008 (Renca) y 8019 (Lampa) superan, como promedio, los 100 pasajeros por hora en el periodo de medición. Es importante notar que Renca es una de las comunas a las que se dirige un mayor número de viajes de taxi colectivo salidos de Cal y Canto, lo que parece un reflejo de su bajo nivel de conectividad con la red de transporte público mayor.

Adicionalmente, las amplias colas de espera registradas en Cal y Canto favorecen el surgimiento de servicios entregados de manera ilegal por furgones que llevan a pasajeros desde las colas de espera hasta sus destinos en comunas como Renca o Quilicura. Estos vehículos actúan amparados en la escasez de fiscalización, y para muchos pasajeros constituyen una alternativa con mayor nivel de comodidad y menor tiempo de espera, aunque con una tarifa que se supone más alta. Es claro que estos servicios no pudieron ser considerados en la modelación, dada su informalidad.

Anexo D.3: Resultados de las mediciones de longitud de cola

La Tabla D-3 presenta un resumen de las mediciones de longitud de cola, las que, en conjunto con el registro de frecuencia y tasa de ocupación, permitieron estimar los tiempos de espera para cada servicio de taxi colectivo. Como se mencionó previamente, existen colas en que los usuarios esperaban por más de un servicio a la vez; en estos casos, el tiempo de espera estimado para dicha cola, se consideró representativo de todos los servicios que partían en el punto.

Tabla D-3. Resultados de la medición de longitudes de cola y tiempos de espera

Sector	Servicio(s)	Afluencia Total (Pax)	Largo Cola (Promedio)	Largo Cola (Máximo)	Tiempo espera Promedio (min)
Bellavista de La Florida	2011	134	3,6	13	2,9
	2012	69	2,6	6	4,4
	2017	30	3,5	12	14,0
	3003	202	5,0	13	3,1
	3008	177	14,9	29	9,4
	3009	170	18,2	33	11,8
	3012	245	6,9	17	3,3
	3013	133	4,4	10	3,9
	3014	21	0,8	4	4,3
	3021	131	5,2	15	4,4
	3022	18	1,5	6	8,3
	3025	129	6,7	12	5,9
	3031	76	2,8	8	4,4
	3033	139	9,1	14	7,9
	3035	223	4,3	13	2,3
	3036	88	10,6	18	14,4
	4009	97	6,1	13	7,2
	5011	140	5,8	11	4,9
	5054	98	5,7	17	6,3
3026-3027-3028	31	5,1	10	18,9	
3029-3030	212	15,8	28	8,5	
Cal y Canto	5004	150	13,1	35	8,7
	5027	57	6,0	11	12,0
	7005	171	21,5	33	13,7

Sector	Servicio(s)	Afluencia Total (Pax)	Largo Cola (Promedio)	Largo Cola (Máximo)	Tiempo espera Promedio (min)
	7010	67	5,7	13	9,9
	7012	51	3,6	8	9,8
	7013	57	6,1	13	12,9
	8006	150	7,0	16	5,4
	8007	137	4,9	13	3,9
	8008	108	4,2	10	4,2
	8013	329	21,3	39	7,3
	8015	116	2,6	9	2,7
Lo Ovalle	3005	181	8,0	16	5,3
	5003	154	9,2	23	7,0
	5007	110	11,7	28	12,6
	5008	101	3,9	15	4,6
	5026	230	8,5	20	4,4
	5028	192	17,6	29	11,0
	5030	96	3,4	8	3,9
	5036	183	6,7	14	4,3
	5040	184	9,3	21	5,5
	5042	219	11,2	18	5,6
	5053	267	7,8	24	3,4
	5054	105	9,8	19	6,3
	5055	228	7,0	13	3,6
	5057	128	5,0	13	4,5
	5061	124	4,1	11	4,0
	5066	195	11,8	30	5,9
	5067	85	8,2	14	11,5
5070	137	8,0	17	6,9	
5031-5033	161	4,1	9	3,0	

La tabla permite observar un rango de variación de los tiempos medios de espera que va entre los 2,7 y los 18,9 minutos. Las longitudes medias de cola durante el periodo de medición oscilan entre los 0,8 y los 21,5 usuarios; este último caso se da para el servicio 7005, que sale de Cal y Canto hacia Quinta Normal. El largo máximo de cola (39 usuarios) se registra en el servicio 8013, que circula entre Cal y Canto y Renca.

ANEXO E: ANALISIS FACTORIAL Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

LATENTES

Usualmente los cuestionarios de indicadores de percepción se construyen de manera de reflejar algunos constructos psicológicos subyacentes que interesa evaluar. En principio, estos constructos o *factores* debieran representar las variables latentes obtenidas a partir de la aplicación del cuestionario. No obstante, para la correcta definición de las variables latentes es recomendable realizar algunos análisis sobre la base de las respuestas de los individuos, de modo de verificar los factores latentes que surgen de la estructura de correlación del cuestionario.

El estudio exploratorio de los indicadores de percepción puede realizarse a través de la técnica del *análisis factorial exploratorio* (AFE). A través de esta técnica estadística se busca describir la correlación entre los indicadores en términos de su asociación con un conjunto de constructos de menor dimensionalidad llamados *factores* (Basilevsky, 1994). Si las variables medidas poseen ciertas relaciones de mutua dependencia, será posible suponer que existe un cierto número de dimensiones de variabilidad (menor que el número de variables medidas) que permiten explicar el máximo de información contenida en los datos.

En este anexo, la notación está adaptada de Johansen (2013) y las deducciones se apoyan en Basilevsky (1994). Los subíndices individuales se omiten por simplicidad. Matemáticamente, dado un conjunto de P indicadores de percepción y_p con medias μ_p , con $p = 1, \dots, P$, se postula que sus valores estarán influidos por L factores latentes no observados (*factores comunes* o *variables latentes*), η_l , con $l = 1, \dots, L$, y un término de error ε_p , de forma tal que la ecuación del p -ésimo indicador de percepción tiene la siguiente forma:

$$y_p - \mu_p = \sum_{l=1}^L \gamma_{lp} \cdot \eta_l + \varepsilon_p \quad (\text{E.1})$$

Los coeficientes γ_{lp} cuantifican la correlación entre el indicador p y el factor m , y usualmente se denominan *cargas factoriales*. Para estimar este sistema de p ecuaciones se asume que:

- i) $E(\eta_l) = 0 \forall l$, $var(\eta_l) = 1 \forall m$ y $cov(\eta_l, \eta_m) = 0, l \neq m \forall l, m$. Es decir, los factores η_l tienen media cero, varianza unitaria y covarianza nula.
- ii) $E(\varepsilon_p) = 0 \forall p$, $var(\varepsilon_p) = \psi_p \forall p$ y $cov(\varepsilon_p, \varepsilon_q) = 0, p \neq q \forall p, q$. Esto implica que los términos de error tienen media cero, covarianza nula. La varianza es distinta para cada término, puesto que corresponde a la varianza residual del indicador respectivo.
- iii) $cov(\varepsilon_p, \eta_l) = 0 \forall p, m$, o bien, los términos de error no están correlacionados con los factores.

En virtud de (ii) y (iii), el cálculo de la varianza del indicador y_p a partir de la ecuación (E.1) conduce a:

$$var(y_p) = \sum_{m=1}^M \gamma_{lp}^2 + \psi_p \quad (E.2)$$

En esta expresión, la sumatoria $\sum_{m=1}^M \gamma_{lp}^2 = h_p^2$ representa la varianza común del indicador p o *comunalidad* mientras que ψ_p corresponde a la varianza específica del indicador, que no es explicada por los factores establecidos.

En términos matriciales, la expresión de la ecuación (E.2) puede escribirse como:

$$Y = \mu + \Lambda \Gamma + \xi \quad (E.3)$$

Donde Y y μ son vectores de dimensiones $p \times 1$, asociados a los indicadores de percepción, $\Gamma = [\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_M]^T$ es el vector $l \times 1$ de los factores, $\xi = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p]^T$ es el vector $p \times 1$ de errores de la estimación, y Λ es una matriz de $p \times l$ que contiene las

cargas factoriales. Por otro lado, las restricciones impuestas en (i), (ii) y (iii) se traducen en:

$$\text{cov}(\xi) = \Psi = \text{diag}(\psi_{11}, \psi_{22}, \dots, \psi_{pp}) \quad (\text{E.4})$$

$$\text{cov}(\Gamma) = I_m \quad (\text{E.5})$$

Utilizando estas definiciones, la matriz de covarianza de los indicadores de percepción, Σ puede escribirse como:

$$\begin{aligned} \Sigma = \text{cov}(Y) &= \text{cov}(\Lambda\Gamma + \xi) = \text{cov}(\Lambda\Gamma) + \text{cov}(\xi) \\ &= \Lambda \cdot \text{cov}(\Gamma) \cdot \Lambda^T + \text{cov}(\xi) = \Lambda\Lambda^T + \Psi \end{aligned} \quad (\text{E.6})$$

La estimación del análisis factorial busca obtener los factores Γ y la matriz de cargas Λ que se ajusten de mejor forma a las respuestas del cuestionario de indicadores obtenido en la muestra. A partir de este análisis es posible postular una estructura de factores que explican apropiadamente las variaciones en los datos, y el nivel de correlación entre los indicadores de percepción y estos factores. La estimación se realiza a través de varios métodos, los más utilizados corresponden al método de máxima verosimilitud y al método de componentes principales (Johansen, 2013).

El resultado de aplicar este método a un conjunto de datos requiere de interpretación y toma de decisiones por parte del modelador, especialmente en términos de número de factores a extraer, y rotaciones a aplicar para mejorar la interpretación de los resultados. Para mayores detalles respecto a este método de análisis puede consultarse Basilevsky (1994).

Si se requiere verificar la validez estadística de alguna estructura de correlación entre factores e indicadores (por ejemplo, la que se postuló originalmente o la que surge del análisis factorial exploratorio), puede utilizarse la técnica del *análisis factorial confirmatorio* (AFC), que pertenece a la familia de modelos conocida como *modelos de ecuaciones estructurales* (SEM por sus siglas en inglés; véase Loehlin, 2004 para mayores detalles). En este caso se postula una estructura factorial teórica o empírica,

conocida *a priori*, y se asume que los indicadores de percepción se asocian a los factores de manera análoga a lo visto en la ecuación (E.3).

En el AFC, el término de error ε_p cumple con las restricciones impuestas previamente; no obstante, se permite que los factores estén correlacionados entre sí, de modo que tanto el vector de factores como el de términos de error tienen medias cero y las siguientes matrices de covarianza:

$$cov(\xi) = \Psi = diag(\psi_{11}, \psi_{22}, \dots, \psi_{pp}) \quad (E.7)$$

$$cov(\Gamma) = \Phi = \begin{pmatrix} \theta_{11} & \dots & \theta_{1m} \\ \dots & & \dots \\ \theta_{1m} & & \theta_{mm} \end{pmatrix} \quad (E.8)$$

La matriz de covarianza del modelo se define entonces, de manera análoga a la ecuación (E.3). Ahora la expresión (E.6) es:

$$\Sigma = \Lambda \cdot cov(F) \cdot \Lambda^T + cov(\xi) = \Lambda \cdot \Phi \cdot \Lambda^T + \Psi \quad (E.9)$$

Para que este modelo pueda estimarse, es importante notar que la matriz Σ contiene $\frac{p(p+1)}{2}$ elementos distintos, y que se está expresando en función de $lp + \frac{l(l+1)}{2} + p$ elementos distintos (en la suma de las matrices) por lo que una condición necesaria para que los modelos sean estimables es que se cumpla que:

$$\frac{p(p+1)}{2} \geq lp + lp + \frac{l(l+1)}{2} + p \quad (E.10)$$

La estimación del modelo estructural de análisis factorial confirmatorio se basa en la minimización de la diferencia entre la matriz Σ (expresada como en E.6), y la matriz de correlaciones observadas, S . Para mayor información sobre los métodos de estimación, la interpretación de los resultados del modelo y sus indicadores de ajuste puede consultarse Loehlin (2004).

ANEXO F: CALCULO DE ELASTICIDADES AGREGADAS

Tal como se describe en Ortúzar (2000), la elasticidad directa puntual de la probabilidad de elección de la alternativa i con respecto a un atributo X_{ik} está definida por:

$$E_{X_{ik}}^{P_{iq}} = \frac{\partial P_{iq}}{\partial X_{ik}} \cdot \frac{X_{ik}}{P_{iq}} \quad (\text{F.1})$$

Es posible demostrar que, en el caso de una especificación tipo MNL, la expresión anterior conduce a:

$$E_{X_{ik}}^{P_{iq}} = \theta_{ik} \cdot X_{ik} \cdot (1 - P_{iq}) \quad (\text{F.2})$$

Por otra parte, en Koppelman y Bhat (2006) se demuestra que la elasticidad en el caso de un modelo NL corresponde a:

$$E_{X_{ik}}^{P_{iq}} = \theta_{ik} \cdot X_{ik} \cdot \left\{ (1 - P_{iq}) + \left(\frac{1 - \phi_N}{\phi_N} \right) \cdot (1 - P_{iq|N}) \right\} \quad (\text{F.3})$$

Donde ϕ_N es el parámetro del nido al que pertenece la alternativa en estudio, y $P_{iq|N}$ es la probabilidad condicionada de elección de la alternativa i al interior del nido N . Es claro que la expresión (F.3) se reduce a (F.2) en el caso de las alternativas no anidadas, ya que $\phi_N = 1$.

Para encontrar elasticidades agregadas no corresponde utilizar los promedios de los atributos X_{ik} o de las probabilidades P_{iq} , ya que esto induciría errores de agregación. Lo que se realiza es evaluar las ecuaciones para cada individuo y luego agregar, ponderando cada elasticidad por la probabilidad de elección de cada individuo, en un procedimiento denominado *enumeración muestral*. Este procedimiento da como resultado la siguiente expresión:

$$E_{X_{ik}}^{\overline{P_{iq}}} = \frac{\sum_{q=1}^Q \hat{P}_{iq} \cdot E_{X_{ik}}^{P_{iq}}}{\sum_{q=1}^Q \hat{P}_{iq}} \quad (\text{F.4})$$

En esta ecuación, \hat{P}_{iq} corresponde a la probabilidad estimada de elección de la alternativa i para el individuo q . La expresión anterior requiere un ajuste para el caso en que la muestra esté corregida según factores de expansión y corrección, como sucede en el escenario en estudio. Si esto sucede, entonces la expresión anterior se transforma en:

$$E_{X_{iqk}}^{\overline{P_{iq}}} = \frac{\sum_{q=1}^Q w_q \cdot \hat{P}_{iq} \cdot E_{X_{iqk}}^{P_{iq}}}{\sum_{q=1}^Q w_q \cdot \hat{P}_{iq}} \quad (\text{F.5})$$

Donde w_q es el factor de expansión y corrección de la observación (individuo q). En el caso de las elasticidades reportadas en el capítulo 6.4, éstas fueron reportadas a nivel de nido, de modo que se entregan para las alternativas de taxi colectivo, bus (incluyendo bus-metro) y el resto de las alternativas (Metro y Metro-bus) de manera separada.

ANEXO G: MODELO DE IMPUTACION DE INGRESOS

Considerando que sólo un 67% de la muestra respondió la pregunta de ingreso individual en la encuesta aplicada, y que esta variable es requerida para cada encuestado, dada la especificación escogida para la variable tarifa (*TAR / TS*), fue necesario estimar un modelo de predicción de ingreso individual en función de características socioeconómicas de la muestra.

Para estos propósitos, se utilizó un modelo de regresión lineal simple, empleando como variable dependiente el logaritmo del ingreso declarado en la encuesta. Se hace notar que, en rigor, el encuestado declaró un intervalo posible para su ingreso personal, por lo que el valor utilizado para la modelación fue el valor medio del intervalo. La transformación logarítmica del ingreso es un procedimiento usual para la reducción de la varianza de la variable, lo que permite obtener mejores estimadores en la modelación (ver, por ejemplo, Medina y Galván, 2007).

Las variables explicativas incluidas en el modelo correspondieron a: *EDAD* (en años), *EDAD*², *SEXO* (como una *dummy* que vale 1 si el encuestado es hombre y 0 en otro caso), el número de vehículos en el hogar (*NAUTO*), variables *dummy* para el nivel de enseñanza alcanzado por el usuario (*MEDIA*, *TECNICA* y *UNIVERSITARIA*, utilizando *BASICA* como el nivel de comparación para las otras tres variables), y variables *dummy* para indicar el estado ocupacional: *ESTUDIA* = 1 si el encuestado se encuentra estudiando y *TRABAJA* = 1 si el encuestado está trabajando en la actualidad. Se hace notar que 35 encuestados declararon estar trabajando y estudiando a la vez.

Los resultados del modelo de regresión estimado con esta especificación y variables explicativas, se presentan en la Tabla G-1. Se observa que el ajuste global del modelo es adecuado (R^2 ajustado = 0,723) y que las variables más relevantes en la explicación del ingreso corresponden a la edad (hasta un máximo de 65 años, a partir del cual el ingreso comienza a disminuir), el sexo (los hombres perciben, en promedio, un ingreso superior

a las mujeres), la categoría ocupacional y el nivel educacional de los encuestados, especialmente si recibieron enseñanza técnica y universitaria.

Tabla G-1. Modelo de regresión lineal para imputación de ingresos

<i>Variables explicativas</i>		
Variable	Coefficiente	Test-T
Constante	0,823	0,8
Edad	0,187	-2,3
Edad ²	-0,001	5,5
Sexo (Hombre = 1)	1,245	0,1
N° de vehículos en el hogar	0,017	0,1
Enseñanza media	0,192	5,5
Enseñanza técnica	1,049	2,3
Enseñanza universitaria	1,458	3,0
Estudia	-2,383	-6,3
Trabaja	6,178	18,7
<i>Ajuste global del modelo</i>		
Índice R ²	0,730	
Índice R ² ajustado	0,723	

Este modelo se utilizó en modalidad predictiva para imputar un ingreso a aquellos encuestados que no lo declararon. Los valores imputados fueron utilizados en los distintos modelos que se reportan como parte de este trabajo.