



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**VALORACIÓN DE UN ASIENTO DE BUS USANDO DATOS MIXTOS DE
PREFERENCIAS REVELADAS Y DECLARADAS**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MENCIÓN TRANSPORTE**

KIMBERLY EMILI MONTENEGRO CERA

**PROFESOR GUÍA:
CRISTIAN ANGELO GUEVARA CUE**

**PROFESOR CO-GUÍA:
ALEJANDRO ANDRÉS TIRACHINI HERNÁNDEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARCELA ADRIANA MUNIZAGA MUÑOZ
RODRIGO EDUARDO FERNÁNDEZ AGUILERA**

**SANTIAGO DE CHILE
2020**

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN TRANSPORTE

POR: KIMBERLY EMILI MONTENEGRO CERA

FECHA: /2020

PROF. GUÍAS: SRES. CRISTIAN GUEVARA CUE Y ALEJANDRO TIRACHINI HERNÁNDEZ

VALORACIÓN DE UN ASIENTO DE BUS USANDO DATOS MIXTOS DE PREFERENCIAS REVELADAS Y DECLARADAS

En los últimos años se ha reconocido el papel de la comodidad para comprender las elecciones de rutas y modos de transporte. Este factor es tan importante para algunos viajeros que los lleva a tomar decisiones que no podrían ser entendidas si sólo se toman en cuenta el tiempo de viaje y el costo de la alternativa, como el esperar un tiempo adicional en un paradero con el fin de obtener un asiento. Esta tesis centra sus esfuerzos en obtener el valor por un asiento de bus en el transporte público.

La mayoría de las investigaciones a nivel internacional que han permitido cuantificar esta valoración se basan en datos de preferencias declaradas (PD), los cuales inevitablemente están sujetos a sesgos que limitan la validez de los resultados obtenidos. Por otro lado, los pocos trabajos que han logrado usar datos de preferencias reveladas (PR) lo han hecho mediante el procesamiento de datos pasivos, lo que impide tanto caracterización de los individuos como la identificación por separado del tiempo de espera en el paradero y el tiempo de viaje en vehículo.

Para subsanar estas limitaciones, esta tesis desarrolla una metodología que permite cuantificar la valoración por un asiento de bus integrando datos mixtos PR-PD. Los datos PR son obtenidos gracias al comportamiento observado de los viajeros en un paradero de Santiago de Chile los cuales la posibilidad de esperar un tiempo adicional con el fin de asegurar un asiento en el viaje. Los datos PD provienen de una encuesta aplicada a los mismos individuos que incluye variables socioeconómicas y un escenario de elección PD. Los resultados de esta tesis muestran que, en promedio, la penalidad del tiempo de viaje de pie es un 30% mayor que el tiempo de viaje sentado y que este valor es un 27% mayor para los viajes largos, un 22% mayor para los viajeros entre los 35 y 64 años y un 15% menor para aquellos que poseen una licencia de conducir y al menos un automóvil.

Dadas sus características este corresponde al primer estudio que integra datos mixtos para obtener el valor por un asiento de transporte público. Los indicadores obtenidos permiten calcular el beneficio social de aumentar la capacidad de asientos en los sistemas de transporte público y orientar su diseño físico u operacional.

AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero dar gracias al creador del universo por siempre darme motivos para agradecer todos los días y tener la oportunidad de llegar a este momento.

Agradezco a mi familia, por su inmenso amor, apoyo incondicional y por siempre recordarme lo que verdaderamente importa. A mis padres, Moshe y Yojeved, por sus grandes principios y su sabiduría que me han guiado durante toda mi vida. A mi hermana Amy por ser una fuente de alegría y motivación que me inspira a ser mejor cada día y a mi hermano David por todos sus consejos y por permitirme ser tía de cuatro maravillosas niñas: Shlomit, Jaya, Hadar y Tohar.

Quiero darle las gracias a Felipe por su compañía, su amor y por nunca olvidar sacarme una sonrisa todos los días. A Andrea por su amistad sincera y por ser luz.

Gracias a mis profesores guía, Ángelo Guevara y Alejandro Tirachini, por todo el gran conocimiento, las ideas y el tiempo aportado en esta investigación, sin ustedes el desarrollo de esta tesis no hubiese sido posible. Asimismo, doy gracias por todo el acompañamiento y la calidad humana entregada, por la paciencia, la comprensión y el apoyo durante todo el proceso. Quiero agradecer al cuerpo docente de la división de Transporte por la excelente educación recibida en los cursos del magíster.

Durante mi estadía en la división de Transporte tuve el honor de conocer a personas extraordinarias que hicieron que mi experiencia en el magíster, más allá de la academia, sea una estancia agradable y de crecimiento personal. Quiero agradecer a Esteban, Nicolás y Alisson por toda la motivación y el apoyo. A Herl y Zuñiga, por sus conocimientos y buena energía para la oficina 521. A Jacque, Mónica, Raúl, los Villalobos, Monse, Isa, Candia, Vielma, Soto, Feña, Bastián, André y a los que hacen falta en la enorme lista. Por los almuerzos en el 5to piso, los eventos deportivos, las tardes de taca-taca, las noches de pizza, juegos de mesa y karaokes.

Por todos los buenos momentos que siempre llevare conmigo y por los malos momentos, que me dejaron grandes lecciones.

Finalmente, quiero agradecer a las personas que no he mencionado y que estuvieron pendientes de mí, y me gustaría hacer una mención especial a mis colegas de Pachanga, ¡una magíster más para el grupo! y a los infaltables, los de siempre, mis amigos de la Tribu, los llevo en mi <3.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Motivación.....	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.2.1.	Objetivo General	3
1.2.2.	Objetivos Específicos	3
1.3.	Estructura de la tesis	4
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1.	Introducción	5
2.2.	Generalidades.....	5
2.2.1.	El valor de un asiento en el transporte público	5
2.2.2.	Cómo medir el valor por un asiento	6
2.3.	Modelamiento mediante elecciones discretas	7
2.3.1.	Maximización de la utilidad aleatoria	7
2.3.2.	Modelo logit multinomial	8
2.3.3.	Fuentes de datos	9
2.3.4.	Estimación por máxima verosimilitud	9
2.3.5.	Pruebas estadísticas	10
2.4.	Hacinamiento en el transporte público.....	11
2.4.1.	El hacinamiento en el transporte público.....	11
2.4.2.	Cómo medir el hacinamiento	12
2.4.3.	Multiplicador de tiempo de viaje	12
2.5.	Estudios de valoración por un asiento	14
2.5.1.	Estudios de preferencias reveladas	14
2.5.2.	Estudios de preferencias declaradas	18
2.5.3.	Estudios de datos mixtos	19
2.6.	Conclusiones	21
3.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
3.1.	Introducción	22
3.2.	Contexto de elección.....	22
3.3.	Fuentes de Información.....	23
3.3.1.	Encuestas a usuarios	23
3.3.2.	Grabaciones por cámara	23
3.3.3.	Mediciones del tiempo de espera	25
3.4.	Ciclo experimental.....	25
3.5.	Diseño de encuesta de preferencias declaradas	26
3.6.	Encuestas a usuarios.....	31
3.7.	Conclusiones	32

4.	APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO	33
4.1.	Introducción	33
4.2.	Selección del paradero.....	33
4.3.	Encuesta PD	34
4.3.1.	Introducción.....	34
4.3.2.	Contexto de decisión	35
4.3.3.	Alternativas	35
4.3.4.	Varianza.....	35
4.3.5.	Simulación.....	36
4.4.	Prueba en terreno	39
4.5.	Experimento PR-PD	40
4.6.	Conclusiones	42
5.	DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS	43
5.1.	Introducción	43
5.2.	Características principales	43
5.2.1.	Tiempo de espera en paradero	45
5.2.2.	Tiempo de viaje en el vehículo.....	46
5.2.3.	Edad y Género	47
5.2.4.	Ingreso per cápita	48
5.2.5.	Licencia de conducir y número de autos en el hogar.....	51
5.2.6.	Motivación por la alternativa elegida	52
5.2.7.	Encuesta PD	54
5.3.	Conclusiones	55
6.	MODELACIÓN	57
6.1.	Introducción	57
6.2.	Alternativas del modelo de elección.....	57
6.3.	Variables explicativas del modelo de elección	58
6.3.1.	Tiempo de espera	58
6.3.2.	Tiempo de viaje	62
6.3.3.	Distancia de viaje.....	63
6.3.4.	Edad.....	64
6.3.5.	Género.....	64
6.3.6.	Ingreso.....	64
6.3.7.	Posesión de automóvil y licencia de conducir.....	65
6.3.8.	Inercia.....	65
6.4.	Especificación de las funciones de utilidad.....	67
6.5.	Estimación del modelo de elección	68
6.5.1.	Modelo PD	69
6.5.2.	Modelo mixto.....	70
6.6.	Consideraciones de política.....	76

6.7.	Conclusiones	77
7.	CONCLUSIONES Y FUTURA INVESTIGACIÓN.....	78
7.1.	Conclusiones de la tesis	78
7.2.	Limitaciones de la tesis	80
7.3.	Línea futura de investigación	81
	Bibliografía	82
	Anexos	88
	Anexo 1: Manual del personal experimento PR-PD	88
	Anexo 2: Descripción de variables de la encuesta a usuarios.....	93
	Anexo 3: Conjunto de juegos de elección de la encuesta PD.....	95
	Anexo 4: Registro fotográfico experimento PR-PD.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen estudios PR que incluyen la valoración por un asiento.....	17
Tabla 2. Resumen de estudios PD que incluyen la valoración por un asiento.....	20
Tabla 3. Diseño factorial completo para la encuesta PD.	28
Tabla 4. Representación numérica del diseño factorial.....	29
Tabla 5. Efectos en el diseño factorial completo	29
Tabla 6. Diseño factorial fraccionado en dos bloques.	30
Tabla 7. Diseño de juegos de elección del bloque A.	30
Tabla 8. Diseño de juegos de elección del bloque B.	31
Tabla 9. Tipo de encuesta PD para cada encuestador.	36
Tabla 10. Propiedades de las variables PR simuladas de los individuos.....	37
Tabla 11. Valores de los parámetros en la simulación.....	38
Tabla 12. Encuesta de usuarios PR-PD en la fila de parados.....	41
Tabla 13. Encuesta de usuarios PR-PD en la fila de sentados.	41
Tabla 14. Demanda de pasajeros y oferta de buses durante experimento.	42
Tabla 15. Características principales de los experimentos.....	43
Tabla 16. Estadísticas descriptivas de los experimentos.	45
Tabla 17. Promedio de ingresos del hogar por comuna.....	50
Tabla 18. Caracterización de viajeros según posesión de autos en el hogar y licencia de conducir.	52
Tabla 19. Estadísticas descriptivas de la encuesta PD.....	54
Tabla 20. Descripción de las alternativas del modelo de elección según fuente de datos.....	58
Tabla 21. Resumen de variables explicativas del modelo de elección.	66
Tabla 22. Resultados estimación del modelo PD.....	69
Tabla 23. Resultados de la estimación de prueba de modelo mixto.....	71
Tabla 24. Resultado de estimación de modelos mixtos.....	72
Tabla 25. Manual de funciones del encuestador.....	88
Tabla 26. Manual de funciones del recolector.	89
Tabla 27. Manual de funciones del Auxiliar de recolección.....	90
Tabla 28. Manual de funciones del camarógrafo.	91
Tabla 29. Manual de funciones del supervisor.	92
Tabla 30. Anexo 1: Definición de variables de la encuesta PR-PD.	93
Tabla 31. Rango de edad encuesta a usuarios.....	94
Tabla 32. Grupos de ingreso encuesta a usuarios.....	94
Tabla 33. Conjunto de juegos de elección de la encuesta PD.	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración del comportamiento de espera del bus en el paradero PC-37 de la red de transporte público de Santiago.	16
Figura 2. Ejemplo de escenario de elección PD.	18
Figura 3. Diagrama de ingreso al bus en paraderos de dos filas.	24
Figura 4. Diagrama de ciclo del experimento.	27
Figura 5. Paraderos PC-37 en Providencia y PC-101 en Vitacura.	34
Figura 6. Ejemplo de juego de elección en encuesta PD.	36
Figura 7. Distribución de los parámetros obtenidos en simulación.	39
Figura 8. Fila de sentados, experimento PR-PD.	40
Figura 9. Distribuciones del tiempo de espera según experimento.	44
Figura 10. Tiempo adicional en el paradero de los viajeros de la fila de sentados.	46
Figura 11. Tiempo de espera adicional por un asiento de los viajeros en función de su tiempo de viaje.	47
Figura 12. Pirámide de proporción poblacional INE vs Experimentos.	48
Figura 13. Comparación de ingreso por persona por segmentos CASEN 2015.	49
Figura 14. Variación del ingreso per cápita de los viajeros con respecto al tiempo de viaje.	51
Figura 15. Nube de palabras de motivación de los pasajeros por viajar sentados.	53
Figura 16. Nube de palabras de motivación de los pasajeros por viajar de pie.	53
Figura 17. Diagrama de la metodología de imputación del tiempo de espera para datos PR.	61
Figura 18. Valores de SM según grupo socioeconómico.	74
Figura 19. Encuestas en fila de sentados.	98
Figura 20. Pasajera entregando tarjeta foliada al recolector.	98
Figura 21. Extensión de fila de sentados y cola de cuatro buses en el paradero.	98

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

La comodidad de viaje es uno de los factores que definen la calidad de servicio de los sistemas de transporte público y que repercuten directamente en la decisión de viaje de los usuarios, sobre todo cuando más de una alternativa de elección está disponible. Si las condiciones de viaje son favorables (tiempos de viaje, limpieza, seguridad, comodidad, etc.) el costo generalizado del tiempo de viaje en el transporte público puede llegar a ser menor que el auto, debido a que los pasajeros experimentan, entre muchos beneficios, niveles bajos de estrés y pueden usar el tiempo de viaje productivamente en actividades como: descansar, trabajar y socializar (Wardman, 2014). Sin embargo, si las condiciones de viaje en transporte público no son favorables las unidades de tiempo de viaje suelen ser mayores que las del automóvil, lo que inevitablemente incentiva a los viajeros a preferir este modo de transporte.

La importancia de viajar cómodo en el transporte público ha sido tema de investigación alrededor del mundo. Por ejemplo, un estudio realizado por *International Bus Benchmarking Group* (IBBG) en 10 ciudades distintas mostró que del 25 al 42% de los encuestados seleccionaron a la comodidad del viaje como una de las tres áreas de mayor prioridad en el transporte público (Trompet, et al., 2013). De igual manera una investigación realizada en Londres a los pasajeros de bus colocó el disponer de un asiento como uno de los tres atributos más importantes de mejora en el servicio (Passenger Focus, 2010). Si bien se reconoce públicamente su importancia, la comodidad del viaje no suele ser considerada al momento de establecer políticas para mejorar el diseño de sistemas de transporte público.

En las principales ciudades de Latinoamérica, la proporción de viajes en transporte público es mayor que en economías avanzadas, sin embargo, la calidad del servicio obtiene los peores indicadores en factores como tiempos de viaje, tarifas cobradas, comodidad y limpieza (Rivas, et al., 2019). E incluso, algunos gobiernos dan preferencia a establecer políticas dirigidas a incentivar la compra de vehículos motorizados (Corporación Interamericana de Inversiones, 2019). Santiago es la capital y principal núcleo urbano de Chile, es una de las metrópolis más importantes de Sudamérica y alberga aproximadamente el 40% de la población del país. El sistema integrado de transporte público de la ciudad, Red Metropolitana de Movilidad (desde ahora Red) genera más de 3 millones de viajes promedio diarios y

cuenta con una red extensa que incluye 7 líneas de metro y una flota de más de 6700 buses (Directorio de Transporte Público Metropolitano, 2018).

Red fue lanzada en 2007 bajo el nombre de Transantiago (hasta marzo de 2019), si bien el diseño de la red tuvo en cuenta restricciones de capacidad en el aumento del tiempo de espera de los pasajeros, no consideró factores de calidad de servicio como la densidad de pasajeros (Tirachini, et al., 2017). En este sentido, la función de costos implementada otorgó el mismo peso a un minuto de viaje sentado en un bus con densidad de un pasajero por metro cuadrado a un minuto viajando de pie en un bus en condiciones muy hacinadas. Adicionalmente, la implementación del Transantiago incluyó la integración de las tarifas de bus y metro, este último se volvió más asequible para el público generando un aumento súbito en la cantidad de pasajeros diarios de la red hasta alcanzar en poco tiempo un hacinamiento en trenes de hasta 6 pasajeros por metro cuadrado.

En este contexto, no es de extrañar que la comodidad haya sido el factor peor evaluado del Transantiago luego de su lanzamiento (Yáñez, et al., 2010). Las condiciones de calidad de servicio incentivaron a los viajeros buscar otros modos, rutas o mecanismos que les permitían mejorar su experiencia de viaje. Entre los mecanismos observados se encuentra la elección de algunos viajeros de rutas alternativas con tiempos de viaje más largos o el dejan pasar voluntariamente uno o más trenes en el metro, esto con el fin de obtener un viaje en condiciones menos hacinadas y/o el disponer de un asiento. Otro ejemplo particular es el sistema de espera en dos filas de algunos paraderos del Transantiago en la hora punta: una vez el usuario llega al paradero puede elegir entre una fila que permite asegurar un asiento en el viaje a cambio de esperar un tiempo adicional en el paradero o una fila que le permite ingresar al bus inmediatamente su llegada a cambio debe viajar de pie.

Los comportamientos observados por los usuarios de transporte público en la ciudad de Santiago dan hincapié a la importancia que los mismos dan a factores como el disponer de un asiento de viaje. Esto a su vez coincide con las preferencias de los viajeros en las encuestas realizadas por el DTPM y reportadas en su informe de gestión del 2018, en donde la cantidad de asientos fue seleccionada entre las principales debilidades de los nuevos buses eléctricos y los resultados de algunas investigaciones realizadas en la ciudad. Un ejemplo es el modelo de Raveau et al. (2011) en donde el disponer de un asiento resultó ser una variable influyente en la elección de rutas de los usuarios.

Por su parte, Castillo y Guevara (2019) desarrollaron una propuesta metodológica que mide la valoración por un asiento de usuarios de bus mediante la aplicación de tres experimentos en el paradero PC-37 del Transantiago, en dicho paradero se presenta el fenómeno antes descrito del mecanismo de dos filas. Los autores mostraron que el valor del tiempo de viaje de pie de los usuarios de dicho paradero es percibido como un 31% más negativo que el tiempo de viaje sentado. Si bien el resultado permite validar la metodología propuesta, al ser obtenido mediante datos observados impidió la identificación por separado del tiempo de espera de la persona en el paradero de su tiempo de viaje en vehículo.

En vista de la importancia de disponer de un asiento para los viajeros de la ciudad de Santiago, esta investigación propone y aplica una nueva metodología para cuantificar la valoración por un asiento de bus de usuarios de transporte público usando datos mixtos PR-PD, lo que permite subsanar las limitaciones de Castillo y Guevara (2019) y a su vez incorpora características socioeconómicas de los individuos, una adición novedosa a los modelos de este estilo presentes en la literatura y que se ha demostrado tener un gran impacto en los resultados al modelar atributos de calidad de servicio. Los resultados de esta investigación sirven de apoyo en el análisis costo-beneficio de intervenciones políticas dirigidas generar soluciones que permitan mejorar la calidad de servicio ofrecido como el aumentar la capacidad de asientos disponibles en el diseño de sistemas de transporte público.

1.2. Objetivos

Esta tesis se desarrolla bajo un objetivo general y tres objetivos específicos especificados a continuación:

1.2.1. Objetivo General

Determinar la valoración por un asiento en el viaje de los usuarios de transporte público mediante el desarrollo de una metodología práctica y replicable que incluye la recolección de datos mixtos PR-PD y la estimación de un modelo híbrido de elección discreta.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Solventar las limitaciones de la metodología de Castillo y Guevara (2019) a través de la elaboración de una encuesta y toma de datos PD.

- Integrar características socioeconómicas de los individuos a la valoración por un asiento mediante el desarrollo de un modelo híbrido de elección discreta logit.
- Sugerir políticas de transporte sobre el rediseño de líneas de buses a partir de los resultados de esta investigación.

1.3. Estructura de la tesis

El resto del documento está organizado de la siguiente manera:

- En el capítulo 2, se revisa la literatura sobre la valoración de los usuarios por un asiento en el transporte público haciendo énfasis en el modo bus y el valor del tiempo de viaje en vehículo de los viajeros.
- El capítulo 3 consiste en el diseño experimental, este incluye la propuesta en terreno y el diseño de la encuesta a usuarios PR-PD.
- Luego, el registro del experimento mixto PR-PD aplicado en el paradero PC-37 de la ciudad de Santiago es detallado en el capítulo 4.
- El capítulo 5 contiene el análisis descriptivo de los datos obtenidos en los experimentos de Castillo y Guevara (2019), en conjunto con los de un experimento PR adicional y un experimento mixto PR-PD.
- En el capítulo 6, se especifica y se estiman los parámetros del modelo de elección, los resultados obtenidos son analizados y comparados con los resultados de la literatura internacional disponible.
- Finalmente, las conclusiones, limitaciones y línea futura investigación son discutidas en el capítulo 7.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introducción

Este capítulo abarca las temáticas requeridas en esta investigación para orientar el desarrollo de una metodología que permita estimar la valoración de los viajeros por un asiento de transporte público. En la primera parte se presentan algunas consideraciones de carácter general y las principales metodologías utilizadas para medir este valor. Más adelante, se revisa la literatura de modelos de elecciones discretas, con su principal modelo el logit multinomial, las fuentes de datos y estimación por máxima verosimilitud. Luego, se trata la penalidad del hacinamiento en el transporte público y su relación con el tema de investigación. Finalmente, se mencionan algunos de los estudios nacionales e internacionales disponibles y sus limitaciones.

2.2. Generalidades

2.2.1. El valor de un asiento en el transporte público

Dentro la experiencia de viaje de un usuario de transporte público, el transportarse de un lugar a otro de pie es usualmente menos cómodo que cuando se dispone de un asiento. Se ha demostrado que el viajero tiene un mayor gasto energético parado que sentado, debido a la energía necesaria para mantenerse de pie (Goodwin, 1976). Además, la frecuencia cardiaca es tres veces mayor que cuando se viaja sentado. La incomodidad de no disponer de un asiento en el transporte público durante el viaje incluye diversos efectos adicionales a la molestia física de estar parado, a continuación se enumeran algunos de estos:

1. El hacinamiento dentro del vehículo.
2. La sensación de inseguridad y de tener que estar alerta ante un robo o un accidente.
3. La disponibilidad de barandas y pasamanos para agarrarse, la posibilidad de apoyarse en alguna superficie, y la facilidad de encontrar los botones de parada (Kroes, et al., 2014).

4. Condiciones preexistentes de salud, el llevar carga encima como mochilas, bolsas de compra, etc., que impiden estar de pie por mucho tiempo, evitar acoso o sofocamiento (Castillo y Guevara, 2019).

Estos factores físicos y psicológicos afectan directamente en la sensación de bienestar de los usuarios de transporte público y en consecuencia, la elección de rutas y modos de viaje, haciendo más atractivo el uso del automóvil y otros modos alternativos al transporte público. En algunos casos, se han observado comportamientos en los viajeros que, si se ignoran elementos de comodidad, podrían ser clasificados como irracionales o contraintuitivos (Tirachini, et al., 2017) en busca de mejores condiciones de servicio. Éstos son algunos ejemplos que provee la literatura:

- Dejar pasar uno o más trenes en la estación, en busca de abordar un vagón en condiciones menos hacinadas (Whelan y Crockett, 2009).
- Viajar una o más estaciones en el sentido contrario a su destino para abordar un tren vacío o menos hacinado al inicio del viaje (Tirachini, et al., 2016).
- Esperar en una fila en el paradero de bus que permite disponer de un asiento al inicio del viaje (Castillo y Guevara, 2019).

También es común observar algunos pasajeros eligen viajar de pie aún con asientos disponibles, sea por un gusto similar a aquellos viajeros que prefieren caminar o un componente cultural de carácter casi universal de preferir ceder el asiento a las personas mayores, mujeres embarazadas y personas con alguna discapacidad, entre otros. Wardman y Whelan (2011) describen este comportamiento como un indicador de fuertes variaciones en la valoración de disponer de un asiento y que puede influir en el valor promedio.

2.2.2. Cómo medir el valor por un asiento

Numerosas metodologías han sido desarrolladas para medir la valoración de los usuarios del tiempo de pie en el transporte público. El método más comúnmente utilizado consiste en medir o estimar el tiempo en que el usuario viaja de pie en el transporte público como una forma de tiempo de viaje diferente al de viajar sentado, de manera similar a la práctica común utilizada en planificación de transporte para el tiempo de espera, el tiempo de acceso y el hacinamiento.

Se considera que los ahorros en tiempo de espera y tiempo de acceso tienen mayor importancia que los ahorros en tiempo de viaje. Las valoraciones basadas en el tiempo son más transferibles que aquellas basadas en dinero a través de diferentes contextos, incluyendo países (Wardman y Whelan, 2011). Asimismo, se ha estimado que el valor del tiempo al viajar de pie de los usuarios del metro de París es un 10% mayor que el de los usuarios que disponen de un asiento (Kroes, et al., 2014), mientras que para los usuarios del metro de Singapur, la penalidad por viajar de pie es de hasta un 24% (Tirachini, et al., 2016).

2.3. Modelamiento mediante elecciones discretas

2.3.1. Maximización de la utilidad aleatoria

Los modelos de elecciones discretas son ampliamente utilizados en el área de planificación de transporte para representar las elecciones individuales de las rutas y modos de transporte. El enfoque más comúnmente aceptado hoy en día se basa en el supuesto que el individuo elige entre un conjunto de alternativas disponibles $\mathbf{C} = \{C_1, \dots, C_i, \dots, C_N\}$, aquella que le genere la mayor satisfacción, mediante el principio de maximización de utilidad (Manski, 1977). En él, los aspectos sistemáticos del comportamiento de elección son aproximados en funciones de utilidad parametrizadas en términos de un conjunto variables independientes observadas $x \in \mathbf{X}$ junto a parámetros desconocidos $\boldsymbol{\beta}$ estimados por la muestra de elecciones observadas (Ben-Akiva y Lerman, 1997).

Dado que resulta imposible especificar y estimar un modelo de elección discreta que siempre tendrá éxito en predecir las alternativas seleccionadas por lo individuos, las utilidades de las alternativas son consideradas variables aleatorias. De este modo, la utilidad de un individuo n (1) puede ser descompuesta en una componente sistemática (observada) $V_{i,n}$ y otra aleatoria (no observada) $\varepsilon_{i,n}$. Esta última representa la idiosincrasia y/o las preferencias de cada individuo además de errores en medición por parte del modelador (Ortuzar y Willumsem, 2011).

$$U_{i,n} = V_{i,n} + \varepsilon_{i,n} = \beta_n X_{i,n} + \varepsilon_{i,n} \quad (1)$$

La utilidad observada suele definirse como una combinación lineal donde las variables $X_{i,n}$ representan los atributos de las alternativas o del viajero y los parámetros β_n la influencia relativa de cada atributo. En la práctica se suele asignar a unos de los X una variable binaria que identifique a una alternativa y el parámetro de dicha variable corresponde a la constante específica de la

alternativa, este parámetro se puede interpretar como la influencia neta de los atributos no observados en la función de utilidad. El individuo n elegirá la alternativa i que le proporcione la mayor utilidad del conjunto C_n , es decir, $U_{i,n} \geq U_{j,n}, \forall j \in C_n$ usando la ecuación 1 la probabilidad de elegir la alternativa i está dada por la ecuación 2. Al desconocerse la distribución de los errores, los supuestos sobre la distribución conjunta $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_J)$ resultan en diferentes modelos.

$$P(i/C_n) = P\{\varepsilon_{j,n} - \varepsilon_{i,n} \leq V_{i,n} - V_{j,n}, \forall j \in C_n\} \quad (2)$$

2.3.2. Modelo logit multinomial

En los años 70, McFadden (1973) presenta su modelo logit condicional. El modelo logit multinomial es el más conocido y utilizado mundialmente dado que permite una fácil interpretación de las probabilidades de elección en términos de las utilidades representativas relativas de las alternativas y es relativamente sencillo de computar, este surge a partir del supuesto de que los errores que son independientes e idénticamente distribuidos (IID) y siguen una distribución Gumbel, para esto las alternativas deben ser independientes entre sí e implica la siguiente matriz de covarianza (Ecuación (4)).

$$\Sigma = \begin{bmatrix} Var(\varepsilon) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Var(\varepsilon) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & Var(\varepsilon) \end{bmatrix} \quad (3)$$

La función probabilidad del modelo logit (Ecuación (4)) es una expresión cerrada. El factor de escala μ está relacionado a la varianza del error mediante la expresión $\mu^2 = \frac{\pi^2}{6Var(\varepsilon)}$, este factor no suele ser identificable con una muestra única de individuos y en la práctica se normaliza a uno (1).

$$P(i/C_n) = \frac{e^{\mu V_{i,n}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu V_{j,n}}} \quad (4)$$

2.3.3. Fuentes de datos

Una manera de recolectar la información que alimentará el modelo de elección es mediante la observación de las elecciones del viajero, este enfoque es conocido como “preferencias reveladas” (PR), esto corresponde a una ventaja en la modelación, dado que se apoya en el comportamiento real de los viajeros. Sin embargo, se enfrenta a limitaciones prácticas asociadas al costo de la recolección de datos, la incapacidad de analizar la demanda de alternativas no existentes en el mercado (González, et al., 2012) y la dificultad de distinguir efectos de atributos que no son fáciles de observar (Ortuzar y Willumsem, 2011), como la comodidad del servicio. En estos casos es necesario recurrir a otras técnicas que permitan obtener las preferencias de los individuos.

Las preferencias declaradas (PD) son un conjunto de técnicas que basan su estimación en el análisis de las respuestas de los individuos frente a escenarios hipotéticos contruados por los investigadores en un diseño experimental, las PD permiten comprender una mayor gama de atributos e introducir nuevas alternativas de elección. La desventaja de este enfoque se debe a que pueden existir predisposiciones y percepciones de los encuestados que pueden distorsionar la información obtenida y generar sesgos que conlleve a errores en la modelación. Tales diferencias pueden ser particularmente importantes en la predicción, donde la cantidad de variación de la elección declarada con el comportamiento real que no puede ser explicado por los modelos PD se vuelve crítica (Bradley y Daly, 1991).

Se ha encontrado que, en la mayoría de los casos, la integración de ambos enfoques en la estimación de modelos de elección discreta atrae grandes beneficios, puesto que se entrega a los resultados de la investigación una base fundamentada en el comportamiento real, mientras explota la eficiencia del uso de técnicas PD (Wardman y Whelan, 2011). La información que provienen de datos PR y PD tienen naturalezas diferentes, por lo que en la práctica se utilizan distintos factores de escala para cada probabilidad de elección (Ben-Akiva y Morikawa, 1990), para esto se sigue el supuesto que los parámetros de gusto de ambas fuentes de datos son iguales.

2.3.4. Estimación por máxima verosimilitud

Una vez especificado el modelo de elección y haber recolectado los datos, se puede dar paso a la estimación de los parámetros de la función de utilidad. La estimación por máxima verosimilitud es el método más general y sencillo,

corresponde al valor de los parámetros con mayor probabilidad de ocurrencia para la muestra observada (Ben-Akiva y Lerman, 1997). Asumiendo que las observaciones son independientes, la verosimilitud de una muestra se puede escribir en función de los parámetros, como expresa la ecuación (5).

$$\mathcal{L}^*(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} P(i/C_n)^{y_{ni}} \quad (5)$$

Donde:

y_{ni} = variable binaria, si el individuo n elige la alternativa i toma el valor de 1, de lo contrario toma el valor de 0.

En general, el enfoque más comúnmente usado maximiza el logaritmo de \mathcal{L}^* (Ecuación (6)), la función debe satisfacer las condiciones de primer y segundo orden. Los estimadores de máxima verosimilitud obtenidos son consistentes, asintóticamente normales y eficientes, su varianza asintótica está dada por el límite de Cramér-Rao.

$$\max_{\beta} \log \mathcal{L}^*(\beta) = \max_{\beta} \mathcal{L}(\beta) = \max_{\beta} \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} y_{ni} \log P(i/C_n) \quad (6)$$

2.3.5. Pruebas estadísticas

En esta investigación se realizarán pruebas para determinar inferencias sobre los parámetros. La prueba t de Student (Ecuación (7)), es ampliamente utilizada y determina si la media de la distribución normal es igual a cierto valor dado cuando la varianza es estimada, lo que permitirá probar si el estimador del parámetro k es distinto a cero u otro valor particular.

$$H_0: \beta_k = \beta_0, \quad t_k = \frac{\hat{\beta}_k - \beta_k^0}{s_{\hat{\beta}_k}} \quad (7)$$

Donde:

H_0 = hipótesis nula.

$\hat{\beta}_k$ = estimador estimado del parámetro k .

$s_{\hat{\beta}_k}$ = desviación estándar de $\hat{\beta}_k$.

Por otro lado, la prueba de razón de verosimilitud (Ecuación (8)) compara las funciones de log-verosimilitud para los modelos restringidos ($\mathcal{L}_R(\hat{\beta})$) y no-restringidos ($\mathcal{L}_U(\hat{\beta})$) de interés. El estadístico es asintóticamente distribuido como χ^2 con g grados de libertad iguales al número de restricciones del modelo restringido.

$$-2 \left(\mathcal{L}_R(\hat{\beta}) - \mathcal{L}_U(\hat{\beta}) \right) \sim \chi_g^2 \quad (8)$$

Finalmente, el índice de razón de verosimilitud (Ecuación (9)) permite capturar la fracción de log-verosimilitud explicada por el modelo. En un modelo con constantes específicas por alternativa, ρ^2 debe estar entre 0 y 1.

$$\rho^2 = 1 - \frac{\mathcal{L}(\hat{\beta})}{\mathcal{L}(0)} \quad (9)$$

2.4. Hacinamiento en el transporte público

2.4.1. El hacinamiento en el transporte público

En el área de transporte público, el hacinamiento se refiere a la percepción subjetiva de los pasajeros frente al fenómeno de aglomeración de pasajeros en los vehículos, las estaciones, paradas y accesos (Tirachini, et al., 2013) y que es asociado con diversos efectos en la salud y el bienestar de los usuarios como el cansancio, el nivel de estrés y la seguridad personal. Es común encontrar altas densidades de pasajeros en grandes metrópolis y áreas urbanas, donde la demanda de pasajeros en los horarios punta de las principales rutas de transporte público puede alcanzar su capacidad de diseño máxima de seis (6) pasajeros por metro cuadrado e incluso sobrepasarla, como es el caso de los buses del Transmilenio en Bogotá y los trenes del metro de Sao Paulo, Hong Kong y Tokio se han observado densidades de ocho (8) y hasta diez (10) pasajeros por metro cuadrado, respectivamente (Metro de Bogotá, 2020).

El hacinamiento afecta directamente la operación de los servicios de transporte público, Tirachini, et al. (2013) ofrece un resumen de las múltiples dimensiones del hacinamiento en la demanda, la oferta y en la operación del transporte público, esta sección hará énfasis los efectos del hacinamiento en el valor de viajar sentado.

2.4.2. Cómo medir el hacinamiento

La medida tradicional utilizada para representar el hacinamiento en el transporte público es a través del factor de carga, que se define como el cociente entre el número de pasajeros en un vehículo y el número de asientos (Tirachini, et al., 2013). Otra medida consiste en el promedio de pasajeros a bordo de un vehículo sobre la capacidad máxima del vehículo, definida como la tasa de ocupación (Jara-Díaz y Gschwender, 2003). Sin embargo, en estas definiciones no consideran que distintos vehículos de transporte público pueden tener diferentes diseños interiores y cantidades de asientos (Wardman y Whelan, 2011), por lo que la percepción del hacinamiento en distintos modos de transporte público y vehículos de un mismo modo tendrán diferentes implicaciones a un factor de carga dado. Los últimos estudios han incorporado una mejor medida para representar las condiciones de hacinamiento en términos de la cantidad de pasajeros en un metro cuadrado o densidad de pasajeros, y la proporción de asientos ocupados.

Son numerosos los estudios que han medido el impacto del hacinamiento en la calidad del viaje de los usuarios. Mediante estos estudios se ha demostrado que el hacinamiento genera incomodidad tanto para los pasajeros que viajan de pie como para aquellos que viajan sentados (Accent Marketing and Research and Hague Consulting Group, 1997) aún antes de que se completen todos los asientos (Wardman, 2014), que la incomodidad por hacinamiento es mucho mayor para aquellos que viajan de pie (ver e.g., Douglas y Karpouzis, 2006; Whelan y Crockett, 2009; Walis, et al., 2013; Kroes, et al., 2014; De Palma, et al., 2017; Bansal, et al., 2019) e incluso que puede influir en la elección de modo y ruta cuando los pasajeros tienen más de una alternativa disponible (Tirachini, et al., 2013).

En el diseño de sistemas de transporte público, si se reconocen las externalidades del hacinamiento en el valor del tiempo de viaje es óptimo proveer servicios con frecuencias más altas (Jara-Díaz y Gschwender, 2003) y buses con la mayor cantidad de asientos posibles (Tirachini, 2012) de modo que se reduzcan los factores de ocupación y se aumente la calidad de servicio ofrecida.

2.4.3. Multiplicador de tiempo de viaje

Para expresar la desutilidad que produce el hacinamiento se puede usar una constante por viaje o un multiplicador del tiempo de viaje. El primer tipo de especificación define un atributo de hacinamiento que es ingresado como una constante en la especificación del modelo, sea a través de un factor de carga

(Kroes, et al., 2014) la probabilidad de conseguir un asiento (Polydoropoulou y Ben-Akiva, 2001), entre otros, por lo que asume que el efecto del hacinamiento es independiente de la duración del tiempo de viaje.

En cambio, el multiplicador del tiempo de viaje del hacinamiento (o simplemente, multiplicador de hacinamiento) cuantifica el compromiso del viajero de aceptar un aumento marginal en el tiempo del viaje a cambio de un menor hacinamiento (Bansal, et al., 2019). Esta especificación resulta más atractiva, debido a que es de esperarse que el efecto del hacinamiento incremente mientras más largo sea el viaje. Sin embargo, cabe resaltar que es extraño que en un viaje largo se mantenga el mismo nivel de hacinamiento y que los viajeros no se encuentren asientos disponibles en algún momento del viaje, por lo que es de esperar que el hacinamiento no produzca una penalidad constante (Kroes, et al., 2014). A un nivel de hacinamiento D , el multiplicador de hacinamiento (CM , por su nombre en inglés, *crowding multiplier*) se define como:

$$CM_D = \frac{VST_D}{VST_0} \quad (10)$$

Donde:

D = Nivel de hacinamiento expresado en: factor de carga, tasa de ocupación, densidad de pasajeros, etc.

VST_d = Valor subjetivo del tiempo de viaje a un nivel de hacinamiento D .

VTS_0 = Valor subjetivo del tiempo de viaje sin hacinamiento.

Algunos autores han registrado valores distintos de CM para los viajeros que viajan de pie que aquellos que viajan sentado a un mismo nivel de hacinamiento (ver e.g. MVA Consultancy, 2008; Whelan y Crockett, 2009; Li y Hensher, 2011; Kroes, et al., 2014; Wallis, et al., 2013 y Tirachini, et al., 2017). Se ha encontrado que las penalidades de viajar de pie no son relevantes para factores de carga menores al 100%, debido a que los pasajeros que viajan de pie cuando hay asientos libres implica que no son particularmente adversos a estar de pie (Wardman, 2014).

Los CM de pie y sentado pueden ser utilizados para estimar el valor de los usuarios por un asiento de transporte público. A un nivel de hacinamiento D , el multiplicador del tiempo de viaje de pie (SM por su nombre en inglés, *standing multiplier*) se define como el cociente entre los CM de pie y sentado, como lo expresa la ecuación (11).

$$SM_D = \frac{CM_{D,De\ pie}}{CM_{D,Sentado}} \quad (11)$$

El SM a su vez, corresponde a la tasa marginal de sustitución entre el tiempo de viaje de pie y el tiempo de viaje sentado (12), y permite cuantificar el tiempo adicional que los viajeros están dispuestos a viajar con el fin de obtener un asiento (Tirachini, et al., 2016).

$$SM_D = \frac{\frac{\partial V_i}{\partial tv_p}}{\frac{\partial V_i}{\partial tv_s}} = \frac{\beta_{tv_p}}{\beta_{tv_s}} \quad (12)$$

Donde:

β_{tv_p} = Utilidad marginal del tiempo de viaje de pie.

β_{tv_s} = Utilidad marginal del tiempo de viaje sentado.

2.5. Estudios de valoración por un asiento

2.5.1. Estudios de preferencias reveladas

Hasta mediados de los 80's la modelación de la demanda de transporte se basaba en su mayoría en información recolectada mediante experimentos que observaban directamente las elecciones y decisiones de las personas, es decir, datos de preferencias reveladas (Ortuzar y Willumsem, 2011). De este modo, algunos autores han podido estimar el valor para el tiempo de viaje de pie al registrar el comportamiento de los viajeros. Wardman y Whelan (2011) citan un estudio realizado por LT Marketing (1988) en una estación de metro de Londres. Los investigadores registraron las elecciones reales de pasajeros que deben decidir entre abordar un tren que llega a la estación en condiciones muy hacinadas o esperar un tren vacío que parte minutos después desde la misma estación. Los autores de esta investigación obtuvieron CM al viajar de pie y al viajar sentado para distintos niveles de carga. Si bien este estudio corresponde al primer estudio PR en el que se tiene registro de la valoración por un asiento no se tiene un mayor detalle sobre las condiciones en que se realizó el estudio ni la modelización utilizada.

Kroes et al. (2014) observaron por doce días a los pasajeros de dos estaciones de tren en Francia que en la hora punta se enfrentaban a una situación de elección similar al estudio anterior. Los autores determinaron la proporción de pasajeros que decidieron esperar un tiempo adicional en la estación y abordar el siguiente tren. Luego, compararon este porcentaje con el obtenido de un estudio PD

realizado previamente. De esto concluyen que el porcentaje de pasajeros dispuestos a esperar en el estudio PR es substancialmente menor al del estudio PD. Este estudio PR evidencia diferencias en los resultados según la fuente de datos utilizada. Sin embargo, corresponde a una validación, sin una modelación formal entremedio.

Tirachini et al. (2016) observaron el comportamiento de un subconjunto de los viajeros del metro de Singapur que están dispuestos a viajar una o varias estaciones en el sentido contrario a su punto de destino, con el fin de obtener un asiento en el viaje. Mediante el procesamiento de datos de tarjetas inteligentes de recaudo de tarifa y tiempo de viaje de los trenes, los autores estimaron SM entre 1,18 y 1,24 según el periodo de la punta mañana. Entre sus conclusiones, los autores hacen hincapié del posible impacto de los factores no considerados en la modelación en los resultados como: características sociodemográficas, actitudes personales y valores culturales.

Hörcher et al. (2017) utilizaron un conjunto de datos automatizados de recolección de tarifa (AFC) y localización de vehículos (AVL) del metro de Hong Kong para estimar un modelo de elección de ruta que considera la probabilidad de conseguir un asiento. Los autores encontraron que la penalidad de los pasajeros del tiempo al viajar de pie es un 26,5% mayor que al viajar sentado.

Por su parte, Yap, et al. (2020) introducen en su modelo de elección de ruta la disponibilidad de un asiento en el viaje mediante el factor de ocupación esperado. A través del procesamiento de datos de tarjetas inteligentes de los usuarios de bus y tranvía de la ciudad de Haya, Países Bajos, los autores obtienen entre sus resultados CM que aumentan su valor cuando no hay asientos disponibles en el vehículo y cuando el viajero es usuario frecuente del servicio. Esto es de esperarse debido a que los viajeros frecuentes de un par OD específico tienen una mejor expectativa de las condiciones que van a enfrentar durante el viaje basado en experiencias anteriores.

Castillo y Guevara (2019) registraron por tres días las elecciones de los viajeros en un paradero de bus en Santiago de Chile que en el periodo más congestionado cuenta con un mecanismo de ingreso al bus de dos filas (Figura 1), autogestionado por los pasajeros. Una vez el bus llega al paradero, se permite el acceso al bus de la "fila de sentados", los viajeros que al llegar al paradero eligieron hacer esta fila ingresan al bus y van ocupando los asientos hasta completar la totalidad de los asientos disponibles. Acto siguiente, la fila se detiene y los viajeros de esta fila que no lograron ingresar deben continuar esperando en el paradero. Por otro lado, los

viajeros de “la fila de parados” inician su ingreso al bus, debido a que todos los asientos ya están ocupados en ese momento, los pasajeros de esta fila deben viajar de pie.

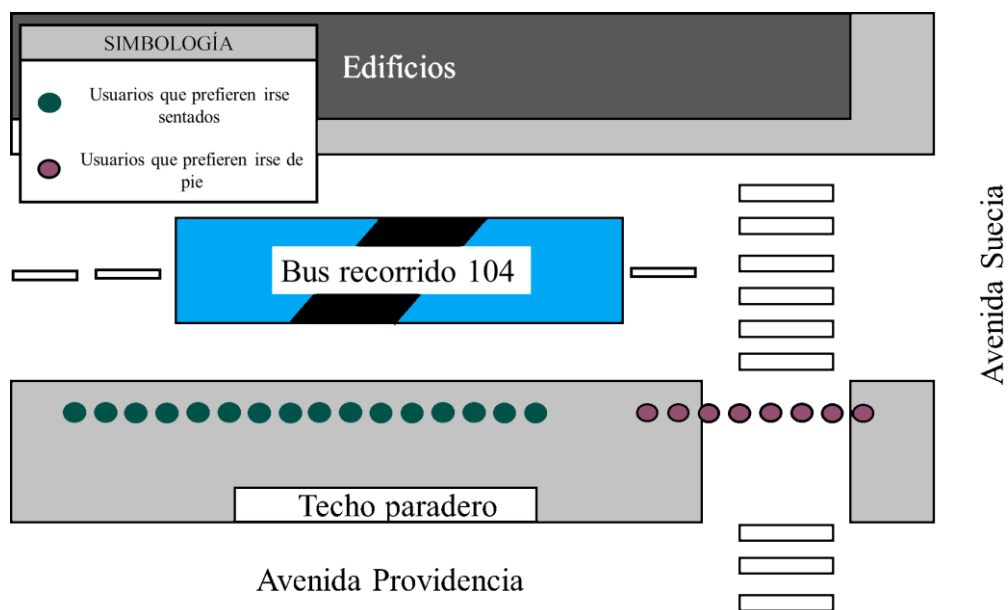


Figura 1. Ilustración del comportamiento de espera del bus en el paradero PC-37 de la red de transporte público de Santiago. Fuente: Castillo y Guevara (2019).

Conociendo el funcionamiento del paradero, cada vez que un usuario llega al paradero debe decidir en qué fila desea incorporarse. Los autores observaron que el tiempo de espera en la fila de sentados es considerablemente mayor al de la fila de parados y que hay usuarios dispuestos a dejar pasar hasta cuatro buses con el fin de obtener un asiento. Adicionalmente, estimaron un valor de SM para estos usuarios de 1,31, es decir, la desutilidad que experimenta un usuario al viajar de pie es un 31% más negativa que al viajar sentado. Si bien esta investigación provee un valor cuantitativo para el disponer de un asiento de bus confiable, al ser estimada mediante datos pasivos no permite la identificación por separado del tiempo de espera de la persona en el paradero de su tiempo de viaje en vehículo.

La tabla 1 resume los estudios PR de valoración por un asiento, donde se incluyen sus características principales como: el marco de modelación, modo de transporte, localización del estudio, manera de representar la valoración y el valor entregado. De lo anterior se puede resaltar que los SM se encuentran entre 1 y 2. El SM más alto reportado es de LT Marketing (1988) con un valor de 1,69 cuando el tren está en su capacidad máxima, esto se traduce a que los viajeros están dispuestos a pagar con hasta un 70% más de su tiempo de viaje a cambio de estar sentados.

Tabla 1. Resumen estudios PR que incluyen la valoración por un asiento.

Autores	Marco de modelización	Modo	País	Manera de representar el valor por un asiento	Valor por un asiento
LT Marketing (1988)	Desconocido	Metro	Reino Unido	CM para pasajeros que viajan de pie y sentados	1,40 - 1,69
Kroes et al. (2014)	Validación	Metro y Tren	Francia	Proporción de pasajeros que esperan un tiempo adicional en la estación	0% - 25%
Tirachini et al. (2016)	MNL	Metro	Singapur	Tiempo de viaje adicional en dirección contraria al destino	1,18 - 1,24
Hörcher, et al. (2017)	MNL	Metro	Hong Kong	Probabilidad de conseguir un asiento	1,27
Yap, et al. (2018)	ML con efectos de panel	Bus y Tranvía	Holanda	Factor de ocupación estimado	1,16 1,30 (FU)
Castillo y Guevara (2019)	Validación	Bus	Chile	Tiempo de espera adicional en paradero	1,32

MNL= Logit multinomial, ML= Logit Mixto.

FU= Usuario frecuente del servicio.

2.5.2. Estudios de preferencias declaradas

Frente a la necesidad de implementar técnicas que permitan solventar las limitaciones propias de los datos PR, a finales de los 70's muchas investigaciones empezaron a utilizar las técnicas PD para la estimación de modelos de demanda de transporte. Los datos de elección PD se generan mediante un proceso de diseño sistemático y planificado en el que los atributos y sus niveles están predefinidos sin error de medición (Louviere, et al., 2000) y varían al crear escenarios hipotéticos de elección que son presentados a los individuos. El diseño de experimentos PD es tratado con mayor profundidad en la sección 3.5.

La Figura 2 muestra un ejemplo de un juego de elección realizado por Tirachini, et al. (2017), donde a los pasajeros del Metro de Santiago se les presenta dos alternativas de viaje que difieren en tres atributos: tiempo de viaje, nivel de ocupación y si la persona viaja parada o sentada. Los viajeros deben elegir la alternativa que más se ajuste a sus preferencias de viaje. Los datos PD representan un menor costo de elaboración, comprenden una amplia gama de atributos, permiten tamaños muestrales mucho más grandes y explorar mercados, alternativas, atributos y sus niveles que no existen en la práctica (Wardman y Whelan, 2011).

Escoja la alternativa que prefiera:

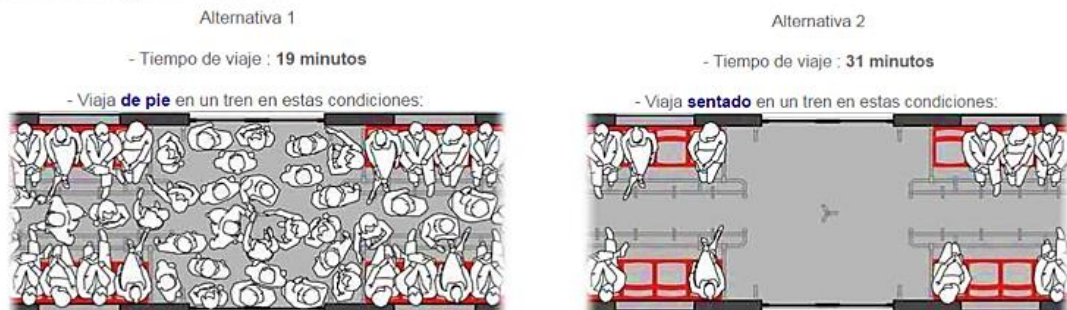


Figura 2. Ejemplo de escenario de elección PD. Fuente: Tirachini et al. (2017).

Lamentablemente, la práctica de este enfoque está sujeta a predisposiciones y percepciones de los encuestados que pueden distorsionar la información obtenida y generar sesgos que conlleven a errores en la modelación. Uno de estos sesgos corresponde al sesgo hipotético, en el que los encuestados pueden tener dificultades al imaginar la situación hipotética o entender los compromisos entre los atributos en el conjunto de elección. Otro sesgo corresponde al sesgo de racionalización, donde el encuestado trata de proporcionar respuestas no verdaderas, en un intento de racionalizar su comportamiento habitual (Pompilio, 2006). Los autores Tirachini, et al. (2016) y Hörcher, et al., (2017) en sus estudios

valores por un asiento sustancialmente menores que en estudios PD similares, lo que indica una posible sobreestimación de la valoración por un asiento cuando se utilizan datos PD.

Numerosas investigaciones han determinado empíricamente que la incomodidad del pasajero que viaja de pie es significativamente mayor que la del pasajero que viaja sentado (ver e.g., Wallis, et al., 2013; Whelan y Crockett, 2009; Kroes, et al., 2014, Tirachini, et al., 2017, Bansal, et al., 2019). Asimismo, autores PD han encontrado que las características socioeconómicas juegan un papel importante en la valoración del tiempo de viaje de pie. Maunsell y Macdonald (2007) estimaron penalidades mayores en el tiempo de viaje de pie para los viajeros con auto disponible que aquellos sin este modo disponible, esto es consistente con la idea que los usuarios de automóviles le dan un mayor valor a la comodidad. Por otro lado, los pasajeros con propósito trabajo en una investigación realizada por MVA Consultancy (2008) experimentaban mayores valores por un asiento que aquellos con propósito no-trabajo. Los autores Bouscasse y de Lapparent (2019) y Shin, et al. (2020) encontraron que en Suecia y Hong Kong, respectivamente, los hombres son menos sensibles a la comodidad que las mujeres a la hora de viajar en transporte público.

La tabla 2 muestra los valores por un asiento de algunas investigaciones PD, se incluyen además la fecha y país del estudio. Se pueden observar valores de SM relativamente mayores a los encontrados en los estudios PR, que incluso doblan el valor de tiempo de viaje sentado, como es el caso de MVA Consultancy (2008) cuando el propósito de viaje es trabajo, Björklund y Swärdh (2017) cuando se analiza únicamente el modo bus y Shin, et al. (2020) a una densidad de $5 \text{ pax}/\text{m}^2$.

2.5.3. Estudios de datos mixtos

Estudios recientes en el área de transporte han incorporado el uso de más de un enfoque exclusivo de fuente de datos estimar modelos de elección discreta, se ha demostrado que los datos mixtos PD-PR son técnicas complementarias, puesto que se entrega a los resultados de la investigación una base en la vida real, mientras se exploran los beneficios de las técnicas PD (Wardman y Whelan, 2011). Gracias al uso de técnicas PR-PD, Batarce, et al. (2015) pudieron valorar más atributos relacionados con la comodidad, como el hacinamiento, realizado a los pasajeros del Metro de Santiago. Pese a sus múltiples beneficios, hasta el momento ningún estudio ha incorporado el uso de datos-mixtos para medir la valoración de un asiento.

Tabla 2. Resumen de algunos estudios PD que incluyen la valoración por un asiento.

Autores	Marco de Modelización	Modo	País	Valor por un asiento
MVA Consultancy (2008)	MNL	Tren	Reino Unido	1,48, propósito no-trabajo 1,91, propósito trabajo
Whelan y Crocket (2009)	MNL	Tren	Reino Unido	1,53
Kroes, et al. (2013)	MNL	Bus + metro + tranvía + tren	Francia	1,11 - 1,14, según pax/m ²
Björklund y Swärdh (2017)	ML	Bus + metro + tranvía + tren Sólo bus	Suecia	1,98 2,28
Tirachini, et al. (2017)	ML	Metro	Chile	1,11 - 1,14, según pax/m ²
Bouscasse y de Lapparent (2019)	LC	Tren + coach	Francia	1,37 - 1,4, según pax/m ²
Shin, et al. (2020)	MNL ML	Metro	Corea del sur	1,02 - 1,50 1,34 - 2,11

MNL= Logit multinomial, ML= Logit mixto, LC= Clases latentes.

2.6. Conclusiones

La incomodidad de viajar de pie en el transporte público reúne muchos factores y efectos que deben ser entendidos en profundidad por el modelador previo a su respectiva medición y cuantificación, de modo de prevenir errores futuros en la modelación e interpretación de resultados. El hacinamiento es uno de los factores principales, la relación parte del hecho que los asientos en un vehículo son limitados, especialmente en los trenes, por lo que es muy probable que en las condiciones mencionadas anteriormente todos los asientos estén ocupados, y el viajar sentado no es una opción disponible.

En la actualidad, numerosas investigaciones han demostrado empíricamente que la desutilidad del tiempo de viaje de pie es significativamente mayor al tiempo de viaje sentado, estas en su mayoría corresponden a estudios de hacinamiento que incluyen penalidades distintas al tiempo de viaje de pie y sentado. Si bien los valores de SM se encuentran en su mayoría entre 1 y 2, el enfoque de modelación y las particularidades del entorno en cada investigación pueden provocar las diferencias entre los resultados de distintos autores.

Los estudios de valoración por un asiento se han basado en su mayoría en técnicas PD, las cuales están sujetas a muchos sesgos que pueden distorsionar los resultados. Algunos autores han logrado obtener valores por un asiento observando las elecciones de los individuos, en un enfoque PR. El uso de una metodología para medir el valor por un asiento que incluya información de ambas fuentes de datos y explore los beneficios de ambas técnicas resulta altamente atractiva.

Algunas investigaciones han demostrado en sus modelos de elección distintas sensibilidades de los viajeros a parámetros relacionados con la comodidad. A estas alturas, cuantificar el impacto de factores que influyen en la valoración por un asiento como: características sociodemográficas y actitudinales de los individuos, el propósito de viaje, variables de operación del servicio, la configuración interna del vehículo, entre otros, se ha vuelto una tarea fundamental. Reconocer la heterogeneidad en las preferencias en los individuos permite establecer políticas más eficientes al tomar en cuenta los distintos segmentos de la población.

CAPÍTULO 3: DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1. Introducción

Este capítulo presenta el diseño del experimento que permite recolectar la información mixta PR-PD. Primero se describe el contexto de elección y las potenciales ubicaciones del experimento. Luego se definen las fuentes de información a utilizar. Más adelante se describe en detalle el diseño de la encuesta PD. Finalmente, se entrega la propuesta de experimento PR-PD reconociendo su alcance y las limitaciones. Para desarrollar este capítulo se toma como base la metodología propuesta por Castillo y Guevara (2019) para la recolección de datos PR y el diseño de las encuestas a usuarios y las recomendaciones de Louviere, et al. (2000), Ortuzar y Willumsen (2011) y Train (2011) para el diseño de la encuesta PD.

3.2. Contexto de elección

Para cumplir con los objetivos de esta investigación, es necesario recolectar información PR y PD de un contexto de elección en donde exista un compromiso entre el tiempo de viaje y la condición de viaje (de pie o sentado) como el principal factor que explique el comportamiento de elección de los individuos, en la sección anterior se discutieron algunos ejemplos. El contexto seleccionado para esta investigación corresponde al fenómeno estudiado por Castillo y Guevara (2019) y que se presenta en distintos paraderos de la ciudad de Santiago donde los viajeros tienen la posibilidad de esperar un tiempo adicional con el fin de asegurar un asiento en el viaje. A estos paraderos los llamaremos paraderos de dos filas.

El sistema de ingreso al bus en los paraderos de dos filas es representado en la Figura 3. El ciclo empieza cuando un bus llega al paradero y se abren sus puertas de entrada, primero ingresan los viajeros de la fila de sentados hasta que se llenen los asientos disponibles, en ese momento la fila se detiene y se le da la oportunidad de ingreso al bus a aquellos viajeros en la fila de sentados que no desean esperar hasta el siguiente bus, se referirán a estos viajeros como viajeros “arrepentidos” de aquí en adelante. Una vez terminan de ingresar los viajeros arrepentidos, si es que existen, se les permite el ingreso a los viajeros de la fila de parados. Si el paradero se encuentra muy congestionado, y el bus alcanza su capacidad máxima antes de que terminen de ingresar los viajeros de la fila de parados, la fila se detiene y el resto de los viajeros deberán de esperar hasta el siguiente bus.

Siguiendo lo anterior, se identificaron varios paraderos de dos filas alrededor de la ciudad que siguen este comportamiento y por lo cual son potenciales paraderos en donde puede llevarse a cabo el experimento. Algunos ejemplos de estos paraderos son: PA675 del metro Los Héroes, PC503 del metro Parque Bustamante, PC101 de la Clínica Alemana, PA115 del metro Santa Lucía y el PC-37 del Metro Los Leones¹.

3.3. Fuentes de Información

El experimento PR-PD consta de dos fuentes de información para recolectar información del comportamiento de viaje de los pasajeros y del paradero en cuestión: encuestas a usuarios, mediciones del tiempo de espera observado en terreno y grabaciones por cámara.

3.3.1. Encuestas a usuarios

El método para realizar las encuestas a usuarios es la entrevista personal, en donde una o varias personas del equipo encuestador adquieren el rol de encuestadores y plantea las preguntas a los pasajeros mientras va marcando las respuestas sea en papel o en un dispositivo electrónico. La ventaja de este tipo de entrevistas radica en la posibilidad de que el encuestado interactúe con el encuestador, pudiendo resolver dudas e inquietudes durante la entrevista (González, et al., 2012). La descripción de las encuestas a usuarios es detallada en la sección 3.6.

3.3.2. Grabaciones por cámara

Durante el experimento y con la ayuda de una cámara de video, una persona del equipo con el rol de camarógrafo se encarga de registrar las llegadas y salidas de los buses, así como también el largo de las filas y el ingreso de los pasajeros a los buses.

¹ Paraderos en mapa en <https://goo.gl/maps/mpvV9HptUmLCezyP7>

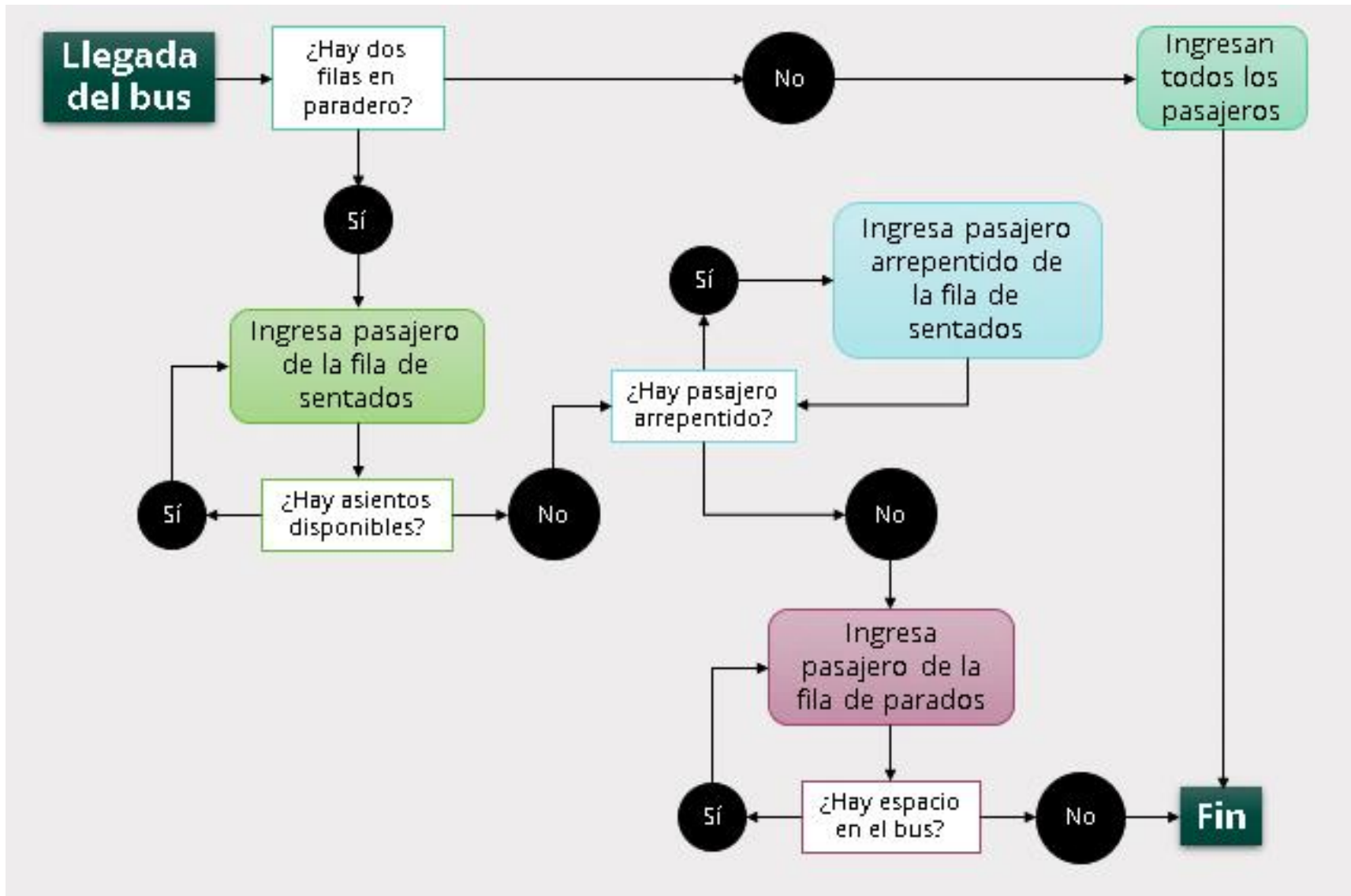


Figura 3. Diagrama de ingreso al bus en paraderos de dos filas.

3.3.3. Mediciones del tiempo de espera

Para medir el tiempo de espera en terreno se utiliza una variante de la metodología propuesta por Castillo y Guevara (2019), esta se describe a continuación:

1. Previo a iniciar la encuesta, el encuestador registra la hora de incorporación en la fila (en formato hh:mm) del encuestado en una tarjeta de folio único,
2. El encuestador entrega la tarjeta foliada al encuestado, ingresa la hora de incorporación en la fila y el folio de la tarjeta en el cuestionario e inicia la entrevista.
3. Al finalizar la encuesta, el encuestador solicita al encuestado que permanezca con la tarjeta hasta el momento previo a ingresar al bus.
4. En ese momento, el pasajero debe localizar al miembro del equipo encuestador con el rol de recolector y entregarle la tarjeta. A su vez, el recolector debe estar pendiente de que ningún viajero olvide entregar la tarjeta.
5. Por último, el recolector entrega las tarjetas recolectadas de todos los pasajeros que ingresaron al bus en el ciclo al miembro del equipo con el rol de auxiliar de recolección, este debe registrar la hora en que se detiene la subida de pasajeros al bus (también en formato hh:mm), agruparlas según la elección de viaje de los pasajeros y guardarlas en un lugar seguro.

Las tarjetas varían de color según la fila a la que pertenece el encuestado, para facilitar el trabajo del auxiliar del recolector. Dado lo anterior, el tiempo de espera en el paradero de cada viajero corresponde al tiempo transcurrido entre que el viajero se incorporó en una fila del paradero y la hora de subida al bus.

3.4. Ciclo experimental

El diseño experimental presentado en esta tesis conserva la estructura de la propuesta de Castillo y Guevara (2019), la diferencia principal consiste en la adición de la encuesta de preferencias declaradas en el formulario de entrevistas y el uso de tarjetas de colores para facilitar el trabajo del recolector y el auxiliar de recolección. El experimento está diseñado por ciclos (Figura 4), este inicia debe haber al menos

un pasajero disponible en el paradero y el tiempo necesario para que este pueda responder el formulario. Cada fila cuenta con uno o varios encuestadores. Una vez el viajero se introduce a una de las filas un encuestador se acerca amablemente a preguntarle si desea participar en la encuesta, si la respuesta es afirmativa el encuestador anota la hora de incorporación a la fila del usuario, le entrega una tarjeta foliada e inicia el cuestionario.

La tarjeta es retornada por el viajero al recolector, el recolector debe agrupar las tarjetas de acuerdo con la elección final de viaje de los pasajeros, en este sentido las tarjetas de los viajeros arrepentidos y la de los viajeros en la fila de parados pertenecen al mismo conjunto. El recolector entrega los grupos de tarjetas al auxiliar de recolección, que se encargará de anotar la hora de salida del bus de los grupos de tarjetas y archivarlas las canastas de acuerdo con la elección final de los viajeros. Durante todos los ciclos un camarógrafo registra el comportamiento en el paradero y un supervisor vela por que el experimento se ejecute correctamente. El manual de funciones detallado de cada personal del experimento es descrito en la sección de anexos, Anexo 1: Manual del personal experimento PR-PD.

3.5. Diseño de encuesta de preferencias declaradas

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, el objetivo de la encuesta PD consiste en lograr la identificabilidad de los parámetros de tv_s y tv_p , complementando la información obtenida por los datos PR. Para esto, se debe construir un experimento que pueda resolver la necesidad de la investigación y otorgue respuestas realistas. En esta sección se describe en detalle el diseño de la encuesta PD, su descripción y limitaciones, siguiendo las recomendaciones encontradas en (Louviere, et al., 2000) y (Ortuzar y Willumsem, 2011).

El método seleccionado para la encuesta PD es el diseño factorial, principalmente por ser un método sencillo, práctico de usar y que asegura buenos resultados. Los diseños factoriales tienen propiedades estadísticas muy atractivas al estimar parámetros de modelos lineales generales y /o testear hipótesis rigurosas basadas en ellos. En particular, los diseños factoriales garantizan que los niveles de los atributos no están correlacionados, por lo que los efectos de interés de los atributos son realmente independientes “por diseño” y el estudio de los efectos principales de los atributos y las interacciones entre ellos.

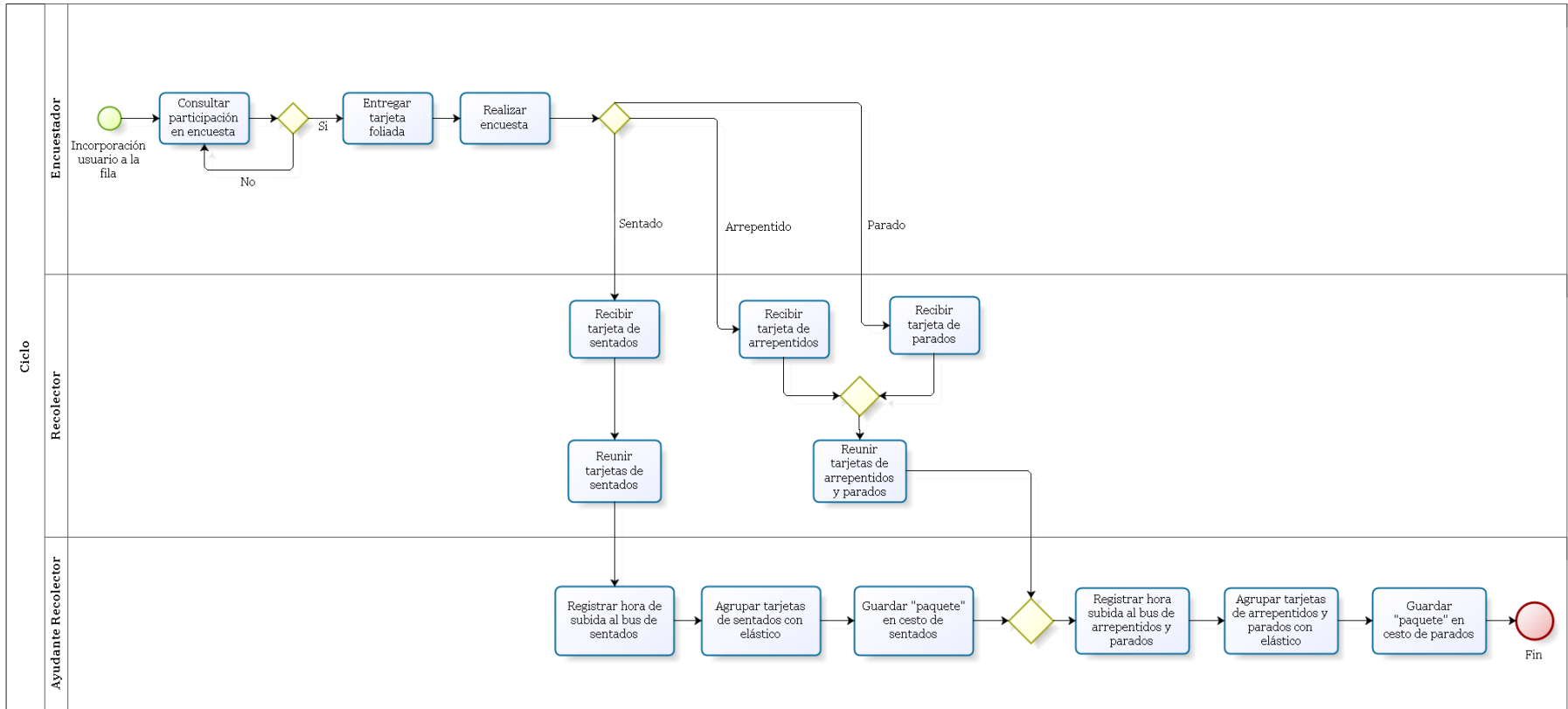


Figura 4. Diagrama de ciclo del experimento. Fuente: Castillo y Guevara (2019).

En un diseño factorial, las variables explicativas a analizar son llamadas “factores” o “atributos” de la elección y los valores de cada variable son denominados “niveles”, el producto es un diseño en el que los niveles de cada atributo son combinados con cada nivel de todos los demás atributos. Cada una de las combinaciones de un diseño factorial se denominan “perfiles” y la completa enumeración de cada uno de estos perfiles es plasmada en un “diseño factorial completo”.

Para cumplir con los objetivos de esta investigación, los atributos clave a considerar en la encuesta PD son tres: el tiempo de espera (*te*) el tiempo de viaje (*tv*) y el viajar sentado (*S*). Por practicidad, dos niveles estarán disponibles para cada atributo: niveles bajo y alto para *te* y *tv* y niveles sentado y de pie para *S*, la combinación de cada uno de los niveles de los tres atributos se obtiene un total de ocho perfiles de viaje ($2 \times 2 \times 2$ o 2^3), tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Diseño factorial completo (2^3) para la encuesta PD.

<i>Perfil</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>
1	alto	alto	sentado
2	alto	alto	de pie
3	alto	bajo	sentado
4	alto	bajo	de pie
5	bajo	alto	sentado
6	bajo	alto	de pie
7	bajo	bajo	sentado
8	bajo	bajo	de pie

En general, los niveles de los atributos son representados numéricamente mediante codificación ortogonal. Esta herramienta resulta atractiva de usar debido sus propiedades:

- La suma de sus niveles es cero (es balanceada), lo que permite capturar potenciales efectos no-lineales y varianza similar para todos los atributos y,
- el producto de columnas es cero (es ortogonal), lo que garantiza que no hay correlación entre atributos y toda varianza e información nueva.

En este tipo de codificación sólo se utilizan números impares y dependiendo del número de atributos se obtiene un conjunto de $2K \{-2K + 1, \dots, -3, -1, 1, 3, \dots, 2K - 1\}$ o $2K + 1 \{-2K + 1, \dots, -3, -1, 0, 1, 3, \dots, 2K - 1\}$ niveles. Los niveles del diseño factorial seleccionado para la encuesta PD son representados mediante el -1 para el nivel de atributo no deseable y el 1 para el nivel

deseable, como es mostrado en la tabla 4. Si bien los efectos principales son el interés principal en las aplicaciones prácticas PD, un buen diseño comprende e interpreta los efectos de interacciones entre atributos (Tabla 5) dado que generalmente explican entre un 5 a 15% de la varianza.

Tabla 4. Representación numérica del diseño factorial (2^3).

<i>Perfil</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1

Tabla 5. Efectos en el diseño factorial completo (2^3).

<i>Perfil</i>	Efectos principales			Interacciones			
	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>	<i>tetv</i>	<i>teS</i>	<i>tvS</i>	<i>tetvS</i>
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1
3	1	-1	1	-1	1	-1	-1
4	1	-1	-1	-1	-1	1	1
5	-1	1	1	-1	-1	1	-1
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1	-1	-1	1
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1

Pese a las numerosas ventajas estadísticas que poseen los diseños factoriales completos, estos son difíciles de implementar en la práctica. Los diseños factoriales fraccionados seleccionan estratégicamente un subconjunto de factoriales completos por medio de bloques, de modo que los diseños sean reducidos a tamaños prácticos mientras que los efectos de interés sean estimados tan eficientemente como sea posible. Las fracciones involucran una pérdida de información estadística y requiere de algunos supuestos, como la no significancia de los efectos de orden superior (*tetvS*). Sin embargo, es preciso afirmar que los efectos principales y las interacciones de segundo orden representan prácticamente toda la varianza explicada. La tabla 6 muestra el diseño factorial fraccionado dividido en dos bloques, donde cada fracción cuenta con cuatro perfiles, se puede observar que la interacción de orden superior es idénticamente igual a -1 en la fracción 1 y 1 en la fracción 2, por lo tanto *tetvS* es exactamente igual al intercepto.

Tabla 6. Diseño factorial (2^3) fraccionado en dos bloques.

Bloque A							
<i>Perfil</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>	<i>tetv</i>	<i>teS</i>	<i>tvS</i>	<i>tetvS</i>
1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1	-1	-1	1

Bloque B							
<i>Perfil</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>	<i>tetv</i>	<i>teS</i>	<i>tvS</i>	<i>tetvS</i>
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1
3	1	-1	1	-1	1	-1	-1
5	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1

Una vez seleccionadas las fracciones, eliminamos los perfiles que por la configuración de sus atributos se convierten en alternativas dominantes, estos corresponden al perfil 1 del bloque A y el perfil 8 del bloque B. Los niveles de los atributos del perfil 1 son todos positivos, esto quiere decir que los valores del tiempo de espera y el tiempo de viaje serán cortos, y el viaje se realizará sentado, lo que volverá a dicha alternativa más atractiva que cualquiera de las otras presentes en los bloques. El caso contrario es el del perfil 8, donde los niveles de los atributos son todos negativos, tiempos más largos y la condición de viaje de pie, lo que vuelve a dicha alternativa la menos atractiva de todas. Finalmente, al eliminar las alternativas dominantes se realizan todas las combinaciones posibles de los perfiles restantes para diseñar los juegos de elección (Tablas 7 y 8).

Tabla 7. Diseño de juegos de elección del bloque A.

Bloque A							
<i>Perfil</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>	<i>tetv</i>	<i>teS</i>	<i>tvS</i>	<i>tetvS</i>
1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1	-1	-1	1

<i>Pregunta</i>	<i>Perfiles</i>	Alternativa 1			Alternativa 2		
		<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>
1	4, 6	1	-1	-1	-1	1	-1
2	4, 7	1	-1	-1	-1	-1	1
3	6, 7	-1	1	-1	-1	-1	1

Tabla 8. Diseño de juegos de elección del bloque B.

<i>Bloque B</i>							
<i>Perfil</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>	<i>tetv</i>	<i>teS</i>	<i>tvS</i>	<i>tetvS</i>
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1
3	1	-1	1	-1	1	-1	-1
5	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1

<i>Pregunta</i>	<i>Perfiles</i>	<i>Alternativa 1</i>			<i>Alternativa 2</i>		
		<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>	<i>te</i>	<i>tv</i>	<i>S</i>
1	2, 3	1	1	-1	1	-1	1
2	2, 5	1	1	-1	-1	1	1
3	3, 5	1	-1	1	-1	1	1

3.6. Encuestas a usuarios

El diseño del instrumento de encuesta se basó en la encuesta a usuarios realizada por Castillo y Guevara (2019). Esta tiene como objetivo recolectar la información que permitirá entender el comportamiento de los viajeros en el paradero y alimentar los modelos de elección. La recolección de estos atributos se realizará a través de un cuestionario que el encuestador irá rellenando con las respuestas de los pasajeros.

Debido a que la encuesta no debe interferir con la medición del tiempo de espera observado tiene una restricción de tiempo no mayor a 3 minutos, igual a la media del tiempo que transcurre desde que el pasajero se incorpora en la fila hasta que ingresa al bus. Lo anterior limita la encuesta a enfocarse en un conjunto restringido de atributos. A continuación, los atributos seleccionados se mencionan con mayor detalle:

- **Atributos de las alternativas:** Se cuenta con un cuestionario único para cada fila, el atributo principal es el tiempo de viaje en vehículo y las variables a preguntar al encuestado son el paradero de bajada y tiempo aproximado de viaje en el bus.
- **Características de los individuos:** Propósito del viaje, variables sociodemográficas como la edad, género, ingreso del hogar, número de personas en el hogar, número de autos en el hogar, la motivación por viajar sentado o de pie según la elección de fila y N° de tarjeta BIP.

Se registraron un total de 12 atributos recolectados mediante la encuesta a usuarios. Además del tiempo de espera medido en terreno, el largo de la fila, los atributos obtenidos en la encuesta PD y las variables obtenidas de los registros de las cámaras. La descripción completa de cada uno de los atributos de la encuesta a usuarios es detallada en la sección de anexos: Anexo 2: Descripción de variables de la encuesta a usuarios.

3.7. Conclusiones

En este capítulo se muestra el procedimiento para diseñar un experimento que recolecta la información de fuentes mixtas PR-PD, para alimentar el modelo de elección que permite calcular la valoración por un asiento de los viajeros de transporte público. El experimento fue diseñado para ser aplicado en los paraderos donde se presenta el fenómeno de formación de dos filas. Para alcanzar este objetivo, es deber del diseñador predecir las variables más relevantes que influyen en el comportamiento de elección de los viajeros de modo de obtener una información precisa y confiable que permita obtener los resultados deseados.

La principal limitación de este diseño consiste en el costo de obtención de la información, ya que requiere de disponer de personal en terreno. Es preciso el estudio y entendimiento de las ventajas de nuevas metodologías que permitan facilitar la recolección de los datos como es el uso de una aplicación móvil que registre el tiempo de espera de los viajeros en los paraderos de dos filas. Otro inconveniente en la metodología de diseño consiste en el concepto de realismo del estudio, este implica que el usuario estará de pie durante todo el viaje, lo cual puede estar alejado de la realidad y no ser percibido como creíble, puesto que es altamente probable que durante el viaje el pasajero encuentre un asiento, sobre todo cuando es una distancia larga.

Es importante tomar precauciones en terreno para evitar en lo más posible sesgos en las respuestas y errores de medición, se recomienda realizar una capacitación previa y el uso de guía de preguntas que ayuden a orientar a los encuestadores, las tarjetas foliadas de color que reduzcan la carga cognitiva del trabajo del auxiliar de recolección y el evitar encuestar a personas relacionadas para tener una mayor aleatoriedad en la muestra.

CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO

4.1. Introducción

En este capítulo se describe la aplicación del experimento PR-PD al paradero PC-37 de la red de transporte público de Santiago de Chile. En primera instancia, se detalla el procedimiento de elección del paradero donde se realizará el experimento. Más adelante, se diseña y prueba la encuesta de preferencias declaradas en base al diseño factorial de la sección 3.5 e información de los experimentos previos realizados en por Castillo y Guevara (2019). Se realiza una prueba en terreno de las encuestas y la medición del tiempo de espera en terreno. Finalmente, la realización del experimento es detallada.

4.2. Selección del paradero

La principal restricción por considerar al seleccionar la muestra es el alto costo en la obtención de los datos. El experimento se encuentra limitado por el presupuesto disponible y el tiempo estimado de la investigación. Por esta razón, se descarta el realizar múltiples experimentos en distintos paraderos de la ciudad y se opta por un único experimento en uno de los paraderos de dos filas. Las características del entorno del paradero deben proveer las condiciones ideales para desarrollar como las barreras físicas en paraderos, las zonas pagas, la seguridad, entre otros (Castillo y Guevara, 2019).

Por lo tanto, el paradero seleccionado debe contar con el comportamiento de la formación de las dos filas durante algún periodo de un día laboral y las características del entorno deben permitir la realización del experimento. Se realizaron visitas a terreno a los paraderos en el horario punta de la semana del 20 al 24 de agosto del 2018 para observar sus principales características. En la Figura 5 se muestran las condiciones dentro de los paraderos PC-37 en Providencia y PC-101 en Vitacura durante las visitas en terreno. El paradero seleccionado para realizar el experimento PR-PD es el PC-37, lugar donde se realizaron los experimentos PR de Castillo y Guevara (2019). En este paradero se inicia uno de los recorridos del servicio 104. Es importante resaltar que la mayoría de los paraderos con dos filas correspondían a paraderos donde iniciaba un recorrido y por lo tanto todos los asientos estaban disponibles.



Figura 5. Paraderos PC-37 (izquierda) en Providencia y PC-101 (derecha) en Vitacura.

Como es descrito por Castillo y Guevara (2019), el servicio 104 inicia su recorrido en una ubicación cercana al centro de la ciudad en la comuna de Providencia y se dirige a la periferia atravesando las comunas de Ñuñoa, Macul y La Florida con destino al paradero PF-4 de la comuna de Puente Alto. Sobre la ocupación de los vehículos, en la hora punta los buses inician su recorrido con una carga equivalente dentro del bus donde todos los asientos se encuentran ocupados y la movilidad dentro del bus es limitada (aprox. 4 pax/m²). Ya en la altura de la comuna de Macul el factor de ocupación es menor al 100%, estando más de la mitad de los asientos disponibles en la comuna de Florida.

4.3. Encuesta PD

Una vez obtenido el diseño factorial fraccionado por bloques del diseño experimental, el siguiente paso consiste en el diseño de la encuesta tal como será plasmada ante los encuestados. Para esto se tuvieron en consideración distintos criterios con el propósito de reducir lo más posible el grado de artificialidad de la encuesta, su complejidad cognitiva, prevenir sesgos y generar el diseño más eficiente posible, estas medidas son descritas a continuación:

4.3.1. Introducción

- Al inicio de la encuesta se encuentra un texto breve que explica el contexto de elección y las instrucciones que debe seguir el usuario, para la encuesta en terreno este texto será utilizado como apoyo adicional dado que el

encuestador será el que relate la descripción de la encuesta a los encuestados.

4.3.2. Contexto de decisión

- Se consideró en lo más posibles las circunstancias reales del viaje actual de los encuestados, por lo que las alternativas corresponden a variantes hipotéticas del recorrido 104 (104-A y 104-B).

4.3.3. Alternativas

- Como estrategia para minimizar el sesgo hipotético, el intervalo de tiempo de espera presentado en la encuesta es de entre 2 y 15 minutos, esto debido a que es el intervalo donde se encuentra el 95% de las mediciones del tiempo de espera registradas en los experimentos PR de Castillo y Guevara (2019), incluyendo tanto a gente de la fila de sentados como de la fila de parados.
- De manera similar, se diseñaron 5 modelos de encuestas en intervalos de tiempo de viaje de 15 minutos (1 a 15 min, 16 a 30 min, 31 a 45 min, 46 a 60 min y una hora en adelante). El encuestador seleccionaba el diseño de encuesta que coincidiera con el tiempo estimado de viaje en el bus declarado por el viajero previamente.
- Se utilizaron diagramas 2D para el atributo de viajar sentado o de pie, el uso de imágenes ha mostrado tener influencia en la percepción de los atributos de las alternativas en las encuestas PD (Rizzi, et al., 2012).

4.3.4. Varianza



- Se realizó un “diseño de punto final” basado en los niveles extremos de cada atributo, con el objetivo de minimizar la varianza atribuible a efectos no observados pero significativos.
- Cada encuestador recibe un juego diferente de valores de atributos para otorgar una mayor varianza a la muestra. Los bloques se distribuyen de tal manera que para cada fila haya al menos un encuestador con un tipo de bloque, como se muestra en la Tabla 9.

La Figura 6 muestra un ejemplo del diseño final de uno de los tres juegos de elección presentados a un pasajero entrevistado por el encuestador N°1 y que declaro un tiempo de viaje estimado de entre 31 y 45 minutos

Tabla 9. Tipo de encuesta PD para cada encuestador.

<i>Fila</i>	Parados			Sentados			
<i>Encuestador</i>	1	2	3	4	5	6	7
<i>Tipo de Encuesta</i>	A	B	A	B	A	B	A

Imagine que ahora en este paradero usted puede elegir entre en **dos alternativas de bus**. Cada una difiere en el tiempo de espera en el paradero, el tiempo de viaje en el vehículo y si viajará sentado o de pie. Para cada uno de los siguientes juegos de elección, *seleccione la mejor alternativa*.

Juego N°1	Bus 104-A	Bus 104-B
De pie / Sentado	De pie 	Sentado 
Tiempo en bus	44 min	44 min
Tiempo en paradero	4 min	14 min

Entre 31 y 45 minutos de viaje

Figura 6. Ejemplo de juego de elección en encuesta PD.

4.3.5. Simulación

Previo a realizar la encuesta PD en terreno, se requiere probar si el diseño es capaz de recuperar los parámetros reales y a su vez, determinar la eficiencia con la que los parámetros son estimados, para lograr estos objetivos se realizaron simulaciones Monte Carlo. En él se especifican las funciones de utilidad y se ingresan los valores de los niveles de los atributos de las alternativas para simular las elecciones de los pasajeros del paradero PC-37 en la encuesta PD, y a partir de los resultados, estimar un modelo logit multinomial que permita recuperar los parámetros y estimadores de interés.

Como primer paso se debe conocer el tiempo de viaje en vehículo y la elección PR del individuo en el paradero. Se asume que elección de la fila PR en el paradero

sigue una distribución uniforme con igual probabilidad de elegir cualquiera de las dos filas. Luego, para construir los valores del tv^{PR} de cada individuo se asume que estos siguen una distribución normal, con media y varianza obtenidas a partir de los datos de los experimentos realizados por Castillo y Guevara (2019). La Tabla 10 muestra las propiedades de las variables PR simuladas de los individuos.

Tabla 10. Propiedades de las variables PR simuladas de los individuos.

	Variable	Distribución	Media [min]	Varianza [min]
	Elección	Uniforme	0	1
<i>tv</i>	<i>Parado</i>	Normal	17	13
	<i>Sentado</i>	Normal	31	20

Según la elección de fila se les asignó a los individuos el tipo de encuesta que les corresponde (A o B), tomando en cuenta que el encuestador es seleccionado aleatoriamente de las opciones disponibles especificadas en la Tabla 9. Una vez obtenido el tipo de encuesta y encuestador, los juegos de elección son seleccionados tomando en cuenta el intervalo del tiempo de viaje PR simulado.

El siguiente paso consiste en la construcción de las funciones de utilidad, la componente sistemática de la utilidad (Ecuación (13)) corresponde a una combinación lineal donde las variables son los atributos de la encuesta PD y los parámetros son asignados a partir los valores subjetivos esperados entre los atributos. De este modo, el impacto del tiempo de espera y el tiempo de viaje de pie en la utilidad se espera que sea el doble y un 30% mayor que el impacto del tiempo de viaje sentado, respectivamente (Tabla 11).

$$V_{in}^{PD} = \beta_{te} te_{in} + \beta_{tv_s} tv_{in} S_{in} + \beta_{tv_p} tv_{in} P_{in} \quad (13)$$

Donde:

V_{in}^{PD} = función de utilidad sistemática de la alternativa i del individuo n .

te_{in} = tiempo de espera de la alternativa i del individuo n .

tv_{in} = tiempo de viaje en vehículo de la alternativa i del individuo n .

S_{in} = variable binaria que toma el valor de 1 si el individuo n viaja sentado en la alternativa i y 0 de lo contrario.

P_{in} = variable binaria que toma el valor de 1 si el individuo n viaja de pie en la alternativa i y 0 de lo contrario.

Tabla 11. Valores de los parámetros en la simulación.

Parámetro	Valor	Valor medido en tv_s
β_{te}	-0,28	2
β_{tv_p}	-0,185	1,32
β_{tv_s}	-0,14	1

Se asume que los errores siguen una distribución Gumbel y el parámetro de escala es normalizado a uno, resultando en un modelo logit donde la función de probabilidad está dada por la ecuación (14). Siguiendo el principio de maximización de la utilidad los individuos elegirán la alternativa que les proporcione la mayor utilidad. Las elecciones fueron simuladas con y sin el componente del error en la función de utilidad para verificar que aproximadamente un 30% de las elecciones sean explicadas por el error.

$$P_{in}^{PD} = \frac{e^{\mu^{PD}V_{in}^{PD}}}{\sum_j e^{\mu^{PD}V_{jn}^{PD}}} \quad (14)$$

Una vez obtenidas las elecciones de los individuos, es hora de probar si el diseño PD es capaz de recuperar los parámetros reales, para ello se simularon un total de 100 escenarios con 100 observaciones cada uno. Los parámetros en cada escenario fueron estimados mediante máxima verosimilitud utilizando el paquete maxLik del software estadístico R (Henningsen y Toomet, 2011).

Los resultados de las simulaciones muestran que el 100% de las veces se retornaron parámetros negativos y significativos para una prueba t con un nivel de significancia del 5%. Adicionalmente, se utiliza una prueba t para probar si los parámetros estimados $\hat{\beta}_k$ son iguales a los parámetros reales β_k (Ecuación 15) y una prueba t para probar si los valores medidos en tv_s guardan la relación a los valores reales (Ecuación 16).

$$H_0: \hat{\beta}_k = \beta_k, \quad t_k = \frac{\hat{\beta}_k - \beta_k}{S_{\hat{\beta}_k}} \quad (15)$$

$$H_0: \frac{\hat{\beta}_k}{\hat{\beta}_{tv_s}} = \frac{\beta_k}{\beta_{tv_s}}, \quad t_k = \frac{\frac{\hat{\beta}_k}{\hat{\beta}_{tv_s}} - \frac{\beta_k}{\beta_{tv_s}}}{S_{\frac{\hat{\beta}_k}{\hat{\beta}_{tv_s}}}} \quad (16)$$

De lo anterior, se tuvo que para un nivel de significancia del 5% los parámetros estimados del te , tv_s y tv_p fueron iguales a los parámetros reales el 97, 99 y 99% de las veces, respectivamente. Además, el valor del te medido en tv_s es igual al valor real un 65%, mientras que el valor del tv_p es igual un 97% de la veces. Las variaciones en el valor del tiempo de espera pueden ser causados por la poca variación en el rango de valores del atributo en el paradero, dado que en ningún caso este valor excede los 15 minutos. Finalmente, en la Figura 7 se pueden visualizar las distribuciones de los parámetros estimados, se observa que los diagramas se encuentran centrados en el valor real, por lo tanto se concluye que el diseño permite recuperar los parámetros reales.

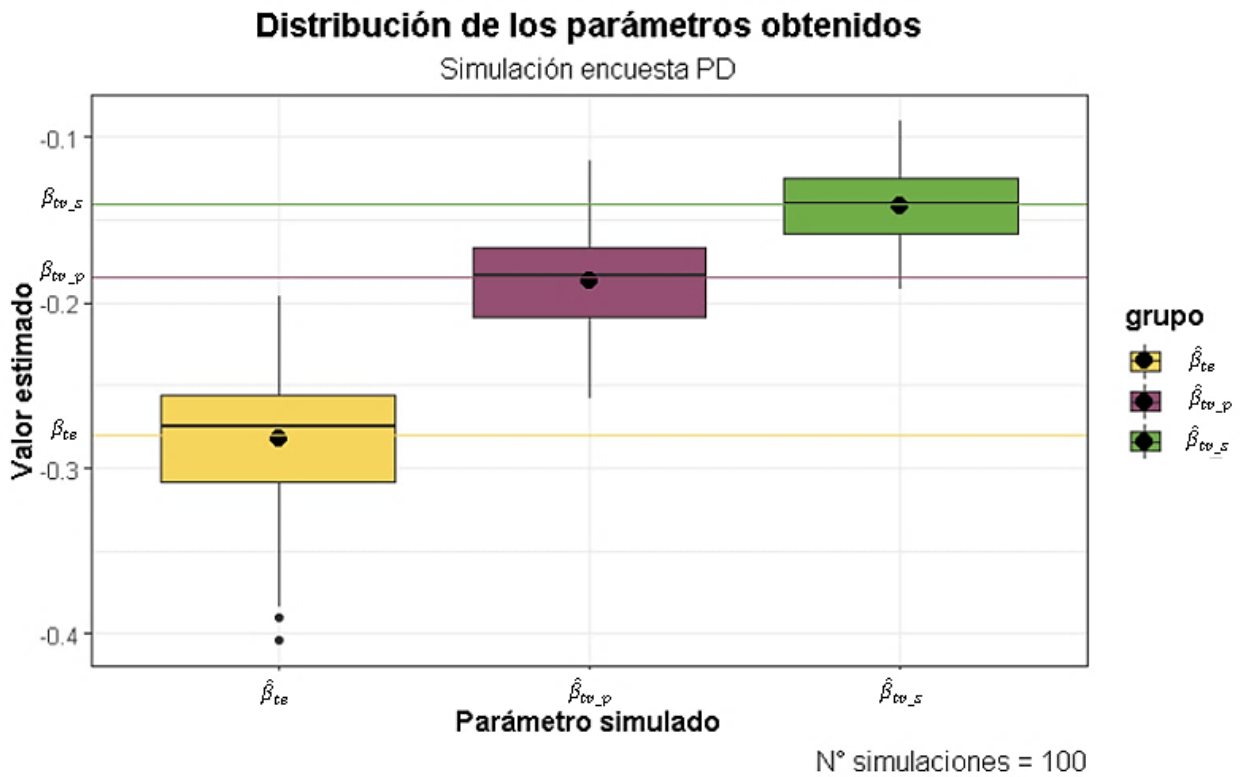


Figura 7. Distribución de los parámetros obtenidos en simulación.

4.4. Prueba en terreno

Se realizó un piloto en terreno el día 23 de octubre de 2018 en la hora punta de la tarde, entre las 18:00 y las 19:00 hrs el piloto contó con dos encuestadores, uno presente en cada fila. La validación en terreno fue de gran ayuda para detectar posibles errores no considerados durante el diseño, si la extensión de la encuesta es adecuada y si los pasajeros presentaban dificultades en comprender los juegos de elección PD.

De la experiencia, se registró una duración media para la encuesta es de 3 minutos en ambas filas y se observó que los usuarios lograban responder los juegos de elección PD. El diseño final de las encuestas se puede apreciar en la Tabla 12 y Tabla 13 . El conjunto de juegos de elección es descrito en la sección de anexos, Anexo 3: Conjunto de juegos de elección de la encuesta .

4.5. Experimento PR-PD

El experimento se llevó a cabo el martes 13 de noviembre de 2018 entre las 18:00 y las 20:30 hrs (Figura 8), intervalo que coincide con el horario de punta tarde en Santiago de Chile en un día laboral (Muñoz, et al., 2016). Se contó con 7 encuestadores, tres (3) en la fila de parados y cuatro (4) en la fila de sentados, un recolector, un auxiliar de recolección, un camarógrafo y un supervisor, los cuales recibieron una capacitación sobre el experimento y sus funciones individuales durante la semana.



Figura 8. Fila de sentados, experimento PR-PD.

Tabla 12. Encuesta de usuarios PR-PD en la fila de parados.

Recorrido:			Fecha:			Encuestador:												
									Preguntas Cartilla									
ID	Hr. Inc Fila	Folio Tarjeta	Paradero Bajada	Tiempo viaje en el bus	Propósito Viaje	1	2	3	Género F/M	Edad	Motivación por viajar parado	Cuantas Pp. Hogar?	Tiene auto? Ctos.?	Lic. de cond.?	Rango Ingreso Hogar	N° BIP	Observaciones	
1	:				<input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Estudios <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Otros:													
2	:				<input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Estudios <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Otros:													
3	:				<input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Estudios <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Otros:													

Tabla 13. Encuesta de usuarios PR-PD en la fila de sentados.

Recorrido:			Fecha:			Encuestador:														
									Preguntas Cartilla											
ID	Largo Fila	Hr. Inc Fila	Folio Tarjeta	Paradero Bajada	Tiempo viaje en el bus	Propósito Viaje	1	2	3	Género F/M	Edad	Motivación por viajar sentado	Ctas. Pp. Hogar ?	Tiene auto? Ctos.?	Lic. de cond. ?	Rango Ingreso Hogar	N° BIP	Obs .		
1		:				<input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Estudios <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Otros: _____						<input type="checkbox"/> C. Cansancio <input type="checkbox"/> Salud <input type="checkbox"/> C. Alerta <input type="checkbox"/> S. Robo <input type="checkbox"/> C. Carga <input type="checkbox"/> S. Acoso <input type="checkbox"/> C. Sofocamiento <input type="checkbox"/> S. Accidente <input type="checkbox"/> Otros: _____								
2		:																		
3		:				<input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Estudios <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Otros: _____						<input type="checkbox"/> C. Cansancio <input type="checkbox"/> Salud <input type="checkbox"/> C. Alerta <input type="checkbox"/> S. Robo <input type="checkbox"/> C. Carga <input type="checkbox"/> S. Acoso <input type="checkbox"/> C. Sofocamiento <input type="checkbox"/> S. Accidente <input type="checkbox"/> Otros: _____								

Previo a dar inicio, se avisó a los funcionarios del Transantiago y a los vendedores ambulantes del paradero sobre la actividad a realizarse. Se mantuvo una alta demanda de pasajeros y frecuencia de buses durante casi todo el experimento (Tabla 14), siendo un tercio de los vehículos de tipo articulado. Se entrevistaron un total de 147 personas, 118 en la fila de sentados y 29 en la fila de parados.

Tabla 14. Demanda de pasajeros y oferta de buses durante experimento PR-PD.

Intervalo	N° de Encuestados	N° pasajeros	N° de buses (articulados)
18:00 - 18:29	30	270	6 (2)
18:30 - 18:59	30	315	9 (3)
19:00 - 19:29	23	245	8 (1)
19:30 - 19:59	36	257	7 (3)
20:00 - 20:29	28	273	6 (4)
<i>Total</i>	147	1360	36 (13)

4.6. Conclusiones

En este capítulo se aplicó exitosamente el experimento PR-PD al paradero PC-37 de la ciudad de Santiago. Las visitas exploratorias a terreno y la realización de una prueba piloto fueron fundamentales para entender los factores que influyen en el comportamiento de los viajeros en los paraderos y para entregar información adicional no identificada en el diseño original.

Debido a las limitaciones de presupuesto y tiempo se optó por la realización de un único paradero, que corresponde al paradero donde se hicieron los experimentos PR de Castillo y Guevara (2019). Es importante resaltar la necesidad futura de realizar un experimento adicional en otro paradero de la ciudad y de este modo que se valide la metodología en otra población.

Finalmente, si bien la disposición a realizar la encuesta fue en general buena, se recomienda en un futuras investigaciones el uso de incentivos que capten el interés de los viajeros, como es la participación en el sorteo de un bono de regalo.

CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

5.1. Introducción

El siguiente capítulo muestra la descripción de las variables a utilizar en esta investigación. La base de datos contiene los cuatro (4) experimentos PR realizados por Castillo y Guevara (2019) y el experimento de datos mixtos PR-PD. En una primera instancia, se presenta de manera agregada los resultados obtenidos de las encuestas. Más adelante, se realiza un análisis descriptivo de las variables de interés a ingresar en el modelo de elección. Finalmente, los resultados obtenidos son comparados con datos poblacionales provistos por la Encuesta Origen-Destino del 2012, el Censo de Población y Vivienda del 2017 y el Manual del Investigador de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (Casen) del 2017.

5.2. Características principales

La información de la base de datos proviene de los experimentos realizados entre 2016 y 2018 en el paradero PC-37 de la red de sistema de transporte público de la ciudad de Santiago. Las características principales de los experimentos como: la fecha, la fuente de datos, el número de encuestados y los eventos de interés de cada experimento son presentadas en la Tabla 15.

Tabla 15. Características principales de los experimentos

ID	Fecha	Fuente	N° de encuestados	Eventos
1	Septiembre, 2016	PR	147	No se registran eventos.
2	Octubre, 2016	PR	92	Accidente en la ruta.
3	Noviembre, 2016	PR	106	Semi final de campeonato nacional de fútbol.
4	Junio, 2017	PR	92	No se registran eventos.
5	Noviembre, 2018	PR y PD	147	Línea 6 de metro operativa.

Es importante tener en cuenta los eventos de interés ocurridos en cada experimento debido a que pueden alterar el funcionamiento del paradero y por ende, el comportamiento de los viajeros. El día del experimento 2 se registró un accidente en la vía que retrasó la llegada de buses al paradero y el día del experimento 3 se jugó una semifinal del campeonato nacional de futbol (Colo-Colo vs. Universidad Católica) y las vías se encontraban más congestionadas de lo normal, como consecuencia las mediciones de tiempos de espera en este experimento

fueron más elevadas que en los demás experimentos (Figura 9) y hubo una mayor proporción de personas que eligieron viajar de pie.

Por otro lado, para la fecha del experimento 5 la línea 6 del Metro de Santiago ya había sido inaugurada, la inclusión de un nuevo modo de transporte con menor tiempo de viaje dentro del conjunto de posibles alternativas de los viajeros puede repercutir directamente en sus decisiones de viaje, especialmente en aquellos que el tiempo de viaje es el atributo más importante. El recorrido de la línea 6 es paralelo a la ruta del servicio 104 hasta desde la Av. Providencia hasta la Av. Grecia, lo que representa un 30% de la distancia del recorrido aproximadamente y según los datos, el 63% de los pasajeros encuestados se dirigían a destinos previos a la Av. Grecia.

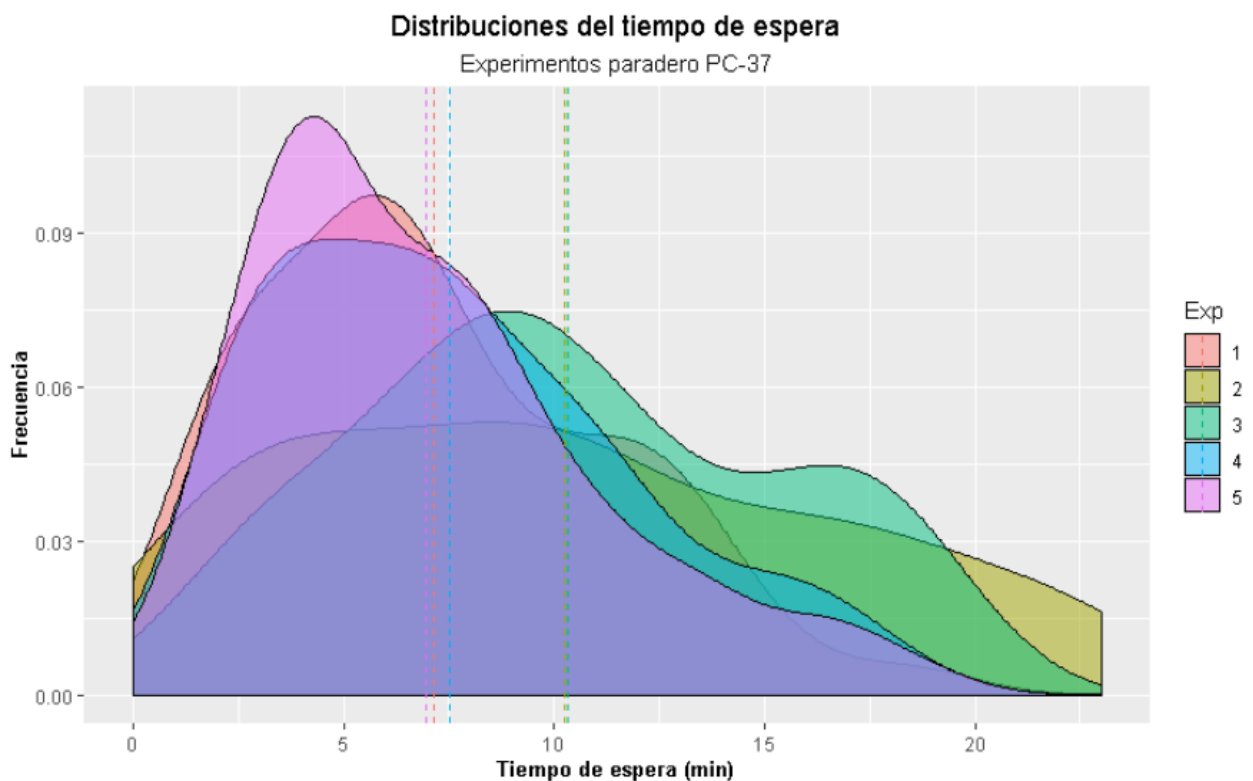


Figura 9. Distribuciones del tiempo de espera según experimento.

La Tabla 16 reporta estadísticas descriptivas de las variables a usar en los modelos de elección. Se excluyen del análisis las observaciones que contengan datos erróneos o inconsistentes y a los viajeros arrepentidos debido a que su comportamiento dinámico no hace parte de la modelación.

Tabla 16. Estadísticas descriptivas de los experimentos.

Definición de variable	Elección	Promedio	S. D	Min	Máx.
<i>Atributos de las alternativas</i>					
Tiempo de espera (en min)	Total	8,1	4,8	0	23
	Parado	5,5	3,8	0	16
	Sentado	9,3	4,8	1	23
Tiempo de viaje en vehículo (en min)	Total	26,1	19,1	4,0	76,4
	Parado	17,2	14,4	4,0	76,4
	Sentado	30,1	19,6	5,4	76,4
<i>Atributos de los individuos</i>					
Edad (en años)		39	15	15	81
Género (1 si es hombre, 0 si es mujer)		0,37	0,5	0	1
Ingreso del hogar (1 más bajo, 6 más alto)		4,3	1,3	1	6
Número de personas en el hogar		3	1,5	1	10
Número de autos en el hogar		0,76	0,8	0	4
Licencia de conducir (1 si tiene, 0 si no tiene)		0,62	0,5	0	1

5.2.1. Tiempo de espera en paradero

El tiempo de espera en paradero (t_e) es obtenido mediante las mediciones en terreno durante el experimento, es igual al tiempo transcurrido entre que el viajero se incorpora en una fila del paradero e ingresa al bus. Del análisis descriptivo se observa que el pasajero que viaja sentado espera en promedio 3,7 minutos más en el paradero que el pasajero que viaja de pie. La disposición a esperar del viajero se define como el tiempo adicional que un viajero de la fila de sentados espera en el paradero con el fin de obtener un asiento en el viaje, la disposición a esperar no es medida directamente, por lo que debe ser imputada basada en las observaciones de los viajeros de la fila de parados, esta metodología es descrita con mayor detalle en la sección 0.

La Figura 11 muestra la distribución de las disposiciones a esperar de los viajeros en el paradero. Se descartaron del análisis a los viajeros de la fila de sentados que no tuvieron que esperar un tiempo adicional para obtener un asiento, debido a que la demanda en el paradero les permitió ingresar inmediatamente al primer bus. Se observa que los pasajeros de la fila de sentados esperaron un promedio de 4,2 minutos más en el paradero con el fin de obtener un asiento e inclusive, hay registros de viajeros que esperaron hasta 23 minutos adicionales en el paradero. Lo anterior es una evidencia empírica de la importancia que algunos viajeros del paradero dan al disponer de un asiento en el transporte público.

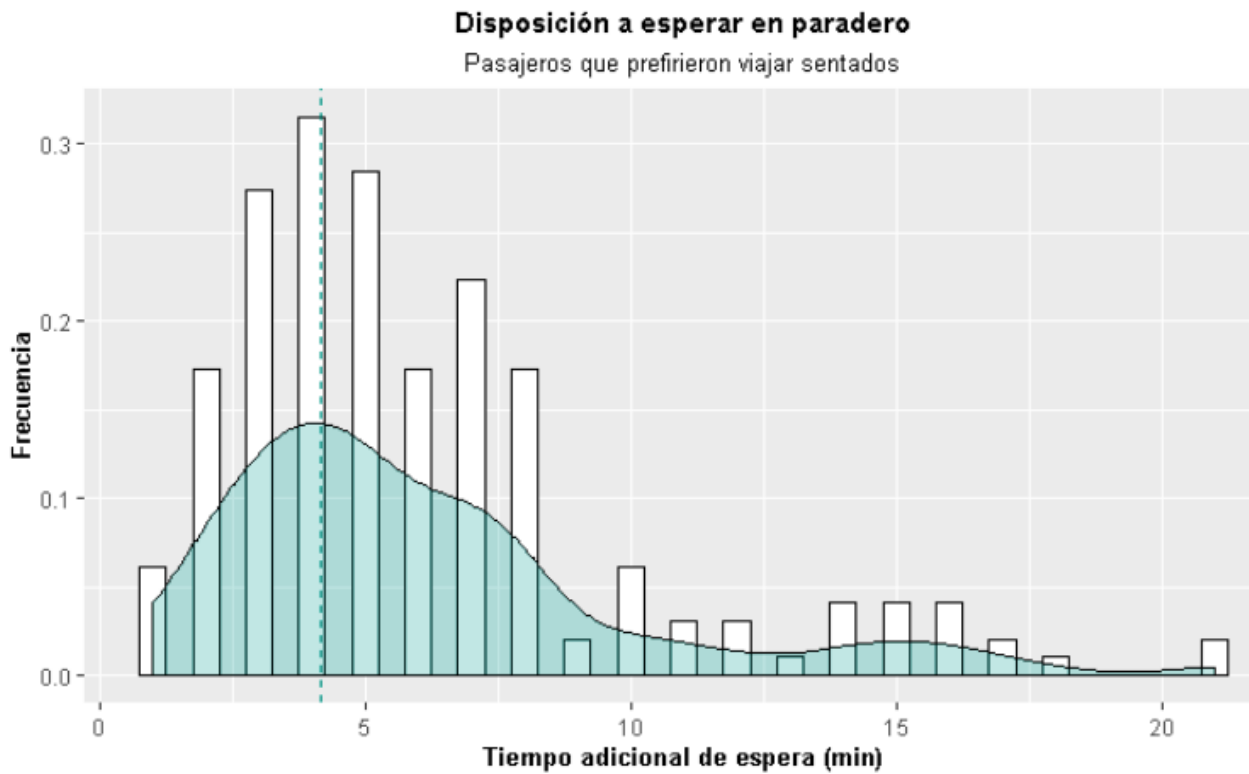


Figura 10. Tiempo adicional en el paradero de los viajeros de la fila de sentados.

5.2.2. Tiempo de viaje en el vehículo

Al no tener mediciones en terreno del tiempo de viaje en el bus (t_v) de los encuestados en el experimento PR este debe ser calculado. El t_v se obtiene como la razón entre la distancia en ruta desde el paradero PC-37 hasta el paradero de destino declarado por el viajero en la encuesta y la velocidad de operación del servicio registrada por el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM). La metodología para calcular el t_v del pasajero se describe en detalle en la sección 6.3.2.

La tabla 16 muestra que el promedio del t_v de los pasajeros es de 26 minutos, el valor mínimo es de 4 minutos hacia el paradero PC-23 en Providencia y el valor máximo es de 76,5 min hacia el paradero PF-4 en Puente Alto. También se observa que el pasajero que viaja sentado viaja en promedio 13 minutos más en el paradero que el pasajero que viaja de pie, de lo que se infiere que hay una relación proporcional entre la disposición a esperar y el tiempo de viaje. La Figura 11 presenta la variación de la disposición a esperar de los viajeros con respecto a su tiempo de viaje en el bus.

El gráfico muestra mucha dispersión en los tiempos de espera por un asiento en función del largo del viaje, indicación de que hay más variables que también juegan un rol en la intención de esperar por un asiento. Por otro lado, cabe resaltar que la disposición a esperar en algunos casos corresponde a más de la mitad del tiempo de viaje en vehículo e incluso igual, otro vestigio de la importancia para algunos viajeros de disponer de un asiento de bus.

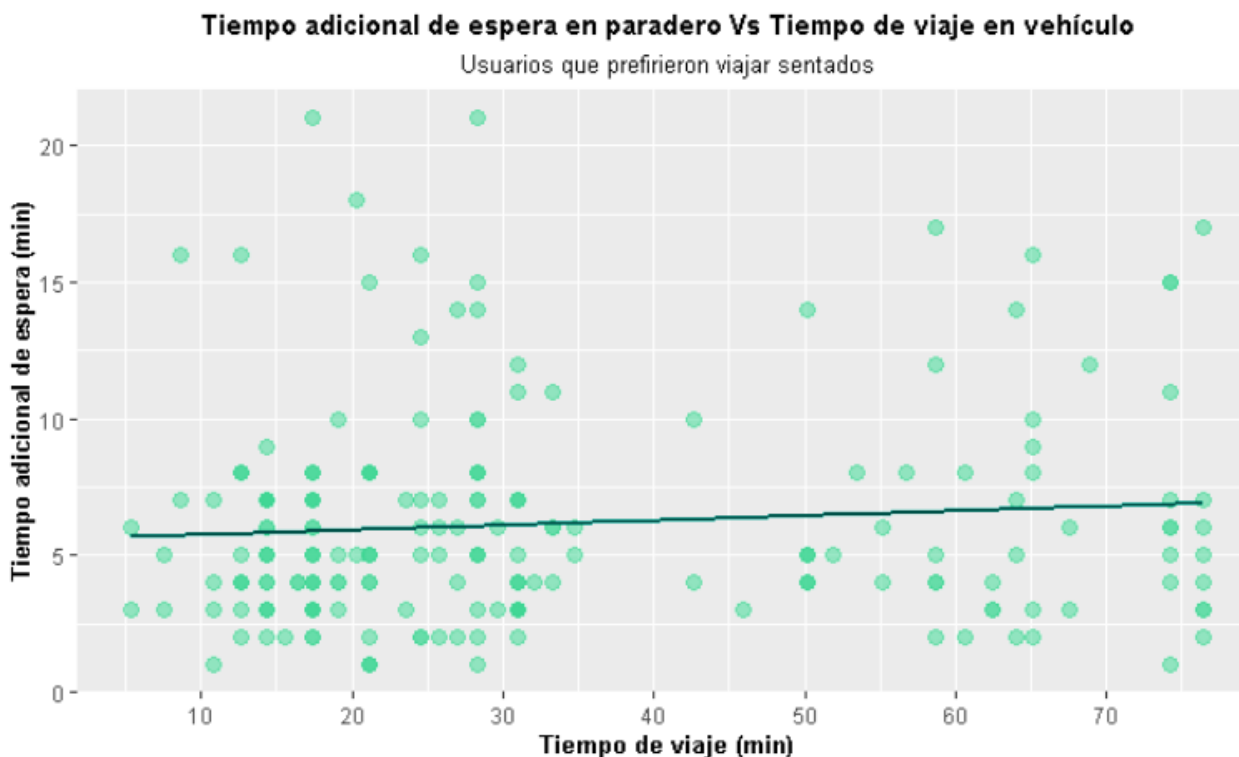


Figura 11. Tiempo de espera adicional por un asiento de los viajeros en función de su tiempo de viaje.

5.2.3. Edad y Género

La variable género toma el valor de 1 si el viajero es hombre y 0 si es mujer. La Tabla 16 muestra que el 64% de los encuestados son mujeres, este resultado es consistente con la información de La Encuesta Origen-Destino de 2012 que registra que las mujeres utilizan más el transporte público que los hombres (BID, 2019) en una relación de 53% vs 45%, respectivamente. Por otro lado, la proporción de mujeres del Censo 2017 para la población de las comunas de Providencia, Ñuñoa, Macul, La Florida y Puente Alto es del 53% (Censo de Población y Vivienda, 2017). El patrón elevado de participación de mujeres en todos los experimentos también puede explicarse a que en general, las mujeres tienen una mayor predisposición en responder cuestionarios (Castillo y Guevara, 2019).

Por otro lado, se observa que la edad media de los viajeros encuestados es 39 años. La Figura 12 muestra una pirámide de proporción de edades que permite comparar los resultados de los experimentos con los datos poblacionales proyectados del Censo 2017 para las comunas de Providencia, Ñuñoa, Macul, Florida y Puente Alto. Se observa en la pirámide de edades que la proporción de los experimentos guarda relación con los datos poblacionales de la INE, a excepción de una mayor proporción de viajeros entre los 25 y 39 años y la poca participación de adultos mayores, esto último puede deberse a que los adultos mayores tenían preferencia de entrada en el paradero y por lo tanto, era menos probable que se contaran con el tiempo necesario para contestar la encuesta.

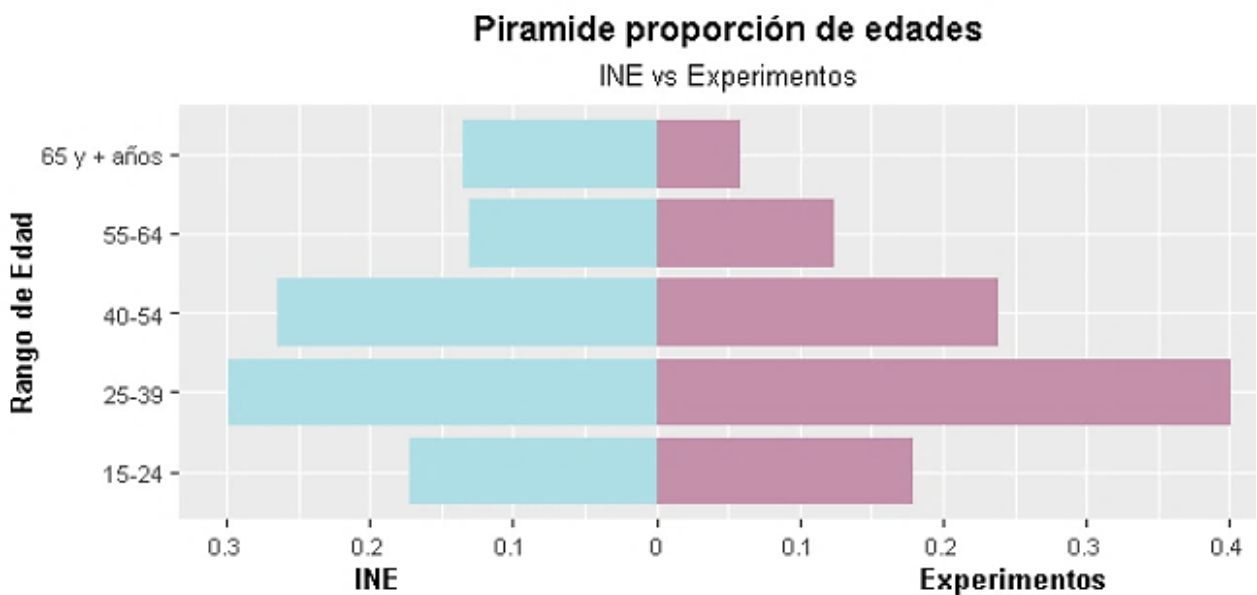


Figura 12. Pirámide de proporción poblacional INE vs Experimentos.

5.2.4. Ingreso per cápita

Una variable de interés en esta investigación es el ingreso per cápita (*Ing_pp*), dado que permite al corregir el nivel ingreso del individuo de acuerdo con el tamaño del hogar. *Ing_pp* no se preguntó directamente en la encuesta ya que es probable que los viajeros no sepan el valor o no respondan correctamente, es estimado mediante dos atributos declarados por los viajeros en la encuesta: el ingreso líquido del hogar (*Ing_hogar*) y el número de personas del hogar (*PP_hogar*). De los 548 individuos de la muestra, el 15% no tuvo tiempo suficiente para declarar el ingreso del hogar y el 12% prefirió no responder. Por lo que se tiene la información del ingreso del hogar de 432 encuestados.

De la Tabla 16 se observa que el *Ing_hogar* promedio de los viajeros cae entre los rangos 4 y 5 de ingreso según la encuesta CASEN, lo que se traduce a un ingreso medio-alto, mientras que el *PP_hogar* promedio es de 3, con un valor de hasta diez (10) personas en el hogar. Este último valor es consistente con el tamaño medio de hogar para la Región Metropolitana de Santiago de 3,2 habitantes por hogar. Según la recomendación del Manual del Investigador de la Casen 2017 el ingreso por persona se calculará como el *Ing_hogar* por *PP_hogar* elevado a la elasticidad de equivalencia para Chile (Ecuación (17)). Esta última tiene un valor de 0,7 y considera las economías de escala del hogar, es decir que para un mismo nivel de ingreso el tamaño de la familia ejerce una restricción sobre el presupuesto menor que el proporcional (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2017). Como el ingreso del hogar está segmentado por grupos, se tomó como referencia el valor medio de cada intervalo.

$$Ing_pp_n = \frac{Ing_hogar_n}{(PP_hogar_n)^{0,7}} \quad (17)$$

Una vez obtenido el *Ing_pp* para cada individuo, los resultados se comparan con los datos de la Encuesta Casen 2015 para la distribución del ingreso per cápita de los hogares del Gran Santiago (Figura 13).

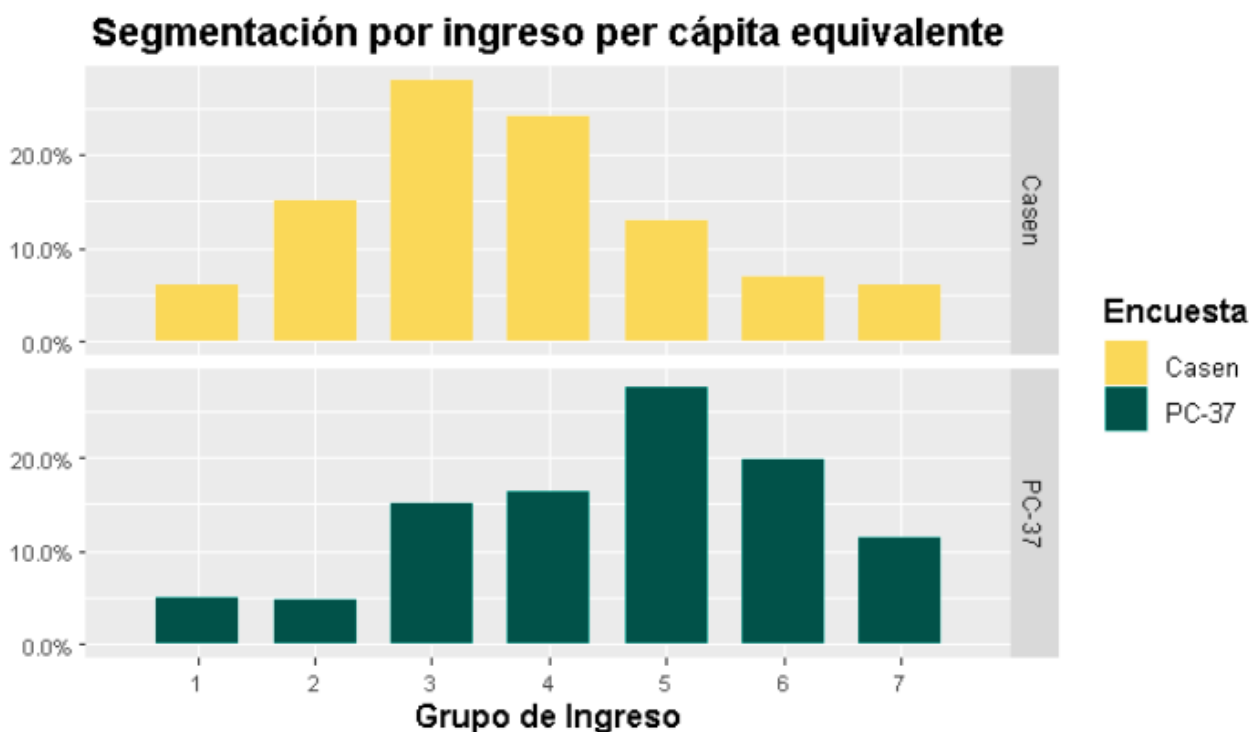


Figura 13. Comparación de ingreso por persona por segmentos de la CASEN 2015.

Se puede observar que las distribuciones presentan tendencias distintas, la distribución de ingreso per cápita de los encuestados está sesgada a los ingresos altos. Además, el 50% del ingreso per cápita equivalente de los viajeros encuestados concentrados en los grupos de ingreso 5 y 6 que corresponde al rango entre los \$559.000 y los \$1'608.000. No obstante, es importante mencionar que la población de las comunas de Providencia, Ñuñoa, Macul y La Florida está compuesta fundamentalmente por grupos socioeconómicos medios y medio-altos. La Tabla 17 muestra el promedio de ingresos del hogar proyectado de las comunas destino del servicio 104 según la Casen 2015 y de ingresos del hogar declarado por los viajeros en el experimento. El *Ing_hogar* en la encuesta.

Tabla 17. Promedio de ingresos del hogar por comuna.

<i>Nombre Comuna</i>	CASEN 2015 (\$)	Experimento (\$)
<i>Providencia</i>	2'567.130	1'338.636
<i>Ñuñoa</i>	1'858.191	1'577.152
<i>Macul</i>	1'188.637	1'376.229
<i>La Florida</i>	931.329	1'174.390
<i>Puente alto</i>	854.073	736.842

En la tabla anterior se observa que las personas con menor ingreso en promedio se desplazan a las comunas de Florida y Puente Alto, estas comunas son las que se encuentran a una distancia más lejana del paradero PC-37. La Figura 14 muestra la variación del *Ing_pp* de los viajeros con respecto a su tiempo de viaje en bus se observa una tendencia a que los pasajeros de menores ingresos en el paradero tienen tiempos de viajes mayores.

Es muy probable que exista endogeneidad entre las variables de ingreso y tiempo de viaje, se espera que las personas de altos ingresos sean más sensibles a atributos relacionados con la comodidad, y por ende estén más propensas a esperar en la fila. Sin embargo, el paradero PC-37 las personas de altos ingresos viajan menos y por lo tanto, están menos dispuestas a esperar por un asiento. Este análisis es necesario tenerlo en cuenta en la modelación para no determinar conclusiones erróneas respecto a la disposición esperar de los viajeros según su grupo de ingreso.

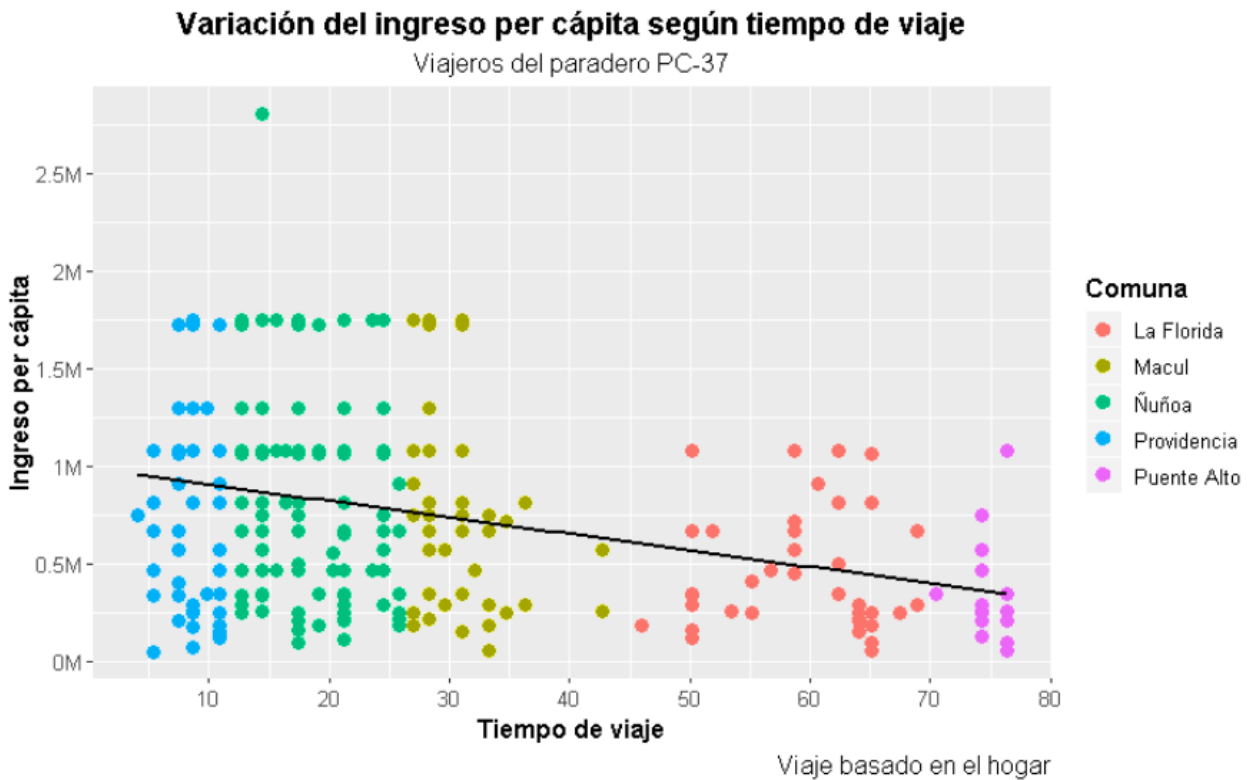


Figura 14. Variación de Ing_{pp} de los viajeros con respecto al tiempo de viaje.

5.2.5. Licencia de conducir y número de autos en el hogar

Del análisis descriptivo se conoce que el 62% de los viajeros tienen licencia de conducir, de este grupo de viajeros con licencia el 69% tiene uno o varios autos disponibles en el hogar. Esto quiere decir que tan sólo el 43% de los usuarios del paradero tiene licencia de conducir y por lo menos un auto disponible en el hogar.

Siguiendo lo anterior, se caracterizan los usuarios en 4 grupos que son contruidos según la posesión de uno o más autos en el hogar y licencia de conducir. En la Tabla 18 se muestra la proporción de viajeros, tiempo de viaje en bus e ingreso promedio para cada grupo. Se observa que las variables de ingreso, tiempo de viaje y licencia están directamente relacionadas y los viajeros con posesión de licencia tienen mayores ingresos y menores tiempos de viaje que aquellos sin licencia. Es necesario el entendimiento de estas relaciones al momento de la modelación, debido a que puede suponerse que las personas que cuentan con una licencia de conducir están menos dispuestas a esperar por un asiento, cuando realmente el factor que causa este resultado es el que estas personas viajan en promedio menos tiempo.

Tabla 18. Caracterización de viajeros según posesión de autos en el hogar y licencia de conducir.

<i>Grupo</i>	<i>Auto</i>	<i>Licencia</i>	<i>Proporción de viajeros</i>	<i>tv</i>	<i>Ing_pp</i>
1	0	0	0,21	30,7	\$534.123
2	0	1	0,19	24,7	\$846.368
3	1	0	0,17	31,4	\$560.037
4	1	1	0,43	23,9	\$885.980

5.2.6. Motivación por la alternativa elegida

Es de interés de esta investigación conocer los motivos que incitan a los pasajeros a elegir una alternativa, que ayuden a generar hipótesis de interés e interpretar los resultados obtenidos en la modelación.

Los mayoría de los encuestados en la fila de sentados respondieron como motivo por el que elegían viajar sentados atributos relacionados a la comodidad como: cansancio, salud, llevar carga pesada, entre otros. Algunos mencionaron atributos relacionados con la seguridad como: accidentes, robo, acoso y/o estar alerta ante cualquier eventualidad. De lo anterior es importante mencionar que el miedo a ser acosado en el transporte público fue una respuesta exclusiva de las mujeres.

Alguno de los viajeros que eligieron viajar sentados hicieron hincapié en que iban a realizar un viaje largo. Mientras que algunos usuarios querían usar el tiempo en el vehículo para realizar actividades de ocio como: conversar con amigos, dormir, leer, ver videos y responder correos, entre otros.

En cambio, el principal motivo por la que los encuestados que decidieron viajar de pie es el llegar más rápido a su destino, el segundo motivo más mencionado por los pasajeros es el realizar un viaje corto. En las figuras 15 y 16 se muestran las nubes de palabras de las respuestas de los pasajeros.

Motivación por viajar sentado



Figura 15. Nube de palabras de motivación de los pasajeros por viajar sentados.

Motivación por viajar de pie



Figura 16. Nube de palabras de motivación de los pasajeros por viajar de pie.

5.2.7. Encuesta PD

La base de datos PD proviene de la encuesta PD realizada en el experimento PR-PD, a cada viajero le correspondían tres juegos de elección, en cada juego de elección el encuestado debía seleccionar entre una de las dos rutas hipotéticas variantes del recorrido 104 que diferían en tiempo de espera en el paradero (te^{PD}), tiempo de viaje en el bus (tv^{PD}) y el viajar parado o sentado (S^{PD}). Las elecciones de los viajeros fueron almacenadas y procesadas del cual se obtuvieron un total de 438 elecciones hipotéticas de ruta, 308 provenientes de viajeros en la fila de sentados y 86 en la fila de parados.

La Tabla 19 resume las estadísticas descriptivas de las variables la encuesta PD para el total de las observaciones y en función de la elección PR de los viajeros. Para construir la tabla se descartó el tercer juego de elección de cada encuesta PD debido a que la condición de viajar de pie o sentado no variaba en este juego. Se observa que el promedio del te^{PD} es de 8,2 minutos y que el valor para los viajeros en la fila de parados y arrepentidos es menor que para los viajeros sentados. Con respecto al tv^{PD} , los viajeros en la fila de sentados tienen un promedio significativamente mayor a los viajeros de la fila de parados y a los arrepentidos con un valor de 37,2, 24,3 y 20,5 minutos respectivamente.

Tabla 19. Estadísticas descriptivas de la encuesta PD.

Definición de variable	Elección PR	Promedio	S. D	Min	Máx.
<i>Atributos de las alternativas</i>					
Tiempo de espera (en min)	Total	8,2	4,6	2	16
	Parado	6,9	4,5		
	Arrepentido	6,9	4,4		
	Sentado	8,9	4,6		
Tiempo de viaje en vehículo (en min)	Total	32,0	21,0	3	90
	Parado	24,3	21,6		
	Arrepentido	20,5	14,9		
	Sentado	37,2	20,3		
Viajar sentado (1 si viaja sentado, 0 sino).	Total	0,50	0,50	0	1
	Parado	0,16	0,37		
	Arrepentido	0,33	0,47		
	Sentado	0,66	0,47		

Finalmente, en la encuesta PD los encuestados eligieron viajar sentados el 50% de las veces, este porcentaje es menor al esperado debido a que se observó que el 64% de los pasajeros viajó sentado en el bus. Asimismo, el 66% de las veces la elección PD de los viajeros sentados coincidió con su elección real, en contraste con el 84% de los viajeros parados. Este resultado es interesante y abre la pregunta si el tener claridad de los valores de los atributos en los juegos de elección influyó en la elección de ruta de los encuestados.

5.3. Conclusiones

En este capítulo se realizó la descripción de los datos recolectados en el experimento PR-PD y experimentos previos realizados por Castillo y Guevara (2019). El análisis permitió conocer las tendencias agregadas de los datos e información de la distribuciones de las variables y sus estadísticos principales. Se observa una notable diferencia en los tiempos de espera en paradero y los tiempos de viaje en el bus de los viajeros según su elección de fila. De lo cual se puede inferir que mientras mayor sea la distancia de viaje de los usuarios mayor es su disposición a esperar por un asiento en el viaje.

Dado que los experimentos fueron realizados en fechas distintas y con un diferente equipo encuestador, pueden estar sujetos a diferencias circunstanciales y eventualidades que pueden diferir en los resultados, es importante incorporar en la modelación factores de escala de modo de corregir los efectos inherentes a cada experimento.

Es importante el entendimiento de las relaciones entre atributos que puedan llevar a errores en las hipótesis de la modelación. En este caso, las variables socioeconómicas de ingreso per cápita y licencia de conducir se encuentran estrechamente relacionadas entre sí, y por naturaleza del contexto del estudio, son inversamente proporcionales a la distancia al paradero de destino. Dado que es esperable que las personas que viajan distancias largas y/o pertenecen a un nivel socioeconómico alto tengan mayor sensibilidad a la comodidad del viaje se produce endogeneidad entre ambos atributos.

Finalmente, otras consideraciones vistas en esta sección se describen a continuación:

- Los adultos mayores tienen preferencia de entrada de bus, lo que puede influir en los valores observados del tiempo de espera y sus elecciones en la encuesta PD.
- La distribución del ingreso per cápita de los encuestados esta sesgada a los niveles medio-alto y alto con respecto a la distribución para la población de Santiago, sin embargo los valores promedio de ingreso del hogar por comuna coinciden con las proyecciones poblacionales de ingreso del hogar de las comunas de los paraderos de destino de los viajeros.
- Si bien hay viajeros que poseen licencia de conducir, esto no significa que dispongan de un automóvil para uso, la combinación de estas variables puede ser una buena alternativa en la modelación.
- Existen viajeros que prefieren estar de pie a pesar de que haya asientos disponibles, entre los principales motivos declarados está el que les es indiferente, les gusta hacer deporte, pasan la mayor parte del día sentados o por connotaciones culturales como preferir dar el asiento a adultos mayores.
- La proporción de encuestados que eligió viajar sentado en la encuesta PD es significativamente menor a lo observado en la elección PR. Se sospecha que el conocimiento del valor exacto del tiempo de espera y el tiempo de viaje influyó en la elección de ruta de los encuestados.

CAPÍTULO 6: MODELACIÓN

6.1. Introducción

En este capítulo se describen, estiman y analizan los resultados de los modelos de elección discreta que representan la elección de los usuarios en el paradero PC-37. El marco de especificación de la modelación corresponde a la teoría de utilidad aleatoria descrito en la sección 2.3.1. En una primera instancia se define el conjunto de alternativas disponibles para cada fuente de datos y las variables explicativas del modelo de elección. Luego se describen las hipótesis *a priori*, la estructura y la forma funcional con el propósito de desarrollar un modelo de elección realista, eficiente y consistente. Mas adelante, se estiman los parámetros de la función de utilidad mediante máxima verosimilitud con la ayuda del paquete maxLik del entorno de programación R Studio. Con los resultados obtenidos se calcula el valor del tiempo de viaje de pie (SM) para distintos grupos de usuarios del paradero. Por último, se comparan los SM obtenidos en esta investigación con aquellos disponibles en la literatura de valoración por un asiento (Sección 2.5).

6.2. Alternativas del modelo de elección

El modelo de elección está compuesto por dos fuentes de información, los datos de preferencias reveladas (PR) están basados en la elección binomial de fila de los viajeros al momento de su llegada al paradero, los individuos en la modelación deben elegir entre viajar de pie o viajar sentados en un compromiso con el tiempo de espera en paradero (te). Dada la naturaleza de la fuente de los datos, se desconoce el conjunto completo de alternativas disponibles por los viajeros, el modelo se construye bajo el supuesto que los viajeros eligen entre la fila de parados y sentados y que, una vez completada su elección, no pueden cambiar de fila. Siguiendo lo anterior, los viajeros arrepentidos son descartados de la modelación.

En la encuesta de preferencias declaradas (PD) el conjunto de alternativas disponibles se selecciona por diseño. Los viajeros deben elegir entre dos rutas hipotéticas variantes del recorrido 104: rutas 104-A y 104-B donde cada ruta presenta una combinación distinta de atributos y el encuestado seleccionará aquella alternativa que mejor se ajuste a sus preferencias. La tabla 20 muestra la descripción de las alternativas disponibles para cada fuente de datos.

Tabla 20. Descripción de las alternativas del modelo de elección según fuente de datos.

<i>Fuente de datos</i>	N°	Alternativa	Descripción
PR	1	Fila de parados	<ul style="list-style-type: none"> • Condición de viaje: Parado • El usuario aborda el bus inmediatamente a su llegada al paradero.
	2	Fila de sentados	<ul style="list-style-type: none"> • Condición de viaje: Sentado. • Tiempo de espera en paradero: El usuario debe esperar hasta que haya un asiento disponible, es probable que deba dejar pasar uno o más buses hasta poder abordar un bus.
PD	1	Ruta 104-A	El usuario debe elegir entre dos rutas de bus paralelas que difieren en los atributos de tiempo de espera, tiempo de viaje y condición en el viaje.
	2	Ruta 104-B	

6.3. Variables explicativas del modelo de elección

De los experimentos realizados en el paradero PC-37 se recolectó la información de los atributos que definen los aspectos sistemáticos del comportamiento de elección de viaje de los usuarios. Dado que en el experimento PR solo se registraron los atributos de la alternativa elegida por cada sujeto, fue necesario además hacer algunos supuestos para imputar las variables que no fueron directamente observadas. Tomando en cuenta el análisis descriptivo de los atributos reportado en el capítulo anterior, estas variables se construyeron como se indica a continuación:

6.3.1. Tiempo de espera

La variable de tiempo de espera (te) se define como el tiempo, expresado en minutos, que los usuarios deben esperar una vez llegan al paradero hasta la salida del bus que abordan desde el paradero. En los datos PR, un grupo de los viajeros del paradero PC-37 decide esperar un tiempo adicional en el paradero con el fin de asegurar un asiento al inicio de viaje. De manera similar, en el primero de los tres juegos de elección de la encuesta PD el encuestado debe elegir entre un te corto y viajar de pie o un te largo y viajar sentado, en el tercer juego de elección el viajero debe elegir entre un te corto y un tiempo de viaje largo, o viceversa. Se puede afirmar que en ambas fuentes de datos existe un fuerte compromiso entre el tiempo de espera y el disponer de un asiento en el viaje, por lo que esta variable es fundamental en la modelación para explicar la elección.

Tiempo de espera en el modelo PR

En el experimento PR se tiene registro de la hora en que los usuarios se incorporan a las filas, la que se asumirá como la hora de llegada al paradero. También se tiene información del bus que abordó cada individuo n y la hora de salida del paradero. De este modo, el te de la alternativa seleccionada por el individuo puede calcularse directamente de los datos observados mediante la ecuación (16):

$$te_n = hsb_n - hif_n \quad (18)$$

Donde:

te_n = tiempo de espera del individuo n .

hsb_n = hora de salida del bus que abordó el individuo n .

hif_n = hora de incorporación a la fila del individuo n .

Sin embargo, no se tiene información del tiempo de espera de la alternativa no seleccionada por el individuo. El procedimiento para estimar este valor se basa en imputar un horario hipotético de subida al bus (hsb). Los detalles de la aplicación de este enfoque son descritos a continuación:

- **Tiempo de espera alternativa de pie:** El horario hipotético de subida al bus de aquellos individuos que viajaron sentados para la alternativa viajar de pie corresponde al horario de salida del primer bus luego de su llegada al paradero. Este supuesto es muy razonable pues el 94% de los usuarios que eligieron irse de pie abordó el primer bus. De este modo, el tiempo de espera de pie (te_p) se calcula mediante la ecuación 18.
- **Tiempo de espera alternativa sentado:** el tiempo de espera sentado (te_s) de aquellos individuos que viajaron de pie se estima según el caso correspondiente.

Caso 1: Sea n_1 un individuo que elige viajar de pie y n_2 un individuo que elige viajar sentado y $hif_{n_1} = hif_{n_2}$ entonces se asume que ambos individuos tienen te_s iguales.

Caso 2: Si no existe un individuo n_2 como el descrito en el caso 1 el procedimiento se calcula mediante una media móvil central:

1. Se identifica al par de individuos (n_3 y n_4) de la fila de sentados cuyo $hif_{n_3} < hif_{n_1} < hif_{n_4}$ y la diferencia entre los hif es mínima y no mayor a 10 minutos.
2. Del promedio de los tiempos de espera de los individuos n_3 y n_4 se obtiene el tiempo de espera sentado promedio (\bar{te}_s) para el individuo n_1 .
3. Se calcula una hora de salida de bus hipotética (\widetilde{hsb}_{n_1}) para el individuo n_1 sumando el \bar{te}_s al hif_{n_1} . Esta \widetilde{hsb}_{n_1} no necesariamente concuerda con el horario de salida de un bus, por ende se busca el $hsb \geq \widetilde{hsb}_{n_1}$ más cercano.
4. Con el hsb del paso anterior se obtiene el te_s del individuo n_1 con la ecuación 18.

Caso 3: Si sólo existe un individuo n_3 o n_4 de los descritos en el caso anterior, \widetilde{hsb}_{n_1} se calcula con el tiempo de espera del individuo disponible, con este valor se obtiene el te_s del mismo modo que en el caso 2.

Por medio del caso 1 se obtuvieron el 39% de los te_s , mientras que del caso 2 y el caso 3 se obtuvieron el 56% y 7% respectivamente. Se considera que los supuestos realizados para los casos son bastantes plausibles por los siguientes motivos:

- Para que el supuesto del caso 1 no se cumpla debe ocurrir la situación particular en la que el número de pasajeros que se encuentren en cola, incluido n_2 , sea igual a la cantidad de asientos disponibles del bus, de modo que el individuo n_1 no pueda ingresar.
- Por otro lado, la mayoría de las veces $hsb_{n_3} = hsb_{n_4}$ en el caso 2 y por lo tanto la hsb_{n_1} estimada coincidía con la de los individuos n_3 y n_4 .
- Por último, si bien el caso 3 puede ser el supuesto más cuestionado de los te_s imputados corresponden solo al 7% del total de los individuos.

Otra manera de imputar el te_s es mediante el uso de medias móviles centrales ponderadas. En donde el \bar{te}_s es calculado de los n individuos con las hif más cercanas a hif_{n_1} , con un peso determinado según su proximidad.

Pero por las razones descritas anteriormente, se consideró que la metodología utilizada en esta sección como la mejor para el conjunto de datos específico.

La figura 17 muestra un diagrama que resume la metodología descrita anteriormente para obtener el $te_{i,n}$ según el caso correspondiente.

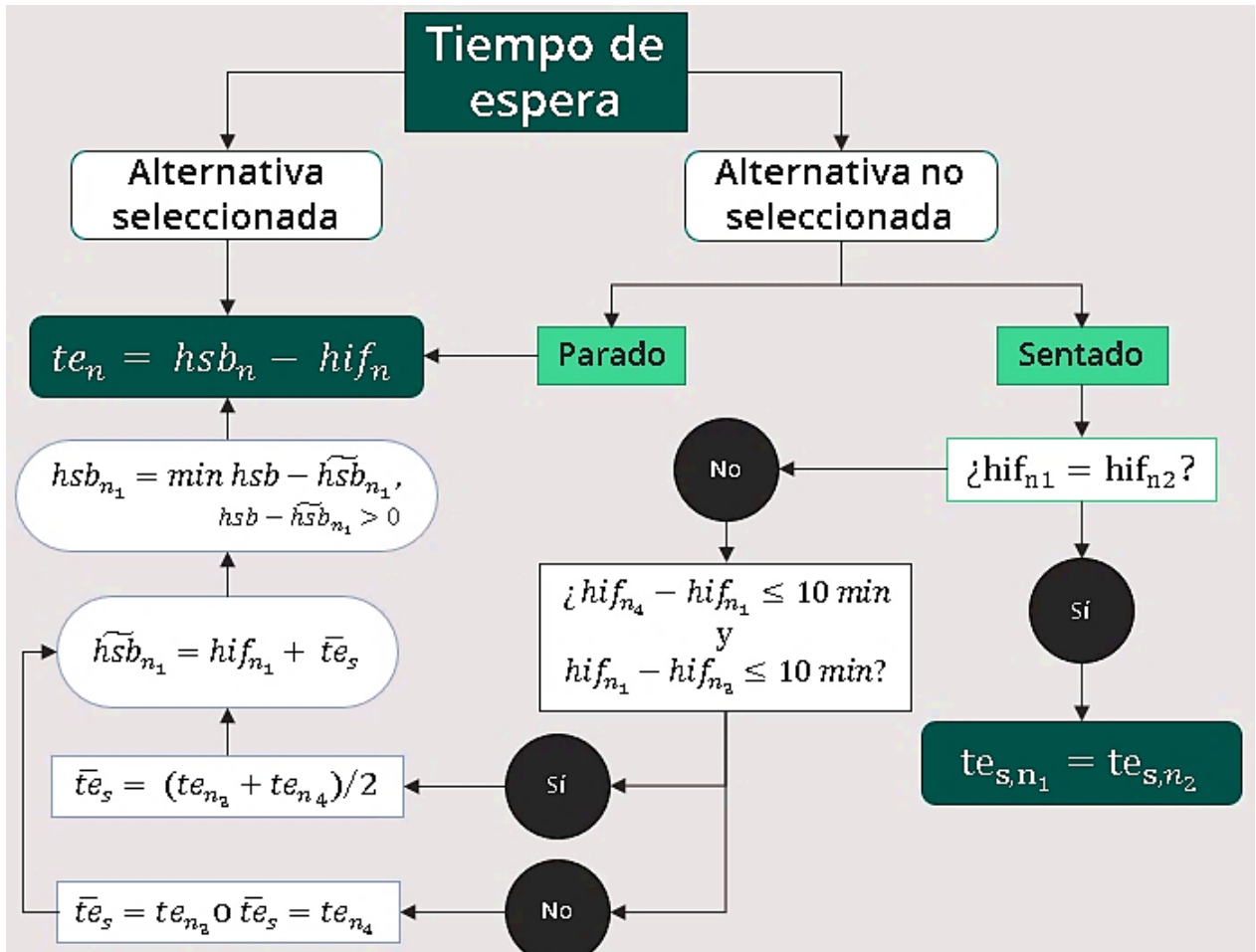


Figura 17. Diagrama de la metodología de imputación del tiempo de espera para datos PR.

Tiempo de espera en el modelo PD

El procedimiento para imputar el te_{in} en los datos PD requiere una menor complejidad dado que se tiene información del valor del tiempo de espera para cada alternativa presentada a los usuarios durante la encuesta y corresponderá al valor presente en el juego de elección asignado a cada individuo n .

Valor del tiempo de espera

Como se menciona en la sección 2.2.2, estudios de comportamiento de viajeros usualmente encuentran que la valoración de ahorros del tiempo de espera es mayor a la valoración de ahorros del tiempo de viaje en el vehículo. Para la ciudad de Santiago, Raveau, et al. (2014) estiman que para los usuarios del metro de Santiago un minuto de tiempo de espera representa una tasa marginal de sustitución de 1,57 minutos de tiempo de viaje en vehículo.

Se plantea como hipótesis inicial que el valor del tiempo de espera en la utilidad medido en tiempo de viaje que es estimado en esta investigación debe estar entre uno (1) y dos (2). Se utiliza el parámetro del tiempo de viaje de pie y no el del tiempo de viaje sentado debido a que se conoce que los usuarios del paradero PC-37 deben esperar de pie y por lo tanto no mezclar efectos de tiempo y condición de viaje.

6.3.2. Tiempo de viaje

El tiempo de viaje en vehículo (tv) es el tiempo transcurrido desde que el bus sale del paradero PC-37 hasta que el usuario baja del bus en su paradero de destino. Al igual que el tiempo de espera, esta variable es expresada en minutos. En los datos PR, este atributo tiene un valor único. En contraste con los datos PD en donde en dos de los tres juegos de elección de la encuesta el tv varía entre las alternativas. El análisis del atributo tv en el capítulo anterior permitió establecer la hipótesis de que mientras mayor sea el tiempo de viaje, mayor la incomodidad que representa para los usuarios el estar de pie.

Tiempo de viaje en el modelo PR

Al no tener información precisa del tiempo de viaje de los encuestados, este es estimado mediante la distancia en ruta desde el paradero PC-37 hasta el paradero de destino declarado por el usuario en el experimento y la velocidad de operación del servicio. La distancia en ruta y la velocidad de operación son obtenidas gracias a la información otorgada por el GTFS de la ciudad de Santiago y los indicadores del plan operacional del DTPM (Directorio de Transporte Público Metropolitano, 2016, 2017 y 2018). De este modo, el tiempo de viaje se calcula mediante la ecuación (19).

$$tv_n^{PR} = \frac{\vartheta_m}{d_n} \quad (19)$$

Donde:

tv_n = tiempo de viaje del individuo n.

v_m = velocidad de operación en el experimento m.

d_n = distancia en ruta hasta el paradero de bajada del individuo n.

Tiempo de viaje en el modelo PD

A diferencia de los datos PR, el tiempo de viaje en los datos PD varía para cada alternativa i. El valor del tv_{in} se obtiene del juego de elección presentado a los encuestados durante la encuesta PD.

Valor del tiempo de viaje

Se espera a priori que la utilidad marginal del tiempo de viaje de pie (β_{tv_p}) sea significativamente mayor la utilidad marginal tiempo de viaje de sentado (β_{tv_s}) y en magnitud similar al valor encontrado por Castillo y Guevara (2019).

6.3.3. Distancia de viaje

En el capítulo anterior se determinó la relación entre la distancia de viaje y la disposición a esperar por un asiento, siendo esta última mayor cuando se viajan largas distancias. Por lo tanto, en esta sección se incluye como variable explicativa del modelo de elección la distancia de viaje y es segmentada en dos grupos:

- **Viaje corto:** Distancia de viaje menor o igual a 3,5 kilómetros.
- **Viaje largo:** Distancia de viaje mayor a 3,5 kilómetros.

El valor que divide los grupos fue tomado de la mediana de la distancia en los datos PR. Se plantea como hipótesis inicial que la desutilidad de viajar de pie por largas distancias sea mayor a la de viajar de pie en cortas distancias, tal que $SM_{largo} > SM_{corto}$. Si bien este supuesto es razonable, la sección 2.4.3 hace hincapié de que es extraño que en un viaje largo los viajeros no se encuentren asientos disponibles en algún momento del viaje. Castillo y Guevara (2019) muestran que la densidad de pasajeros del servicio 104 tiende a disminuir a medida que el recorrido avanza, con asientos disponibles a la altura de la comuna de Macul. Por lo tanto, se debe reconocer la posible existencia de un umbral sobre el cual sin importar cuán largo es la distancia de viaje el valor del tiempo de viaje no seguiría aumentando.

6.3.4. Edad

De la sección 2.2 se conoce que el gasto energético de los pasajeros es mayor cuando viajan de pie. Por condiciones físicas, es esperable que las personas jóvenes tengan más disposición a viajar de pie. En los experimentos más del 50% de los encuestados que declararon viajar sentados por motivos de salud pertenecían a la tercera edad. Siguiendo lo anterior, la edad del individuo n se incluye como variable explicativa del modelo de elección segmentada en tres grupos:

- **Joven:** Edad menor a 35 años.
- **Adulto:** Edad entre los 35 y 64 años
- **Adulto mayor:** Edad mayor o igual a 65 años.

Se espera el SM para el grupo de los jóvenes tenga el menor valor de los tres grupos, mientras que los adultos mayores tengan el mayor valor, de modo que $SM_{joven} < SM_{adulto} < SM_{mayor}$.

6.3.5. Género

La variable género corresponde a una variable binaria que toma el valor de 1 si el individuo es hombre y 0 si es mujer. En la literatura autores PD han mostrado que los hombres son menos sensibles a la comodidad que las mujeres a la hora de viajar en transporte público, por lo que se plantea como hipótesis que la penalidad de viajar de pie de los hombres sea menor que de las mujeres ($SM_{hombre} < SM_{mujer}$).

6.3.6. Ingreso

La variable de ingreso corresponde al ingreso per cápita del individuo n (Ing_{pp_n}) y fue construida a partir de los atributos preguntados en la encuesta de ingreso de hogar y número de personas por hogar, este procedimiento especificado en detalle en la sección 5.2.4. Para la modelación la variable ingreso es segmentada en tres grupos:

- **Ingreso bajo:** Ingreso per cápita menores a \$500.000.

- **Ingreso medio:** Ingreso per cápita entre \$500.000 y \$900.000.
- **Ingreso alto:** Ingreso per cápita mayor a \$900.000.

Se espera que la sensibilidad a la comodidad sea proporcional al nivel de ingreso per cápita del individuo, de modo que $SM_{bajo} < SM_{medio} < SM_{alto}$.

6.3.7. Posesión de automóvil y licencia de conducir

En la literatura se han encontrado SM mayores para los viajeros con auto disponible que aquellos sin este modo disponible. No obstante, el tener un auto disponible no implica que el individuo pueda manejarlo, ya que debe poseer una licencia para conducir. Es por esto por lo que en esta investigación los atributos de posesión de automóvil y licencia de conducir son agrupados y segmentados en dos variables binarias:

- *AutoLic*: Individuos que poseen al menos un automóvil y licencia de conducir.
- *NoAutoLic*: Individuos que no pertenecen a *AutoLic*.

Se espera que los resultados de esta investigación sean consistentes con la literatura, por lo tanto $SM_{NoAutoLIC} < SM_{AutoLIC}$.

6.3.8. Inercia

En las encuestas PD, es posible que los viajeros elijan la ruta que coincida con su elección real con el fin de racionalizar su comportamiento en el paradero, a este efecto se le conoce como efecto de inercia y se ha demostrado tener una importancia substancial en muchos estudios empíricos (Bradley y Daly, 1991). En la literatura, el método utilizado para corregir este efecto consiste en crear una variable binaria que se activa si la elección PD corresponde al comportamiento real. Siguiendo lo anterior, se incluye la inercia en esta tesis como una variable binaria que toma el valor de 1 si el individuo selecciona la ruta en la encuesta PD en la que la condición de viaje coincide con su elección PR, de lo contrario la variable toma el valor de 0.

Tabla 21. Resumen de variables explicativas del modelo de elección.

Variable	Tratamiento
Tiempo de espera	PR-Observado: Hora de subida al bus – Hora de llegada al paradero. PR-Imputado: Según caso. PD: Diseño experimental.
Tiempo de viaje	PR: Distancia en ruta del paradero PC-37 al paradero de destino sobre velocidad de operación. Fuente de datos: DTPM. PD: Diseño experimental.
Distancia de viaje	$Largo_n = \begin{cases} 1 & \text{si } d_n > 3,5\text{km} \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (20)$
Edad	$Adulto_n = \begin{cases} 1 & \text{si es } 35 \leq Edad_n < 65 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (21) \quad Mayor_n = \begin{cases} 1 & \text{si } Edad_n < 65 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (22)$
Género	$Mujer_n = \begin{cases} 1 & \text{si es mujer} \\ 0 & \text{si es hombre} \end{cases} \quad (23)$
Nivel de Ingreso	$Medio_n = \begin{cases} 1 & \text{si } \$500.000 \leq Ing_{ppn} < \$900.000 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (24) \quad Alto_n = \begin{cases} 1 & \text{si } Ing_{ppn} \geq \$900.000 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (25)$
Posesión de automóvil y licencia de conducir	$AutoLic_n = \begin{cases} 1 & \text{si } N_{autos} > 1 \text{ y } Licencia = 1 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (26) \quad NoAutoLic_n = \begin{cases} 1 & \text{si } N_{autos} = 0 \text{ y } Licencia = 0 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (27)$
Inercia	$Inercia_n = \begin{cases} 1 & \text{si } S_n^{PD} = y_n^{PR} \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (28)$

6.4. Especificación de las funciones de utilidad

Una vez se ha identificado el conjunto de elección en cada fuente de datos y se han generado las hipótesis a priori sobre las variables explicativas seleccionadas para la modelación, se debe seleccionar la estructura y forma funcional que entregue la mejor especificación del modelo de elección. La estructura utilizada corresponde al logit multinomial con una función de utilidad sistemática de expresión lineal en sus parámetros y sumado un componente de aleatoriedad con distribución Gumbel. El componente sistemático de la función de utilidad de los datos PR está compuesto por los atributos de las alternativas y variables socioeconómicas de los individuos como se especifica en la ecuación 29:

$$\begin{aligned} V_{pn}^{PR} &= CSA_p + \beta_{te} te_{pn} + tv_n (\beta_{tv_p} + \sum_k \beta_k VSE_{kn}) \\ V_{sn}^{PR} &= CSA_s + \beta_{te} te_{sn} + \beta_{tv_s} tv_n \end{aligned} \quad (29)$$

Donde:

V_{in}^{PR} = función de utilidad sistemática de la alternativa i del individuo n .

CSA_i^{PR} = constante específica de la alternativa i .

$tt_{in} = te_{in} + tv_n$ = tiempo total del viaje en la alternativa i del individuo n = tiempo de espera de la alternativa i del individuo n + tiempo de viaje en vehículo del individuo n .

VSE_{kn} = variable binaria de característica socioeconómica k del individuo n .

De igual manera, la utilidad de los datos PD se describe en función de los atributos del diseño de la encuesta: tiempo de espera, tiempo de viaje y condición de viaje (sentado o de pie) y la variable de inercia como sigue:

$$\begin{aligned} V_{in}^{PD} &= CSA_i + \beta_{te} te_{in} + \beta_{tv_s} tv_{in} S_{in} \\ &+ tv_{in} P_{in} (\beta_{tv_p} + \sum_k \beta_k VSE_{kn}) + \beta_I I_n \end{aligned} \quad (30)$$

Donde:

V_{in}^{PD} = función de utilidad sistemática de la alternativa i del individuo n .

ASC_i = constante específica de la alternativa i .

te_{in} = tiempo de espera de la alternativa i del individuo n .

tv_{in} = tiempo de viaje en vehículo de la alternativa i del individuo n .

S_{in} = variable binaria que toma el valor de 1 si el individuo n viaja sentado en la alternativa i y 0 de lo contrario.

P_{in} = variable binaria que toma el valor de 1 si el individuo n viaja parado en la alternativa i y 0 de lo contrario.

6.5. Estimación del modelo de elección

Para la estimación de parámetros se utilizó el método de máxima verosimilitud con la ayuda del paquete maxLik del entorno de programación R. Las funciones de probabilidad de los datos PR y PD se especifican en las ecuaciones 31 y 32 respectivamente. El factor de escala del experimento 5 en los datos PR es normalizado a uno para permitir la identificación del modelo de elección.

$$P_{in}^{PR} = \frac{e^{\mu^m V_{in}^{PR}}}{\sum_j e^{\mu^m V_{jn}^{PR}}} \quad (31)$$

Donde:

P_{in}^{PR} = función de probabilidad PR de que el individuo n elija la alternativa i .

V_{in}^{PR} = función de utilidad sistemática PR de la alternativa i del individuo n .

μ^m = factor de escala del experimento m .

$$P_{in}^{PD} = \frac{e^{\mu^{PD} V_{in}^{PD}}}{\sum_j e^{\mu^{PD} V_{jn}^{PD}}} \quad (32)$$

Donde:

P_{in}^{PD} = función de probabilidad PD de que el individuo n elija la alternativa i .

V_{in}^{PD} = función de utilidad sistemática PD de la alternativa i del individuo n .

μ^{PD} = factor de escala PD.

Los estimadores de máxima verosimilitud son obtenidos de manera simultánea maximizando el logaritmo de la función de verosimilitud $\mathcal{L}(\beta)$:

$$\begin{aligned} \max_{\beta} \log \mathcal{L}^*(\beta) &= \max_{\beta} (\mathcal{L}^{PR}(\beta) + \mathcal{L}^{PD}(\beta)) \\ &= \left(\sum_{i \in C_n} \sum_{n=1}^N y_{in}^{PR} \log P_{in}^{PR} + \sum_{i \in C_n} \sum_{n=1}^N y_{in}^{PD} \log P_{in}^{PD} \right) \end{aligned} \quad (33)$$

Donde:

y_{in}^{PR} = variable dependiente binaria PR, si el individuo n elige la alternativa i en PR toma el valor de 1, de lo contrario toma el valor de 0.

y_{in}^{PD} = variable dependiente binaria PD, si el individuo n elige la alternativa i en PR toma el valor de 1, de lo contrario toma el valor de 0.

6.5.1. Modelo PD

Debido a que se cuenta con la elección PR de los viajeros adicional a la encuesta PD, surge el interés de utilizar esta información al estimar parámetros distintos para el tiempo de viaje de pie (tv_p) y el (tv_s) con el fin determinar si existe más de un valor de SM en los individuos. Para este fin se segmentan los individuos en dos grupos según su elección PR y se estiman los parámetros de un modelo de elección logit multinomial PD mediante máxima verosimilitud. Los resultados de la estimación se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Resultados estimación del modelo PD.

Número	Elección PR	Variable	Estimador	Error estándar	Valor t	Valor p
1		ASC_1	-0,011	0,14	-0,082	0,94
2		te	-0,16	0,042	-3,7	$2,4 \times 10^{-4}$
3	Parado	tv_p	-0,13	0,046	-2,9	$3,8 \times 10^{-3}$
4	Sentado	tv_p	-0,12	0,35	-3,5	$4,7 \times 10^{-4}$
5	Parado	tv_s	-0,12	0,038	-3,1	$2,0 \times 10^{-3}$
6	Sentado	tv_s	-0,085	0,034	-2,9	$3,8 \times 10^{-3}$
7		$Inercia$	0,78	0,35	2,3	0,025

Resumen estadístico

$N.^\circ$ de observaciones = 335

$$\mathcal{L}(\hat{\beta}) = -202,31$$

$$\rho^2 = 0,13$$

$$\bar{\rho}^2 = 0,10$$

$$SM_{Sentado} = 1,41$$

$$SM_{Parado} = 1,14$$

Se observa que los parámetros de tiempo de viaje son negativos y significativos, como es lo esperado. El valor del SM para los viajeros de la fila de sentados es de 1,41 mientras que el SM para los viajeros de la fila de parados es de 1,14. Lo anterior es evidencia de la heterogeneidad del valor de viajar de pie en los individuos. Por su parte, la tasa marginal de sustitución del tiempo de espera es 1,2 a 1,3 veces el tiempo de viaje de pie, en proporción levemente menor al valor encontrado en estudios para la ciudad de Santiago.

Finalmente, se observa que el parámetro de inercia es significativo y positivo, lo que refleja una probabilidad mayor de selección de la alternativa que coincide con la elección PR. El impacto de la inercia en la utilidad medido en tiempo de viaje sentado está entre los 7 a 9 minutos, lo que puede interpretarse como la diferencia marginal del tiempo de viaje entre alternativas en la que el viajero puede estar dispuesto a cambiar su decisión de viaje.

6.5.2. Modelo mixto

Prueba del modelo

Para que el modelo pueda ser estimado se requiere suponer que las preferencias de ambas fuentes de datos son iguales. Para probar si este supuesto es verdadero, se estima un modelo de elección en donde cada fuente de datos contenga al menos un vector de atributos común en los datos PR. Sea el atributo de tiempo total del viaje la suma del tiempo de espera y el tiempo de viaje en vehículo ($tt = te + tv$). Las funciones de utilidad adyacentes al proceso de elección de la prueba en ambos conjuntos están dadas por las ecuaciones 34 y 35.

$$U_i^{PR} = CSA_i^{PR} + \beta_{tti}^{PR} tt_i^{PR} + \varepsilon_i^{PR}, \quad \forall i \in C^{PR} \quad (34)$$

$$U_i^{PD} = CSA_i^{PD} + (\beta_{tts} S_i + \beta_{ttp} P_i) tt_i^{PD} + \beta_I I_n + \varepsilon_i^{PD}, \quad \forall i \in C^{PD} \quad (35)$$

Donde β_{tti}^{PR} y β_{tti}^{PD} son las preferencias comunes en ambas fuentes de datos. Como es descrito en la sección 2.3.3 y argumentado en el capítulo anterior, se utilizarán distintos factores de escala para cada probabilidad de elección tanto PR como PD (Ecuaciones 31 y 32), con el fin corregir los efectos inherentes a la naturaleza distinta de cada fuente de datos. Asumiendo que los errores en cada fuente de datos se distribuyen Gumbel (sección 2.3.2) los parámetros son obtenidos de manera simultánea maximizando el logaritmo de la función de verosimilitud $L(\beta)$ (Ecuación 33). La Tabla 23 presenta los resultados de la estimación de prueba del modelo mixto y los modelos por separado.

Siguiendo lo anterior, se realiza una prueba de razón de verosimilitud (sección 2.3.5) para verificar el supuesto de preferencias iguales. Siendo el modelo mixto el modelo restringido donde $\beta_{tt}^{PR} = \beta_{tt}^{PD}$ y la diferencia de los modelos PR y PD el modelo no-restringido. El estadístico de interés es calculado mediante la ecuación (36, el resultado es comparado con el valor χ^2 con un (1) grado de libertad. Se observa que el estadístico tiene un valor de 3,55 y que a un nivel de significancia del 5% no se puede descartar que $\beta_{tt}^{PR} = \beta_{tt}^{PD}$ y por lo tanto, el supuesto de preferencias iguales se cumple.

Tabla 23. Resultados de la estimación de prueba de modelo mixto.

Número	Parámetro	PR	PD	PR+PD
		Estimador (E.E)	Estimador (E.E)	Estimador (E.E)
1	ASC_{PR}	-0,038 (0,25)	-	-0,35 (0,21)
2	ASC_{PD}	-	0,061 (0,13)	0,11 (0,28)
3	β_{tt_p}	-0,20 (0,042) ***	-0,10 (0,032) **	-0,22 (0,042) ***
4	β_{tt_s}	-0,15 (0,036) ***	-0,085 (0,027) **	-0,17 (0,035) ***
5	$\beta_{Inercia}$	-	1,0 (0,19) ***	2,0 (0,083) *
6	μ_{Exp1}	1,84 (0,54) ***	-	1,8 (0,51) ***
7	μ_{Exp2}	0,59 (0,27) *	-	0,48 (0,24) *
8	μ_{Exp3}	0,50 (0,20) *	-	0,49 (0,20) *
9	μ_{Exp4}	1,9 (0,63) **	-	1,9 (0,60) **
10	μ_{PD}	-	-	0,59 (0,18) *

Resumen estadístico

N.º de observaciones	424	335	819
$\mathcal{L}(\hat{\beta})$	-220,94	-207,48	-430,20
ρ^2	0,25	0,11	0,18
$\bar{\rho}^2$	0,22	0,09	0,16
SM	1,35	1,18	1,25

*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. **E.E:** Error Estándar.

$$\begin{aligned}
 H_0: \beta_{tt_Parado}^{PR} &= \beta_{tt_Parado}^{PD}, & \beta_{tt_Sentado}^{PR} &= \beta_{tt_Sentado}^{PD} \\
 -2 \left(L(\hat{\beta}_{Restringido}) - L(\hat{\beta}_{NoRestringido}) \right) & & & \\
 &= -2(-430,20 - (-220,94 - 207,48)) = 3,55 & & (36) \\
 &3,55 < \chi^2_{(0,95,1)} = 3,84 & &
 \end{aligned}$$

Estimación del modelo

Una vez verificado el supuesto de igualdad de preferencias, se estima el modelo de elección de datos mixtos siguiendo la especificación de las funciones de utilidad expresadas en la sección 6.4. La tabla 24 presenta los resultados de la estimación de los parámetros de dos modelos logit multinomial mixto, el modelo 1 contiene las variables de tiempo y los factores de escala, mientras que el modelo 2 incluye las variables socioeconómicas especificadas en la sección 6.3.

Tabla 24. Resultado de estimación de modelos mixtos.

<i>Grupo</i>	<i>Parámetro</i>	Modelo 1 Estimador (E.E)	Modelo 2 Estimador (E.E)
	ASC_{PR}	-0,62 (0,20) ***	-0,74 (0,20) ***
	ASC_{PD}	0,03 (0,00)	-0,012 (0,16)
	β_{te}	-0,19 (0,038) ***	-0,18 (0,04) ***
	β_{tv_p}	-0,17 (0,038) ***	-0,11 (0,04) **
<i>Longitud de Viaje</i>	β_{Largo}	-	-0,030 (0,014) *
<i>Género</i>	β_{Mujer}	-	-0,0082 (0,0077)
<i>Edad</i>	β_{Adulto}	-	-0,024 (0,0081) **
	β_{Mayor}	-	-0,013 (0,013)
<i>Licencia</i>	$\beta_{AutoLic}$	-	0,017 (0,0080) *
<i>Ingreso</i>	β_{Alto}	-	0,0039 (0,0092)
	β_{Medio}	-	0,0083 (0,0097)
	β_{tv_s}	-0,13 (0,031) ***	-0,11 (0,027) ***
	$\beta_{Inercia}$	1,28 (0,44) **	1,0 (0,35) **
	μ_{Exp1}	1,9 (0,53) ***	2,12 (0,64) ***
	μ_{Exp2}	0,46 (0,23) *	0,57 (0,26) *
	μ_{Exp3}	0,54 (0,22) *	0,53 (0,21) *
	μ_{Exp4}	2,0 (0,61) **	1,93 (0,75) **
	μ_{PD}		0,87 (0,27) **
Resumen estadístico			
	$\mathcal{L}(\hat{\beta})$	-422,27	-407,62
	ρ^2	0,20	0,23
	$\bar{\rho}^2$	0,17	0,18
	SM	1,36	1,05 (Base)

*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. **E.E:** Error Estándar.

Los parámetros obtenidos para los tiempos de viaje son negativos y significativos, siguiendo la proporción esperada. Se observa que el SM en el modelo sin variables socioeconómicas es de 1,35, este valor es cercano al valor obtenido por Castillo y Guevara (2019) y en proporción con los registrados en la literatura.

En el modelo 2, se puede observar que los parámetros de viaje largo y edad entre 35 y 64 años son negativos y significativos, por lo que la desutilidad de viajar de pie para los individuos con estas características es mayor que en otros grupos de usuarios. Estos resultados concuerdan con las hipótesis planteadas por esta tesis y es esperable que a medida que avance la distancia de viaje y/o la edad del viajero sea mayor su valoración por un asiento. Sin embargo, el parámetro de gusto para adultos mayores de 64 años no es significativo para un nivel de significancia del 5% y es menor al valor del grupo de los adultos entre 35 y 64 años. Este resultado puede ser consecuencia del diseño del paradero y aspectos culturales, donde los adultos mayores tienen prioridad de acceso y es muy probable que les sea cedido un asiento en el bus en caso de no haber uno disponible.

Por otro lado, el parámetro de la variable de género mujer es negativo como es esperado, mas no significativo. Es posible que esto sea un resultado real (es decir, que en la situación específica analizada no haya un efecto de género significativo) o que sea debido falta de variabilidad en los datos, dada la cantidad de observaciones y de variables del modelo de elección.

Contrario a lo esperado, los parámetros de nivel de ingreso y de posesión de automóvil y licencia de conducir son de magnitud positiva, esto quiere decir que la incomodidad de viajar de pie para los individuos de mayor ingreso y con posesión de automóvil y licencia de conducir es menor que para los otros grupos de usuarios. Mientras que el parámetro de posesión de automóvil y licencia de conducir es significativo, el parámetro de ingreso no es significativo. Sabiendo que las variables de ingreso y posesión de licencia y automóvil están relacionadas, los resultados pueden ser consecuencia de la tendencia del paradero PC-37 donde las personas de altos ingresos viajan en promedio menores distancias, porque los efectos de los atributos de nivel de ingreso y distancia se contraponen. Otro motivo podría deberse a un sesgo de selección en donde los individuos con mayores ingresos que tienen preferencia por viajar sentados realizan su viaje en auto o taxi colectivo y no en transporte público.

El parámetro del tiempo de viaje de pie (β_{tv_p}) en el modelo 2 corresponde al grupo de individuos base: hombre, joven, que realiza un viaje corto, posee al menos un automóvil y una licencia de conducir y pertenece al nivel de ingreso bajo. El SM para este grupo es de 1,05, al ser tan cercano uno (1) indica que para estos individuos el viajar de pie no impacta considerablemente en la utilidad de las alternativas, y por lo tanto, el disponer de un asiento no juega un papel importante en su elección de viaje.

El SM del grupo base será un valor de referencia comparativo con lo demás grupos de interés. Dado un atributo socioeconómico k o varios atributos $\sum k$, el SM para el grupo de individuos se calcula mediante la ecuación (37). La figura 18 muestra el SM de algunos de los grupos socioeconómicos de interés.

$$SM_{\sum k} = \frac{\beta_{tv_p} + \sum k \beta_k}{\beta_{tv_s}} \quad (37)$$

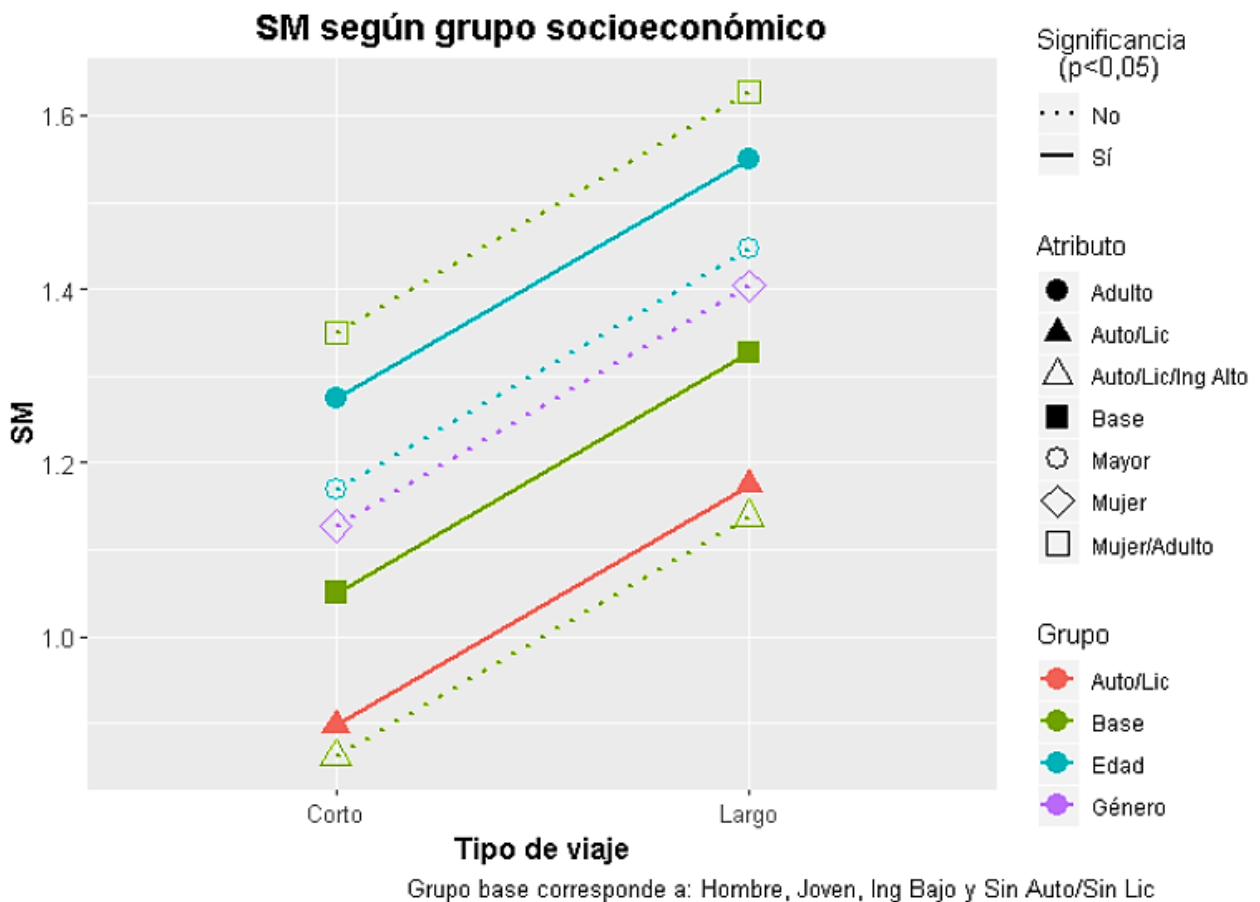


Figura 18. Valores de SM según grupo socioeconómico.

En la figura anterior se evidencia una clara heterogeneidad de gustos en los individuos cuando se toman en cuenta características socioeconómicas y del viaje. Tomando como referencia el grupo base, el valor del *SM* cambiará de acuerdo con las siguientes características:

- **Distancia de viaje:** El *SM* para los individuos que realizan viajes largos es de 1,33, este valor es un 27% mayor que el *SM* de los individuos que realizan viajes cortos.
- **Edad:** El *SM* de los adultos entre 35 y 64 años es un 22% mayor al de los jóvenes entre 18 y 34 años, con valores de 1,27 y 1,55 para cortas y largas distancias, respectivamente.
- **Poseción de automóvil y licencia de conducir:** El grupo de los viajeros que poseen licencia de conducir y al menos un automóvil tienen un *SM* un 15% menor a los sí poseen estas características. El valor del *SM* para este grupo de individuos que realizan un viaje corto es de 0,90, mientras que para aquellos que realizan un viaje largo es de 1,17.
- **Género:** Si bien el resultado no es significativo, las mujeres presentan una mayor valoración por un asiento que los hombres, este valor es consistente a los resultados obtenidos por Bouscasse y de Lapparent (2019) y Hosuk, et al. (2020).
- **Nivel de ingreso:** Como es mencionado anteriormente, los parámetros de ingreso no son significativos y presentan un comportamiento contraintuitivo que es reflejado en los *SM*.

Se observa que los de los individuos hombres jóvenes, de altos ingresos, con posesión de auto y licencia que viajan cortas distancias presentan el menor *SM*. Si bien este valor está por debajo de uno (1) e implica que este grupo de usuarios prefiere viajar de pie que sentado, sigue siendo consistente con la literatura y los resultados del análisis descriptivo donde se reconoce que hay viajeros que prefieren viajar de pie a pesar de que hayan asientos disponibles, sea por motivos físicos como aprovechar para hacer deporte, componentes culturales como ceder el asiento a personas mayores, experimentar una menor complejidad a la hora de salir del bus o poder esperar/viajar menos.

Finalmente, la mayor penalidad observada corresponde a las mujeres, adultas, de ingreso bajo, sin posesión de licencia y automóvil y que viajan largas distancias.

El SM para este grupo de usuarias es de 1,63, este valor es similar a la tasa marginal de sustitución del tiempo de espera (1,6 minutos el tv_p), lo que implica que su desutilidad de viajar de pie es tan alta como la de esperar en el paradero.

6.6. Consideraciones de política

Los resultados de la sección anterior muestran que la penalidad del tiempo de viaje de pie es en promedio un 30% mayor que el tiempo de viaje sentado y que este valor cambia de acuerdo con las características socioeconómicas de los individuos y la distancia del viaje. Los resultados de este estudio pueden ser usados para incluir el costo de viajar de pie en transporte público durante la planificación de la operación sistemas de transporte público y establecer políticas que consideren este factor, a continuación se discuten algunas de ellas:

- La capacidad de un bus depende de la cantidad de asientos debido a que un pasajero sentado ocupa más espacio que un pasajero de pie. En servicios donde se demuestre que la demanda es poco sensible a viajar de pie puede ser óptimo proveer vehículos con el mínimo de asientos, tomando en cuenta implicaciones de política como la inclusión de asientos preferenciales.
- En caso contrario, si los viajeros de uno o más servicios son sensibles a la comodidad, la literatura ha mostrado que puede ser óptimo proveer vehículos con la mayor cantidad de asientos como sea técnicamente posible (Tirachini, et al., 2014), siempre que se consideren las restricciones técnicas de espacios mínimos para pasillos y puertas de pasajeros en el bus y políticas para las sillas de ruedas. Aumentar la cantidad de asientos tiene un efecto en el diseño de un sistema de transporte público al disminuir la capacidad de los vehículos, Tirachini et al., (2014) muestra que en caso de que deba operarse a menos de la cantidad de asientos óptima se requiere aumentar la frecuencia del sistema para compensar las molestias impuestas a los viajeros.
- Sin embargo, la operación de un sistema de transporte público está sujeto a muchas variables de decisión que pueden impactar en el diseño óptimo y deben considerarse, tales como: el costo de proveer el servicio, la tarifa, el valor del tiempo de viaje de los usuarios, el nivel de servicio que se desee ofrecer, el contexto cultural, el hacinamiento en vehículos y en paraderos y la congestión en las vías.

- Finalmente, los resultados evidencian que el miedo a ser acosado en el transporte público como motivación por viajar sentado es una respuesta casi exclusiva del género mujer. Por lo que se deben promover las iniciativas con perspectiva de género que busquen erradicar la violencia en los sistemas de transporte.

6.7. Conclusiones

En este capítulo se obtienen parámetros de gusto para los tiempos de viaje de pie y sentado de los individuos a partir de un modelo mixto que integra datos PR y PD. Los estimadores permiten calcular SM para los individuos de distintos grupos socioeconómicos en el paradero PC-37. Los SM de atributos significativos varían de entre 0,86 y 1,63 según la edad, la distancia del viaje, la posesión de licencia y al menos un automóvil, el nivel de ingresos y el género del individuo. Con lo anterior se evidencia una clara heterogeneidad de gustos en la población cuando se toman en cuenta características socioeconómicas de los individuos y por lo tanto, no se debe asumir un valor único.

Para la obtención de los SM , fue requerida la construcción de un modelo de elección discreta mixto con datos PR y PD, donde se seleccionaron características como: la estructura de este, el conjunto de alternativas disponibles para cada fuente de datos, las variables explicativas del modelo de elección, las hipótesis *a priori* y la forma funcional. Es deber del modelador encontrar la mejor especificación del modelo que obtenga los resultados sin una necesidad de un excesivo gasto de recursos, que dé cuenta de todos los posibles sesgos con el fin de evitar errores en la modelación e interpretación de resultados y que sea apropiado para el contexto de elección. La sospecha de endogeneidad pasa a tener un papel fundamental a la hora de interpretar los SM , dado que se tienen resultados contradictorios en el nivel de ingreso.

Los resultados obtenidos son consistentes con los obtenidos por la literatura PR y PD y validan la metodología propuesta por esta tesis. No obstante, se hace notar que en trabajos futuros se deben considerar los efectos que repercuten en el valor por un asiento y que han identificados, mas no corregidos: la corrección de endogeneidad en el modelo de elección, la consideración de atributos del viaje como el nivel de hacinamiento, la configuración de los vehículos y la modelación de los viajeros arrepentidos. Finalmente, debe estudiarse la incorporación de modelos más sofisticados para la representación de la heterogeneidad de gustos en la población, como son el modelo de clases latentes y el logit mixto.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y LÍNEA FUTURA DE INVESTIGACIÓN

7.1. Conclusiones de la tesis

En esta investigación se desarrolló una metodología práctica y replicable para determinar la valoración por un asiento en el viaje de los usuarios de transporte público. Para cumplir con los objetivos, se requirió como primer paso la extensa revisión literaria por parte del investigador donde: (1) se identificaron los factores físicos y psicológicos que repercuten en la sensación de bienestar de los usuarios de transporte público y su sensibilidad a atributos relacionados con la comodidad en sus múltiples dimensiones, (2) se reconocieron las ventajas y desventajas de las principales fuentes de información y (3) se analizaron las metodologías y resultados de estudios de valoración por un asiento. De lo anterior, se determinó que el uso de una metodología apropiada para medir el valor por un asiento debe incluir información de diversas fuentes de datos, de modo que se exploren los beneficios de ambas técnicas, asimismo, la incorporación de características sociodemográficas de los individuos y las particularidades del contexto a modelar.

En una segunda etapa, se diseñó y aplicó en terreno un experimento que permite recolectar información de los individuos en base a fuentes mixtas de preferencias reveladas y declaradas. El experimento fue diseñado para ser aplicado en los paraderos donde se presenta el fenómeno de formación de dos filas que permite a los viajeros la posibilidad de disponer de un asiento con el compromiso de esperar un tiempo adicional en el paradero, el diseño experimental incluyó: (1) la elaboración metodológica del experimento y las mediciones en terreno del tiempo de espera, (2) la construcción de las entrevistas a usuarios y, (3) el diseño factorial de la encuesta de preferencias declaradas. La aplicación del experimento se realizó exitosamente en el paradero PC-37 de Providencia, de la experiencia en terreno se identificó: (1) la necesidad de una capacitación previa al personal, (2) las visitas exploratorias a terreno, (3) la elaboración de una encuesta piloto, (4) el uso de herramientas que permitan reducir la carga cognitiva de los encuestadores, (5) la entrega de incentivos que capten el interés de los viajeros y (6) la elaboración de estrategias que permitan reducir errores de medición. Es deber del diseñador del experimento conocer todas las variables que influyen en el comportamiento de elección de los viajeros y del aplicador entregar información no identificada en el diseño original, de modo de obtener una información precisa y confiable que permita obtener los resultados deseados.

Una vez procesados los datos del experimento PR-PD, en una tercera etapa se realizó la descripción de los datos que alimentarían el modelo de elección, la base de datos contiene los cuatro (4) experimentos PR realizados por Castillo y Guevara (2019) y el experimento de datos mixtos PR-PD. El análisis permitió conocer las tendencias agregadas de los datos e información de las distribuciones y los estadísticos de interés de los atributos de las alternativas y las características socioeconómicas de los individuos, así como también determinar inferencias sobre las relaciones entre los atributos. De este modo, se encontró que: (1) la disposición a esperar de los viajeros por un asiento es directamente proporcional a la distancia de viaje y la edad del individuo e (3) inversamente proporcional al nivel de ingreso, este último descubrimiento permitió identificar la existencia potencial de endogeneidad entre los atributos de distancia de viaje e ingreso per cápita. Otros resultados interesantes del análisis consisten en: (4) la existencia de viajeros que prefieren estar de pie a pesar de que haya asientos disponibles y (5) la necesidad de incorporación de factores de escala que permitan corregir los efectos inherentes a cada experimento. Finalmente, se determinó que: (6) la proporción de encuestados que eligió viajar sentado en la encuesta PD es significativamente menor a lo observado en la elección PR, de lo que se sospecha que el conocimiento del valor exacto del tiempo de espera y el tiempo de viaje influyó en la elección de ruta de los encuestados.

Una tercera etapa consiste en la construcción y estimación de los parámetros del modelo de elección discreta mixto con distintas fuentes de datos. Las etapas a priori resultaron tener un papel fundamental en la construcción de la especificación del modelo que obtenga los mejores resultados sin una necesidad de un excesivo gasto de recursos, que dé cuenta de todos los posibles sesgos con el fin de evitar errores en la modelación e interpretación de resultados y que sea apropiado para el contexto de elección. La especificación de modelo seleccionada corresponde al logit multinomial, dado a su fácil interpretación y computo, con funciones de utilidades lineales entre parámetros y de componentes de error que distribuyen Gumbel. Las variables explicativas del modelo de elección consisten en los atributos de las alternativas: tiempo de espera, tiempo de viaje en vehículo y la distancia del viaje, y las características socioeconómicas de los individuos: edad, género, nivel de ingreso y posesión de automóvil y licencia de conducir.

Mediante estimación por máxima verosimilitud se obtienen los parámetros de gusto que permiten calcular los SM para distintos grupos socioeconómicos en el paradero PC-37, la inclusión de la encuesta de preferencias declaradas permitió la identificabilidad de las penalidades del tiempo de viaje por separado del tiempo de

espera. Los resultados indican que valores de SM entre 0,86 y 1,63 según las características socioeconómicas del individuo y la distancia del viaje. De este modo, el valor del SM es un 27% mayor para el grupo de individuos que viaja largas distancias, un 22% para aquellos con edades entre los 35 y 64 años y un 15% menor para los individuos que poseen licencia de conducir y al menos un automóvil. Lo anterior evidencia una clara heterogeneidad de gustos en la población cuando se toman en cuenta características socioeconómicas de los individuos.

Los resultados obtenidos por esta investigación sirven de apoyo a la hora de establecer políticas de transporte orientadas a mejorar la calidad de los sistemas de transporte público. Reconocer la heterogeneidad de gustos en la población permite establecer políticas más eficientes que permiten una mirada más desagregada del sistema. En casos donde la demanda es poco sensible a viajar de pie puede ser óptimo proveer vehículos con el mínimo de asientos, en el caso contrario, lo mejor puede ser ofrecer vehículos con la mayor cantidad de asientos como sea técnicamente posible. No obstante, el diseño óptimo está sujeto a muchos factores que los tomadores de decisiones deben tomar en cuenta de modo que la operación ofrezca la mejor calidad de servicio para los viajeros. Finalmente, los resultados evidencian que se deben formular propuestas con perspectiva de género que impacten en la planificación y el diseño operacional de los sistemas de transporte.

7.2. Limitaciones de la tesis

Si bien la metodología desarrollada por esta investigación logra cumplir con los objetivos propuestos, está sujeta a limitaciones propias de la naturaleza del contexto de decisión, del diseño experimental y la modelación. A continuación se mencionan las limitaciones identificadas en esta tesis:

- **Costo de obtención de la información:** Este corresponde a la principal restricción del diseño, ya que requiere de disponer de personal en terreno, encuestas en papel o digitalizadas en un dispositivo, cámara de video, entre otros., esta restricción toma especial valor en países donde la hora laboral es más costosa.
- **Realismo:** el modelo se construye bajo el supuesto que los usuarios estarán de pie durante todo el viaje, este supuesto es poco creíble sobre todo en largas distancias puesto que es altamente probable que durante el viaje el pasajero encuentre un asiento.

- **Representatividad:** esta investigación corresponde a un estudio de caso, se realizó un único experimento debido a que los recursos de la investigación son limitados, situado en el paradero donde se hicieron los experimentos PR.
- **Endogeneidad:** se sospecha de endogeneidad entre los atributos de nivel de ingreso y distancia de viaje, lo que explicaría la poca significancia de los estimadores del nivel de ingreso.
- **Modelación de arrepentidos:** uno de los supuestos de la modelación consiste en que una vez elegida la alternativa el viajero no puede cambiar de decisión, este supuesto no coincide totalmente con el comportamiento en el paradero PC-37, pues se identifica un grupo de viajeros arrepentidos que deciden no seguir esperando en la fila de sentados y viajan de pie. Se espera que el SM de este grupo de viajeros toma un valor entremedio del SM de los viajeros de las filas de sentados y de parados.

7.3. Línea futura de investigación

Los resultados obtenidos son consistentes con los obtenidos por la literatura PR y PD y validan la metodología propuesta por esta tesis. No obstante, futuras investigaciones deben considerar otros efectos que repercuten en el valor por un asiento y las limitaciones de la metodología que no han sido corregidos por esta tesis, a continuación se identifican algunos de estos: (1) la necesidad futura de realizar un experimento adicional en otro paradero de la ciudad y de este modo aumentar la representatividad de los datos, (2) la incorporación de nuevas metodologías que permitan facilitar la recolección de los datos, (3) la creación de instrumentos que permitan corregir la endogeneidad del modelo de elección, (4) la modelación de los viajeros arrepentidos, (5) la consideración de atributos del viaje como el nivel de hacinamiento, (6) la configuración de los vehículos y (7) factores actitudinales que influyan en la decisión de viaje de los individuos. Finalmente, debe estudiarse la incorporación de modelos más sofisticados para la representar de mejor manera la heterogeneidad de gustos en la población, como lo son el modelo de clases latentes y el modelo logit mixto.

BIBLIOGRAFÍA

Accent Marketing and Research and Hague Consulting Group, 1997. Customer Valuation of Different Load Factors/Occupancy Levels. *Consultancy report prepared for First Great Western*.

Bansal, P., Hurtubia, R., Tirachini, A. y Daziano, R. A., 2019. Flexible estimates of heterogeneity in crowding valuation in the New York City subway. *Journal of choice modelling*, Volume 31, pp. 124-140.

Batarce, M. et al., 2015. Use of mixed stated and revealed preference data for crowding valuation on public transport in Santiago, Chile. *Transportation Research Record*, 2535(1), pp. 73-78.

Ben-Akiva, M. y Lerman, S., 1997. *Discrete Choice Analysis*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.

Ben-Akiva, M. y Morikawa, T., 1990. *Estimation of Travel Demand Models from Multiple Data Sources*. Yokohama, Japan, Presented at 11th International Symposium.

BID, 2019. *Género y Transporte: Santiago*, Ciudades Miembro: Transport Gender Lab: Banco Interamericano de Desarrollo.

Björklund, G. y Swärdh, J. E., 2017. Estimating policy values for in-vehicle comfort and crowding reduction in local public transport☆. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 106, pp. 453-472.

Bouscasse, H. y de Lapparent, M., 2019. Perceived comfort and values of travel time savings in the Rhône-Alpes Region. *Transportation research part A: policy and practice*, Volume 124, pp. 370-387.

Bradley, M. y Daly, A., 1991. *Estimation of logit choice models using mixed stated preference and revealed preference information*. Quebec, 6th International Conference on Travel Behaviour.

Castillo, G. y Guevara, C., 2019. Propuesta metodológica para medir la disposición a esperar por un asiento con datos de preferencias reveladas: validación e ilustración con aplicación en paradero específico del Transantiago. *Ingeniería de Transporte*, p. 21(2).

Censo de Población y Vivienda, 2017. *Resultados CENSO 2017: Por país, regiones y comunas*. [Online]
Available at: <http://resultados.censo2017.cl/Home/Download>

Corporación Interamericana de Inversiones, 2019. Sistemas de transporte urbano en América Latina y el Caribe: Lecciones y retos. *Serie de Desarrollo a través del Sector Privado*, Issue 8.

De Palma, A., Lindsey, R. y Monchambert, G., 2017. The economics of crowding in rail transit. *Journal of Urban Economics*, Volume 101, pp. 106-122.

Directorio de Transporte Público Metropolitano, 2016, 2017 y 2018. *Planes Operacionales Históricas*. [Online]
Available at: <http://www.dtpm.cl/index.php/noticias/plan-operacional-historico>

Directorio de Transporte Público Metropolitano, 2018. *Informe de Gestión*, Santiago, Chile: Chile en Marcha.

Douglas, N. y Karpouzis, G., 2006. Estimating the passenger cost of train overcrowding. *29th Australian Transport Research Forum*, pp. 1-8.

González, R., Martínez, E. y Esquivel, A., 2012. Contraste de las preferencias declaradas con preferencias reveladas. El caso de los alumnos de la universidad de la laguna ante la implantación del tranvía. *Metodología de Encuestas*, Volume 14, pp. 65-80.

Goodwin, P. B., 1976. Human effort and the value of travel time. *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 3-15.

Henningsen, A. y Toomet, O., 2011. maxLik: A package for maximum likelihood estimation in R.. *Computational Statistics*, 26(3), pp. 443-458.

Hörcher, D., Graham, D. J. y Anderson, R. J., 2017. Crowding cost estimation with large scale smart card and vehicle location data. *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 95, pp. 105-125.

Jara-Díaz, S. y Gschwender, A., 2003. Towards a general microeconomic model for the operation of public transport. *Transport Reviews*, 23(4), pp. 453-469.

BIBLIOGRAFÍA

Kroes, E., Kouwenhoven, M., Debrincat, L. y Pauget, N., 2013. *On the Value of Crowding in Public Transport in Île-de-France*. 12-13 September 2013. Paris, OECD/ITF Discussion Paper 2013-18. Prepared for OECD/ITF Roundtable on Valuing Convenience in Public Transport.

Kroes, E., Kouwenhoven, M., Debrincat, L. y Pauget, N., 2014. Value of crowding on public transport in île-de-France, France. *Transportation Research Record*, 2417(1), pp. 37-45.

Li, Z. y Hensher, D., 2011. Crowding and public transport: A review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal. *Transport Policy*, 18(6), pp. 880-887.

Louviere, J., Hensher, D., Swait, J. y Adamowicz, W., 2000. *Stated Choice Methods: Analysis and Applications*. doi:10.1017/CBO9780511753831 ed. s.l.:Cambridge: Cambridge University Press.

LT Marketing, 1988. Research into Crowding Penalties for LUL and LRT.

Manski, C. F., 1977. The structure of random utility models. *Theory and decision*, 8(3), p. 229.

Maunsell, F. y Macdonald, M., 2007. Rail Overcrowding, Reliability and Frequency. *Report for Centro, the West Midlands Passenger Transport Executive*.

McFadden, D., 1973. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior.

Metro de Bogotá, 2020. *Glosario: Confort de viaje*. [Online] Available at: <https://www.metrodebogota.gov.co/?q=transparencia/informacion-interes/glosario/confort-viaje> [Accessed 06 19 2020].

Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2017. *Manual del Investigador de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (Casen)*. [Online] Available at: <http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/docs/Manual del Investigador Casen 2017.pdf>

Muñoz, V., Thomas, A., Navarrete, C. y Contreras, R., 2016. Encuesta origen-destino de Santiago 2012: Resultados y validaciones. *Ingeniería de Transporte*, 19(1).

BIBLIOGRAFÍA

MVA Consultancy, 2008. *Understanding the passenger: valuation of overcrowding on rail services*, London, United Kingdom: Report for Department of Transport.

Newinger, H. B. y de Lapparent, M., 2019. Perceived comfort and values of travel time savings in the Rhône-Alpes Region.. *Transportation research part A: policy and practice*, Volume 124, pp. 370-387.

Ortuzar, J. d. D. y Willumsen, L. G., 2011. *Modellin Transport*. s.l.:John Wiley y Sons.

Passenger Focus, 2010. *Bus passenger priorities for improvement*. [Online] Available at: <https://www.transportfocus.org.uk/research-publications/publications/bus-passenger-priorities-for-improvement/> [Accessed 12 Abril 2018].

Polydoropoulou, A. y Ben-Akiva, M., 2001. Combined revealed and stated preference nested logit access and mode choice model for multiple mass transit technologies. *Transportation Research Record*, 1771(1), pp. 38-45.

Pompilio, J. J., 2006. *Diseño de encuestas de preferencias declaradas para la estimación del valor de los ahorros de tiempo y el pronóstico de la demanda de servicios de transporte urbano de pasajeros*. Argentina, XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política.

Raveau, S., Guo, Z. M., C., J. y Wilson, N. H., 2014. A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 66, pp. 185-195.

Raveau, S., Muñoz, J. C. y De Grange, L., 2011. A topological route choice model for metro. *Transportation Research Part A. Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(2), pp. 138-147.

Rivas, M. E., Suárez-Alemán, A. y Serebrisky, T., 2019. *Hechos estilizados de transporte urbano en América Latina y el Caribe*, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, DC: Nota técnica del BID no. 1640.

Rizzi, L. I., Limonado, J. P. y Steimetz, S. S., 2012. The impact of traffic images on travel time valuation in stated-preference choice experiments. *Transportmetrica*, 8(6), pp. 427-442.

BIBLIOGRAFÍA

Shin, H., Kim, D. K., Kho, S. Y. y Cho, S. H., 2020. Valuation of Metro Crowding Considering Heterogeneity of Route Choice Behaviors. *Transportation Research Record*, p. 0361198120948862.

Tirachini, A., 2012. *Multimodal pricing and the optimal design of bus services: new elements and extensions*. s.l.:PhD thesis. The University of Sydney.

Tirachini, A., Hensher, D. A. y Rose, J. M., 2013. Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transportation research part A: policy and practice*, Volume 53, pp. 36-52.

Tirachini, A., Hensher, D. A. y Rose, J. M., 2014. Multimodal pricing and optimal design of urban public transport: The interplay between traffic congestion and bus crowding. *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 61, pp. 33-54.

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

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

Tirachini, A., Sun, L., Erath, A. y Chakirov, A., 2016. Valuation of sitting and standing in metro trains using revealed preferences. *Transport Policy*, Volume 47, pp. 94-104.

Train, K., 2009. *Discrete Choice Methods with Simulation*. 2nd ed. University of California, Berkeley: Cambridge University Press.

Trompet, M., Parasram, R. y Anderson, R. J., 2013. Benchmarking disaggregate customer satisfaction scores of bus operators in different cities and countries. *Transportation research record*, 1(2351), pp. 14-22.

Wallis, I., Douglas, N. y Lawrence, A., 2013. *Economic appraisal of public transport service enhancements*. 533 ed. NZ: Transport Agency research report.

Wardman, M., 2014. *Valuing Convenience in Public Transport*. France, International Transport Forum/OECD.

Wardman, M. y Whelan, G., 2011. Twenty years of rail crowding valuation studies: evidence and lessons from British experience. *Transport reviews*, 31(3), pp. 379-398.

BIBLIOGRAFÍA

Whelan, G. y Crockett, J., 2009. An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding. *Proceedings of the first International Conference on Choice Modelling, Harrogate, England*, Volume 30.

Yáñez, M. F., Mansilla, P. y de Dios Ortúzar, J., 2010. The Santiago Panel: measuring the effects of implementing Transantiago. *Transportation*, 1(37), pp. 125-149.

Yap, M., Cats, O. y van Arem, B., 2020. Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 16(1), pp. 23-42.

ANEXOS

Anexo 1: Manual del personal experimento PR-PD

Tabla 25. Manual de funciones del encuestador.

Identificación	Encuestador
Objetivos	Realizar las encuestas a los usuarios.
Personal a cargo	Ninguno
Instrucciones	<p>Para cada encuestado:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Digitar hora de incorporación a la fila del pasajero en el formulario.2. Entregar tarjeta foliada al pasajero.3. Realizar encuesta.4. Pedir al pasajero que entregue tarjeta foliada al recolector.
Insumos	Identificación, chaleco, reloj, lápiz, tarjetas foliadas de color, planilla con formularios y guía de preguntas según fila, cartilla personal de juegos de elección y botella de agua.
Tener en cuenta	<ol style="list-style-type: none">1. Encuestar sólo a pasajeros que recién se hayan incorporado a una fila en el paradero.2. Evitar encuestar a personas relacionadas.

Tabla 26. Manual de funciones del recolector.

Identificación	Recolector
Objetivos	Recibir las tarjetas foliadas.
Personal a cargo	Auxiliar de recolección.
Instrucciones	<p>En cada ciclo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Recibir las tarjetas foliadas de los pasajeros de la fila de sentados. 2. Entregar el primer paquete de tarjetas al auxiliar de recolección. 3. Recibir las tarjetas foliadas de los pasajeros arrepentidos de la fila de sentados. 4. Recibir las tarjetas foliadas de los pasajeros de la fila de parados. 5. Entregar el segundo paquete de tarjetas al auxiliar de recolección.
Insumos	Identificación, chaleco y botella de agua.
Tener en cuenta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Agrupar las tarjetas de arrepentidos junto con las de la de la fila de parados. 2. Estar pendiente de que todos los pasajeros entreguen su tarjeta

Tabla 27. Manual de funciones del Auxiliar de recolección.

Identificación	Auxiliar de recolección.
Objetivos	Recibir los paquetes de tarjetas del recolector.
Personal a cargo	Ninguno.
Instrucciones	<p>En cada ciclo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Recibir el primer paquete de tarjetas del recolector. 2. Registrar hora de subida al bus en el primer paquete de tarjetas. 3. Guardar el primer paquete en la canasta de los viajeros sentados. 4. Recibir el segundo paquete de tarjetas del recolector. 5. Registrar hora de subida al bus en el segundo paquete de tarjetas. 6. Guardar el segundo paquete en la canasta de los viajeros parados.
Insumos	Identificación, chaleco, elásticos, lápiz, canastas y botella de agua.
Tener en cuenta	No confundir los paquetes en las canastas. En la canasta de los viajeros sentados debe haber tarjetas de un solo color, en cambio en la canasta los viajeros parados habrá dos colores debido a los pasajeros arrepentidos de la fila de sentados.

Tabla 28. Manual de funciones del camarógrafo.

Identificación	Camarógrafo.
Objetivos	Registrar en video el experimento.
Personal a cargo	Ninguno.
Instrucciones	<p>Durante el experimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grabar la llegada y salida de los buses. 2. Registrar la subida de los pasajeros. 3. Filmar la longitud de las filas cuando sea posible.
Insumos	Identificación, chaleco, cámara de video y botella de agua.
Tener en cuenta	<ol style="list-style-type: none"> 1. La grabación de los vehículos debe permitir identificar si el bus es articulado o no o si existe cola de buses en paradero. 2. El registro de subida de pasajeros debe permitir contar la cantidad de pasajeros que ingresan en cada bus. Además se debe registrar el momento en que: los pasajeros de la fila de sentados inician su ingreso al bus, la fila se detiene, los pasajeros arrepentidos ingresan al bus y la fila de parados avanza.

Tabla 29. Manual de funciones del supervisor.

Identificación	Supervisor.
Objetivos	Velar por que el experimento se esté llevando a cabo correctamente.
Personal a cargo	Encuestadores, recolector, auxiliar de recolección y camarógrafo.
Instrucciones	<p>Previo al experimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Entregar las herramientas de trabajo al personal a cargo. 2. Avisar a los funcionarios del paradero y/o demás trabajadores en paradero (ej: vendedores ambulantes) del experimento que se llevará a cabo. 3. Coordinar relojes y dar inicio al experimento. <p>Durante el experimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Supervisar el trabajo del personal a cargo. 2. Apoyar al personal en caso de una eventualidad. 3. Dar fin al experimento. <p>Después del experimento:</p> <p>Recibir las herramientas de trabajo del personal a cargo, los formularios diligenciados y las canastas con las tarjetas foliadas.</p>
Insumos	Identificación y chaleco.
Tener en cuenta	Verificar durante el experimento que los relojes continúen coordinados.

Anexo 2: Descripción de variables de la encuesta a usuarios

Tabla 30. Anexo 1: Definición de variables de la encuesta PR-PD.

<i>Variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Respuesta</i>
<i>Hora de inicio en la fila</i>	Hora de incorporación en la fila del encuestado.	Formato HH:MM
<i>Largo de fila</i>	Validador del largo de la fila de sentados a la hora de realizar la encuesta. Medida: distancia de un paradero.	A, B, C o D
<i>Folio de la tarjeta</i>	Número de folio entregado al encuestado por el encuestador.	No aplica.
<i>Género</i>	Género del encuestado.	F (Femenino) o M (Masculino)
<i>Edad</i>	Edad del encuestado.	Número exacto, en caso de que el encuestado dude en responder preguntar por grupo (Tabla 31. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).
<i>Paradero de bajada</i>	Paradero de bajada declarado por el encuestado.	Nombre del paradero, intersección o punto de interés cercano.
<i>Tiempo de viaje en el bus</i>	Tiempo de viaje declarado por el encuestado.	Valor aproximado.
<i>Propósito de viaje</i>	Motivo del viaje del encuestado.	Casa, Trabajo, Estudios, Otro (especificar cuál)
<i>Preguntas de la cartilla</i>	Juegos de elección de la encuesta PD.	Ruta 104-A o 104-B
<i>Motivación por viajar parado</i>	Razón(es) por la(s) que el encuestado prefiere ir parado.	Respuesta abierta.
<i>Motivación por viajar sentado</i>	Razón(es) por la(s) que el encuestado prefiere ir sentado.	Salud, cansancio, alerta, carga, sofocamiento, accidente, robo, acoso, otro(s) (especificar cuál(es)).
<i>Nº de personas en el hogar</i>	Nº de personas viviendo en el hogar del encuestado, incluido él.	Número exacto.
<i>Nº de autos en el hogar</i>	Nº de autos del hogar del encuestado.	Número exacto.
<i>Licencia de conducir</i>	El encuestado debe declarar si posee una licencia de conducir.	Sí, No.

<i>Variable</i>	Descripción	Respuesta
<i>Ingreso de hogar</i>	Rango de ingreso líquido mensual del hogar declarado por el encuestado.	Grupo de Tabla 32.
<i>N° de tarjeta BIP</i>	N° de tarjeta bip! declarada por el encuestado.	Número exacto.
<i>Observaciones</i>	Anotaciones que el encuestador considere relevantes al momento de la encuesta.	Texto.

Tabla 31. Rango de edad encuesta a usuarios.

N°	Edad [años]
1	15 - 18
2	19 - 25
3	26 - 50
4	51 - 65
5	66 o más
6	
7	No sabe o No responde

Tabla 32. Grupos de ingreso encuesta a usuarios.

N°	Rango [\$]
1	0 - 300.000
2	300.001 - 500.000
3	500.001 - 600.000
4	600.001 - 900.000
5	900.001 - 2'600.000
6	Más de 2'600.000
7	No sabe o No responde

Anexo 3: Conjunto de juegos de elección de la encuesta PD

Tabla 33. Conjunto de juegos de elección de la encuesta PD.

ID	tv^{PR}	Tipo	Encuestador	Pregunta	te_1^{PD}	tv_1^{PD}	S_1^{PD}	te_2^{PD}	tv_2^{PD}	S_2^{PD}
1	1	A	1	1	2	13	0	10	13	1
2	1	A	1	2	9	10	1	9	5	0
3	1	A	1	3	5	12	0	8	6	0
4	1	B	2	1	3	5	0	3	10	1
5	1	B	2	2	9	7	1	5	7	0
6	1	B	2	3	5	13	1	8	8	1
7	1	A	3	1	4	14	0	12	14	1
8	1	A	3	2	13	15	1	13	3	0
9	1	A	3	3	2	15	0	10	5	0
10	1	B	4	1	2	5	0	2	12	1
11	1	B	4	2	10	7	1	4	7	0
12	1	B	4	3	2	13	1	6	7	1
13	1	A	5	1	7	10	0	12	10	1
14	1	A	5	2	8	10	1	8	5	0
15	1	A	5	3	2	15	0	10	5	0
16	1	B	6	1	4	5	0	4	12	1
17	1	B	6	2	10	7	1	2	7	0
18	1	B	6	3	5	10	1	8	5	1
19	1	A	7	1	2	10	0	7	10	1
20	1	A	7	2	8	12	1	12	4	0
21	1	A	7	3	5	11	0	9	5	0
22	2	B	1	1	5	30	0	12	30	1
23	2	B	1	2	10	29	1	10	18	0
24	2	B	1	3	2	28	0	8	16	0
25	2	A	2	1	3	20	0	3	27	1
26	2	A	2	2	14	16	1	4	16	0
27	2	A	2	3	5	30	1	13	17	1
28	2	B	3	1	3	28	0	12	28	1
29	2	B	3	2	14	30	1	14	16	0
30	2	B	3	3	3	25	0	12	18	0
31	2	A	4	1	3	16	0	3	29	1
32	2	A	4	2	14	16	1	6	16	0
33	2	A	4	3	5	30	1	15	17	1
34	2	B	5	1	5	25	0	12	25	1

ID	tv^{PR}	Tipo	Encuestador	Pregunta	te_1^{PD}	tv_1^{PD}	S_1^{PD}	te_2^{PD}	tv_2^{PD}	S_2^{PD}
35	2	B	5	2	15	30	1	15	16	0
36	2	B	5	3	5	28	0	12	18	0
37	2	A	6	1	4	16	0	4	30	1
38	2	A	6	2	12	18	1	5	18	0
39	2	A	6	3	2	30	1	12	16	1
40	2	B	7	1	5	26	0	15	26	1
41	2	B	7	2	12	28	1	12	16	0
42	2	B	7	3	5	27	0	10	17	0
43	3	A	1	1	4	44	0	10	44	1
44	3	A	1	2	12	43	1	12	32	0
45	3	A	1	3	3	45	0	12	32	0
46	3	B	2	1	3	33	0	3	42	1
47	3	B	2	2	15	31	1	2	31	0
48	3	B	2	3	5	45	1	14	34	1
49	3	A	3	1	5	45	0	13	45	1
50	3	A	3	2	12	44	1	12	33	0
51	3	A	3	3	5	44	0	14	32	0
52	3	B	4	1	3	31	0	3	44	1
53	3	B	4	2	15	33	1	5	33	0
54	3	B	4	3	3	45	1	15	31	1
55	3	A	5	1	3	40	0	12	40	1
56	3	A	5	2	11	45	1	11	31	0
57	3	A	5	3	5	44	0	12	32	0
58	3	B	6	1	5	33	0	5	45	1
59	3	B	6	2	14	32	1	4	32	0
60	3	B	6	3	4	44	1	12	32	1
61	3	A	7	1	7	43	0	13	43	1
62	3	A	7	2	15	45	1	15	32	0
63	3	A	7	3	5	45	0	10	32	0
64	4	B	1	1	3	57	0	13	57	1
65	4	B	1	2	15	59	1	15	46	0
66	4	B	1	3	2	60	0	10	48	0
67	4	A	2	1	5	46	0	5	60	1
68	4	A	2	2	10	48	1	2	48	0
69	4	A	2	3	3	57	1	8	50	1
70	4	B	3	1	2	55	0	15	55	1
71	4	B	3	2	13	60	1	13	47	0

Anexo 3: Conjunto de juegos de elección de la encuesta PD

ID	tv^{PR}	Tipo	Encuestador	Pregunta	te_1^{PD}	tv_1^{PD}	S_1^{PD}	te_2^{PD}	tv_2^{PD}	S_2^{PD}
72	4	B	3	3	5	58	0	13	47	0
73	4	A	4	1	3	46	0	3	60	1
74	4	A	4	2	14	48	1	3	48	0
75	4	A	4	3	3	60	1	12	46	1
76	4	B	5	1	6	50	0	12	50	1
77	4	B	5	2	9	60	1	9	47	0
78	4	B	5	3	5	60	0	12	46	0
79	4	A	6	1	4	46	0	4	58	1
80	4	A	6	2	15	46	1	5	46	0
81	4	A	6	3	4	60	1	14	46	1
82	4	B	7	1	5	55	0	15	55	1
83	4	B	7	2	12	58	1	12	48	0
84	4	B	7	3	5	55	0	10	46	0
85	5	A	1	1	3	87	0	15	87	1
86	5	A	1	2	16	86	1	16	75	0
87	5	A	1	3	5	90	0	15	75	0
88	5	B	2	1	6	80	0	6	90	1
89	5	B	2	2	10	75	1	3	75	0
90	5	B	2	3	4	86	1	12	72	1
91	5	A	3	1	3	87	0	12	87	1
92	5	A	3	2	12	89	1	12	74	0
93	5	A	3	3	5	90	0	15	75	0
94	5	B	4	1	5	75	0	5	90	1
95	5	B	4	2	13	77	1	3	77	0
96	5	B	4	3	5	90	1	15	75	1
97	5	A	5	1	6	80	0	16	80	1
98	5	A	5	2	12	90	1	12	77	0
99	5	A	5	3	7	85	0	15	70	0
100	5	B	6	1	5	76	0	5	90	1
101	5	B	6	2	15	75	1	5	75	0
102	5	B	6	3	4	90	1	14	74	1
103	5	A	7	1	2	88	0	10	88	1
104	5	A	7	2	13	87	1	13	73	0
105	5	A	7	3	7	90	0	15	75	0

Anexo 3: Conjunto de juegos de elección de la encuesta PD

Anexo 4: Registro fotográfico experimento PR-PD



Figura 19. Encuestas en fila de sentados.



Figura 20. Pasajera entregando tarjeta foliada al recolector.



Figura 21. Extensión de fila de sentados y cola de cuatro (4) buses en el paradero.