



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**VALIDACIÓN EXÓGENA DE ESTIMACIÓN DE PARADERO DE BAJADA Y DESTINO
DE ACTIVIDADES DE USUARIOS DE TRANSANTIAGO USANDO ENCUESTAS
ORIGEN/DESTINO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIEGO IGNACIO SILVA LÓPEZ

PROFESORA GUÍA:

MARCELA MUNIZAGA MUÑOZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ANTONIO GSCHWENDER KRAUSE

CAROLINA PALMA ALVARADO

SANTIAGO DE CHILE

NOVIEMBRE 2012

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: DIEGO IGNACIO SILVA LÓPEZ
FECHA: 05/11/2012
PROF. GUÍA: SRA. MARCELA MUNIZAGA M.

“Validación exógena de estimación de paradero de bajada y destino de actividades de usuarios de Transantiago usando encuestas origen/destino”

Con el inicio de Transantiago y la incorporación de tecnologías de información, se genera una base de datos masiva proveniente del uso de la tarjeta bip! como medio de pago y el registro del posicionamiento geográfico de los buses. Con el objetivo de que fuesen creadas herramientas innovadoras que permitiesen mejorar la planificación y operación del sistema, fue firmado un convenio de cooperación entre la Subsecretaría de Transportes y la Universidad de Chile, del cual surge una serie de proyectos de investigación, como la estimación de paraderos de bajada, que genera posteriormente matrices de viaje y estimación de actividades de usuarios.

La metodología propuesta logra la estimación de paraderos de bajada para más de un 80% de las transacciones. Sin embargo, para aquellos usuarios que realizan sólo una transacción al día, los que usan un modo con tarifa no integrada y los que no pagan por el servicio, no es posible realizar tal estimación.

Este trabajo de título consiste en comparar las estimaciones realizadas por el modelo con datos provenientes de encuestas Origen/Destino de viajes, para verificar la correcta estimación de paradero de bajada, y explorar los casos en que no fue posible determinarlos, identificando casos tipo. Además, se proponen criterios que permitan identificar endógenamente en la base de datos estimaciones incorrectas.

Por otra parte, se analiza la elección de ruta de los usuarios en la red de metro mediante el cruce de la ruta declarada en las encuestas con la ruta estimada por el modelo usando un algoritmo de rutas mínimas.

Complementariamente, para una muestra de voluntarios, se validó la estimación del modelo para cada una de las transacciones de su respectiva tarjeta. Esto se hizo mediante una entrevista personal en que el voluntario es confrontado con la información guardada por el modelo para las transacciones de su tarjeta, y es invitado(a) a confirmar o identificar errores en la estimación.

Como resultados globales de este trabajo de título, se tiene que para la validación usando encuestas origen – destino de viajes, el modelo logró un 84.21% de estimaciones correctas, y para la validación con voluntarios, el 96.62% de las estimaciones resultaron correctas.

Este trabajo de título permitió establecer diferentes criterios y aspectos que investigaciones futuras en el área debiesen considerar para lograr resultados consistentes que permitan una correcta validación de modelos de este tipo.

*A mi Madre, Tetito y Trocuita.
Juntos, saldremos adelante.*

Agradecimientos

A mi madre, por el infinito apoyo que me has dado siempre y me lo seguirás dando. Eres un ejemplo de mujer! Pudiste sacarnos adelante pese a todo! Te amo! Tenemos un duro desafío por vencer en estos momentos, pero saldremos de esta!

A mis hermanos, por haberme aguantado todo este tiempo, en especial cuando tenía prueba y tenía que entregar trabajos (jaja).

A mi tío Pancho, por todo tu apoyo.

A mi profesora guía Marcela Munizaga. Profe, muchísimas gracias por su ayuda y orientación. Siempre tuvo tiempo y disposición para resolver mis dudas.

A Carolina y el Profe Antonio, mis profes de la Comisión, que siempre me apoyaron y resolvieron mis dudas.

A Mauricio Z. y Richard, por haber tenido siempre la disposición de pasarme la información que fui necesitando para mi memoria (Sorry por hinchar tanto cabros!)

A mis amigos más cercanos del 5to. Tomás, Potter, César N. y César V. Por su apoyo y los momentos en que compartimos (tenemos que fijar una ida de despedida al Saint Patrick, jaja).

A Margarita (grande!), Seba y a todos los del 5to por las sobremesas de 2 horas todos los días (no debería estar escribiendo esto, jaja) en la salita del café.

A Solange, que siempre tuvo la mejor disposición conmigo y me sacó de apuros siempre!

A mis compañeros de Civil y primer año. Andrea G. (que le mandaron saludos), Nico M., Franco, Eduardo, Leo, Nacho, Cote, Gonzalo, Tami y a todos con los que compartimos momentos de alegría y “sufrimiento” para algunas pruebas y exámenes durante todos estos años.

A los amigos de la vida que pude conocer durante esta etapa con los que compartí lindos momentos fuera de la vida universitaria. Fran H., Coni, Ariel, Fabiola, Laís, Marcia, y muchos otros.

A cada uno de los más de 100 voluntarios que se preocuparon de guardar su comprobante de recarga y que se dieron el tiempo de ser entrevistados (a unos les debo su linterna aún, jaja)

Y por supuesto, al de arriba, el que me ha ayudado siempre y lo seguirá haciendo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
3. METODOLOGÍA	11
4. VALIDACIÓN CON ENCUESTAS ORIGEN-DESTINO DE METRO	17
5. VALIDACIÓN CON VOLUNTARIOS	45
6. ANÁLISIS ADICIONALES ORIGINADOS A PARTIR DE LA VALIDACIÓN.....	55
7. RECOMENDACIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.....	65
8. CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	70

1. INTRODUCCIÓN

Con la implementación de Transantiago en el año 2007, se introdujo el uso de nuevas tecnologías, como el pago electrónico mediante la tarjeta bip! y el registro de posicionamiento geográfico de buses mediante GPS. Se genera así una masiva base de datos de la que es posible obtener información valiosa para construir modelos y estimaciones que en la práctica pueden traducirse en ahorros y mejoras significativas en la planificación y funcionamiento del sistema de transporte.

La firma de un convenio entre la Subsecretaría de Transportes y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, en el que se estipula el intercambio de la base de datos con el fin de crear herramientas innovadoras y útiles para la gestión y la planificación del sistema, se tradujo en el inicio de investigaciones en las que se desarrollaron modelos como el de estimación de velocidades de buses del sistema y el de estimación de paraderos de bajada, del cual derivó la estimación de matrices de viajes y la estimación de actividades de los usuarios. La metodología propuesta por Munizaga y Palma (2012) permite estimar de paradero de bajada para sobre el 80% de las transacciones. El porcentaje de casos en los que no pudo ser determinado, corresponde principalmente a transacciones únicas del día, uso de modo no integrado y evasión. Cabe destacar que la implementación de tecnología que permite realizar validaciones adicionales con la tarjeta al momento de descender y/o salir del sistema integrado, marca diferencias en la formulación de modelos de estimación de paradero de bajada, debido a que con esta herramienta se tiene registro, ya sea con posicionamiento GPS y/o fecha y hora de la transacción, del destino del usuario. Lo anterior se da en ciudades en que se requiere cobrar la tarifa según el tramo recorrido por el usuario, como ocurre, por ejemplo, en San Francisco y en el metro de Londres. De esta manera, para ese tipo de casos, no existe el problema de que para las transacciones únicas del día no sea posible estimar un paradero de bajada.

En este trabajo, se plantea por primera vez validar estimaciones realizadas por el modelo de Munizaga y Palma (2012) utilizando información exógena proveniente de encuestas Origen/Destino de viajes en Metro. Se pretende también explorar el uso de información complementaria para aumentar la capacidad de estimación del modelo fundamentándose en la comparación anteriormente planteada.

El fin último del uso de estos modelos es obtener información valiosa, que de otra forma sólo se puede obtener con un alto costo financiero y logístico. Por otro lado, hay innumerables ventajas de utilizar información almacenada automáticamente versus datos obtenidos mediante encuestas, considerando la precisión, el nivel de masividad y la frecuencia con que se podría obtener.

El objetivo general de este trabajo de título es la validación del modelo de estimación de paraderos de bajada y actividades, utilizando datos exógenos.

Los objetivos específicos de esta memoria son los siguientes:

- Identificar patrones de comportamiento de usuarios y de viajes que permitan estructurar una posible automatización masiva de la validación con datos de encuestas futuras.
- Proponer información complementaria para corregir los viajes erróneamente identificados.

En el capítulo 2 de este trabajo, se presenta una revisión bibliográfica del área en el cual esta memoria está inmersa, para posteriormente en el capítulo 3 detallar la metodología del modelo a validar. Luego, en el capítulo 4 y 5, se presentan las dos tipos de validaciones realizadas. Estas corresponden a la realizada con encuestas origen-destino de metro y a la hecha con usuarios voluntarios.

En el capítulo 6, se reportan análisis adicionales que surgieron a partir de esta memoria. En él se proponen criterios de validación endógena de estimaciones, se analiza la elección de ruta de usuarios dentro de la red de Metro, y se evalúa el comportamiento del modelo con la incorporación del tiempo de viaje en metro en la función de tiempo generalizado en la estimación de la estación de bajada. Posteriormente, en el capítulo 7 son planteadas recomendaciones para trabajos futuros en el área, y qué líneas de investigación surgen a partir de este trabajo de título.

Finalmente, en el capítulo 8 se establecen las conclusiones de esta memoria.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la planificación de transporte público, la introducción de nuevas herramientas que permitan reducir costos y contar con un mayor nivel de información para diseñar y mejorar un sistema de transporte, se hace cada vez más común y necesario en distintas ciudades del mundo. Un elemento fundamental de la planificación en transporte es la obtención de matrices Origen-Destino de viajes lo más representativa posible de la cantidad y distribución de los viajes de una ciudad. Es así como en el último tiempo han surgido distintas investigaciones que, utilizando datos derivados del pago electrónico de tarifa, buscan obtener matrices de una manera más eficiente, con mayor frecuencia y menor costo. El hito que marca el inicio de los trabajos en el marco de sistemas electrónicos de pago es la implementación en la década de los 90 de las primeras

tarjetas de pago electrónico en el mundo: la Suica en Tokyo, y la Smartrip en Washington (Munizaga y Palma, 2012). En años posteriores, el pago con tarjeta comenzó a utilizarse, con diversos niveles de penetración y uso, en varias ciudades. Se visualizaba que con esta nueva tecnología iba a ser posible conocer, con un bajo nivel de error, el origen y destino de un viaje, haciendo posible formular matrices origen-destino más robustas en comparación a las obtenidas con las metodologías tradicionales, como las resultantes de la realización de encuestas a hogares.

En un principio, el contexto de las investigaciones se enmarca en detallar las especificaciones del sistema de pago de las respectivas ciudades, siendo los temas más reportados las posibles fallas en la recolección de datos, el nivel de utilización de la tarjeta y la proposición de mejoras al sistema tecnológico respectivo. Chapleau y Chu (2007) reportan para la ciudad de Quebec uno de los primeros métodos de detección y corrección de datos recogidos por el sistema de pago electrónico, en el que se establecen criterios de congruencia entre los datos según lo arrojado por el sistema, para así encontrar el origen de los datos erróneos, y proponer correcciones para lograr una base de datos limpia para el uso posterior por modelos, como, por ejemplo, el de estimación de paradero de bajada.

Beltrán et al (2011) describe el uso y penetración de la tarjeta bip! en la ciudad de Santiago (Chile), con niveles por sobre el 97%, lo que se traduce en que las transacciones realizadas con la tarjeta de prepago representan casi la totalidad de los viajes de Transantiago, permitiendo, a priori, establecer que las matrices que se obtendrían con modelos que utilizaran estos datos poseerían un robusto respaldo de información. Además, en esta investigación, se realiza una completa descripción de transacciones por período y día, obtención de velocidades comerciales, caracterización de viajes, entre otros parámetros.

De manera paralela, otros trabajos reportaron la formulación de nuevos modelos y herramientas, como lo hecho por Rahbee (2009) para el sistema de metro de la ciudad de Chicago, en el que se realiza una estimación de la matriz origen-destino para los viajes en dicho modo. Dado que en dicha ciudad sólo existía validación al momento de ingresar al sistema, éste postula como criterios de estimación de paradero de bajada que un alto porcentaje de los usuarios regresan a la estación de destino del viaje anterior o a alguna estación muy próxima de ella como inicio del siguiente viaje, que los patrones de viaje de los usuarios con tarjeta son parecidos con los que no la poseen, y que los viajeros terminan su último viaje del día muy cerca o en el mismo origen donde comenzó el primer viaje del día (presumiblemente el hogar).

En la misma corriente investigativa, Lianfu et al (2007) construye una matriz Origen-Destino para buses para la ciudad de Changung (China). Ésta es armada utilizando como método para definir los paraderos de bajada que el primer embarque en

hora punta tarde es el punto de bajada del viaje de la hora punta mañana, y que el primer embarque en hora punta mañana es el paradero de bajada del último viaje en hora punta tarde. Dado que el número de tarjeta del sistema cambia según la zona de la ciudad, se utiliza el método de Furness para estimar la Matriz Origen/Destino de la ciudad.

En otra línea de investigación, Trépanier et al. (2007) proponen un método para estimar paradero de bajada en un sistema de buses sólo con validaciones en el embarque, basándose en la minimización de la distancia entre la localización de los paraderos posibles del servicio abordado y el paradero de embarque de la siguiente validación. También en sistemas de pago electrónico que incorporan a buses, Barry et al. (2009) propone para la ciudad de Nueva York uno de los primeros modelos para estimar origen y destino de viajes en sistemas multimodales, con servicios integrados de buses, metro y tren de cercanía. Barry et al (2009) establece dos criterios principales para la estimación de paradero de bajada: existen viajes que finalizan muy cerca del punto de inicio del viaje anterior, y que el último viaje del día de muchos usuarios finaliza muy próximo o en el lugar de inicio del primer viaje del día. Un aspecto relevante de este trabajo es que para el caso de embarques en buses, el lugar geográfico donde ocurrió fue estimado por el cruce de la hora de la transacción con la tabla de horarios de los diferentes servicios, dado que los buses no poseían sistema de posicionamiento GPS. Otro trabajo que también propuso estimación de origen y destino de viajes en sistemas multimodales, fue el de Farzin (2008), que propone un método de estimación de matrices origen-destino de viajes para la ciudad de São Paulo (Brasil), basándose en la división por zonas de la ciudad establecido para la realización anterior de encuestas origen-destino, utilizando los mismos criterios establecidos por Barry et al (2009) para determinar paradero de bajada.

Munizaga y Palma (2012) proponen que para la construcción de la matriz origen-destino de viajes de una ciudad compleja como Santiago (Chile), la estimación del paradero de bajada se realice mediante el criterio de la minimización del tiempo generalizado de viaje entre la parada "i" y la posición de la siguiente transacción. Para las transacciones realizadas en la red de metro, se propone como estación de destino la más cercana en distancia a la posición de la siguiente transacción. La ruta dentro de la red de Metro se define mediante la aplicación de rutas mínimas. Este nuevo criterio propuesto para la estimación de bajada avanza sobre el método propuesto por Trépanier et al (2007), con el que, en una red compleja como Santiago, se puede obtener la estimación errónea de paraderos de bajada, en un mismo sentido de circulación, para servicios que utilizan la misma vía tanto en la ida como en el regreso. Lo anterior ocurre para el caso de viajes que, dada la secuencia de transacciones posteriores a la asignación, ésta debería haber sido en el sentido contrario. Otras mejoras a esta metodología fueron propuestas por Devillane et al. (2011), que creó nuevos criterios para contabilizar viajes que, con el método original, no eran considerados como tales, estimándolos como etapas de otro.

Otra investigación, también realizada para la ciudad de Santiago, fue la de Devillane et al. (2012), en la que, basada en la metodología propuesta por Munizaga y Palma (2012), e incorporando las mejoras formuladas por Devillane et al. (2011), se plantea un modelo de estimación de actividades de usuarios de transporte público, en el que, fundamentándose en la diferencia del tiempo de realización de transacciones consecutivas, son establecidos rangos de tiempo para poder definir propósitos de viaje de los usuarios.

Por otra parte, es relevante destacar que la realización de validaciones de un modelo es necesaria para establecer la confiabilidad real del modelo analizado. Especialmente relevante es la validación con datos exógenos. Una realización adecuada y éxito de la misma está fuertemente determinada por las especificaciones del modelo y por el tipo de información disponible para concretarla. Muchas investigaciones reportaron la realización de validaciones exógenas adicionales a las internas de los modelos propuestos, como lo descrito por Barry et al (2002) para la ciudad de Nueva York, que describe la comparación con viajes de prueba realizado con la Metrocard con su modelo propuesto. Dicho autor también propone la realización futura de aplicaciones como la validación con encuestas Origen-Destino realizadas en hogares para mejorar los modelos propuestos. Rahbee (2007), con su trabajo de la ciudad de Chicago, reporta la validación de su modelo propuesto con encuestas, concluyendo que, al ser las preguntas de las mismas confusas y levemente inconsistentes, los resultados de esta comparación no son válidos. Este último autor también reporta la validación de los supuestos de su modelo propuesto, la cual fue realizada por Transinfo mediante el uso de Chicago Area Transportation Study (CATS), hecha en 1990.

Farzin (2008) reporta el uso de matrices derivadas de encuestas hechas en hogares para comparar los resultados obtenidos por su modelo, destacando que éste estimó zonas de origen y de destino y no paradero específico de embarque/desembarque de los usuarios del sistema, lo que facilitó una comparación adecuada, dado que la zonificación utilizada para la confección del modelo fue la misma que la usada en la realización de las encuestas origen-destino.

Existen otros trabajos que relatan validaciones exógenas de modelos, no necesariamente relacionadas con el pago electrónico mediante tarjetas, especialmente para modelos de demanda de transporte basados en actividades, área en la cual se encuentran un sinnúmero de realización de validaciones exógenas, como en el trabajo de Roorda et al (2007), en el que un modelo de generación de actividades para el área metropolitana de Toronto es validado por medio de encuestas realizadas a hogares, y la investigación realizada por Pendyala et al (2005) para un modelo de demanda basado en actividades, para el que fue hecho el cruce de información con encuestas realizadas en hogares, al igual que lo hecho en Toronto. Ambos trabajos utilizaron indicadores estadísticos tradicionales para establecer la validez de los modelos analizados.

Cabe destacar que en los trabajos de Roorda et al (2007) y Pendyala et al (2005), es posible establecer, sin una agregación de datos que permita realizar comparaciones, la capacidad de estimación de los modelos propuestos. Esto es posible dado que el uso de indicadores y/o parámetros estadísticos típicos sí es aplicable, dado que los resultados de los modelos son directamente número de viajes. Este tipo de análisis no resulta ser directo en los trabajos anteriormente descritos, en que el éxito de la estimación de los modelos, a priori, no es posible de cuantificar, considerando que la comparación de lo modelado con lo real requiere utilizar indicadores globales de datos.

La proposición de indicadores de comparación según la forma del manejo de datos del modelo, que deben responder a las características propias del mismo, constituye un objetivo a realizar para modelos en el que no es posible comparar directamente sus resultados con lo observado sin un previo tratamiento o aglomeración de datos.

3. METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ESTIMACIÓN DE PARADERO DE BAJADA

El modelo propuesto por Munizaga y Palma (2012), con las mejoras de Devillane et al. (2012), utiliza como datos básicos el registro de las transacciones hechas con la Tarjeta Bip! y el posicionamiento GPS de los buses que componen el sistema. La estimación se basa en el seguimiento de la cadena de etapas que componen el/los viajes realizados por un usuario, tal como se esquematiza en la Figura (3.1).

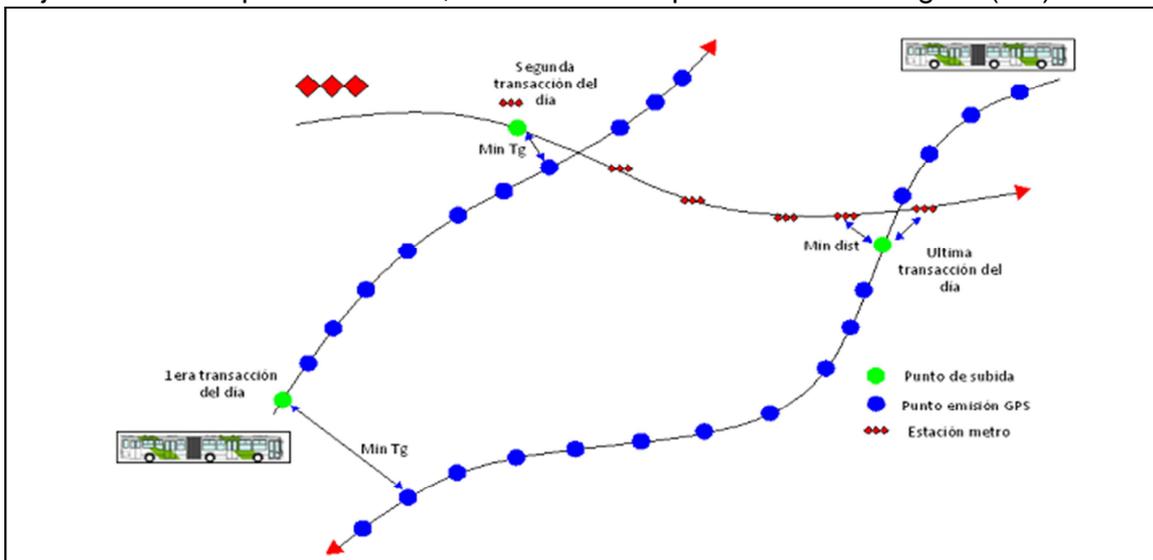


Figura Nº 3.1: Secuencia de etapas y esquematización del modelo de estimación de paradero de bajada
Fuente: Munizaga y Palma (2012)

El modelo se fundamenta en dos ideas base, que son las siguientes:

- El paradero de bajada de la última etapa del último viaje de un cierto día es, o está próximo, del paradero/punto de inicio donde fue realizada la primera etapa del primer viaje del día respectivo.
- El término de una etapa de un viaje ocurre en el lugar o en las proximidades del punto de realización de la siguiente transacción.

La formulación matemática que recoge los criterios anteriores se basa en el planteamiento del concepto del tiempo generalizado para cada posición posible de bajada caracterizada por (x_i, y_i, t_i) , que se detalla en la ecuación (1).

$$Tg_i = t_i + f_w \cdot \frac{d_{i-post}}{s_w} \quad (1)$$

Con

t_i :Tiempo de llegada del bus a la posición i

f_w :Factor de penalización de la caminata obtenido de modelos discretos.

d_{i-post} :Distancia entre el posible paradero posición i y la siguiente transacción

s_w : Velocidad de caminata

Bajo los supuestos del modelo, se espera encontrar el paradero de bajada más probable, dentro de un radio d, considerando que un usuario habrá buscado maximizar su utilidad al utilizar el sistema, es decir, elegir el paradero de bajada que minimiza la función de tiempo generalizado. Esto se recoge en la ecuación (2).

$$\text{Min}_{\tau_i, d_i - \text{ant}} Tg_i \quad (2)$$

s. t

$$d_{i-post} < d$$

Considerando como valor de $d = 1000$ mt., según lo establecido en Munizaga y Palma et al (2012).

Al ejecutar el modelo para una semana tipo del mes de Junio de 2010, se obtienen los porcentajes de estimación que se muestran en la Tabla (3.2)

		Junio 2010
% Estimación de paradero de bajada		83.01
Razones de no estimación %		
No caminables		7.6
Transacciones únicas		5.4
Error en la base de datos		1.6
Estimación errónea (en el mismo punto)		2.39

Tabla N° 3.2: Porcentajes de estimación globales para una semana tipo de Junio 2010
Fuente: Munizaga y Palma (2012)

Según dónde fue realizada una transacción determinada: bus, metro o en zona paga, son desagregados los porcentajes de estimación de paradero de bajada, lo que se muestra en la Tabla (3.3)

% Estimación según lugar realización de la transacción	Junio 2010	
	N° Transacciones	% Estimación
Bus	23.614.012	84.5
Metro	12.470.020	89.4
Zona Paga	2.034.917	72.2

Tabla N° 3.3: Porcentajes de estimación según lugar de realización de la transacción
Fuente: Munizaga y Palma (2012)

La necesidad de establecer el porcentaje de transacciones con estimación de paradero de bajada, que sí representan lo que efectivamente el usuario realizó en su viaje, es una de las razones principales de la realización del presente trabajo de título.

3.2 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE VIAJES , ACTIVIDADES Y PROPÓSITO

La metodología utilizada para la definición del corte de etapa y viaje, de actividades y de propósito de viaje, es la propuesta por Devillaine et al. (2012), la que se basa en el algoritmo de estimación de paradero de bajada propuesto por Munizaga y Palma (2012), que fue detallado anteriormente.

El primer análisis realizado por la metodología es la estimación de qué transacciones corresponden a etapas y cuáles a viajes. Esto es planteado a través del denominado "Módulo de Identificación de Actividades" (AIM), el que toma como

parámetros las etapas de viaje y estima como resultado las actividades y los viajes. El paso siguiente es establecer para cada viaje el propósito de realización del mismo, lo que es realizado por la metodología por el “Módulo de Asignación de Propósito” (PAM).

3.2.1 Módulo de Identificación de Actividades y Viajes (AIM)

La función principal de este módulo es identificar qué ventanas temporales entre una bajada estimada y un abordaje corresponden a transbordos y cuáles a la realización de actividades, basándose en patrones de conducta de los usuarios de transporte público. Para esto, fueron establecidos diferentes criterios que se detallan a continuación.

- Patrón de los 30 minutos

Corresponde a la categorización de una ventana temporal como actividad si entre una bajada y la siguiente transacción hay más de 30 minutos (descontando el tiempo de acceso al siguiente servicio).

- Patrón dos transacciones consecutivas en metro

Tomando en cuenta la estructura tarifaria del sistema y un comportamiento racional de los usuarios, para dos transacciones consecutivas en estaciones de metro para un mismo ID y mismo día, se estableció que la ventana entre ambas es una actividad, considerando que es innecesario validar dos veces en la red de metro en el caso de que sea un viaje, y la única razón que justifica pagar dos veces es la necesidad de salir del sistema.

- Patrón dos transacciones consecutivas en el mismo recorrido de bus

De manera análoga a lo planteado en el criterio anterior, se tiene el caso de dos transacciones de un mismo ID realizadas en un mismo día en dos buses que sirvan el mismo recorrido, tanto para dos que estén realizando un mismo sentido o el mismo recorrido en sentidos opuestos.

- Patrón comparación entre distancia euclidiana y distancia de ruta de un viaje

Considerando la información disponible de puntos de abordaje y bajada, se plantea el factor f_d :

$$f_d = \frac{d_{ruta}}{d_{euclidiana}} \quad (3)$$

Este factor busca identificar tanto viajes ida y retorno, como también viajes que posean un encadenamiento de actividades cortas entre etapas.

Por una parte, este criterio contempla separar los viajes que cumplan que $f_d > 2$ en dos o más viajes, valor que resultó luego de analizar, para una muestra, la tendencia del parámetro y lo que ello representaba en relación a si era una etapa o un viaje.

- Patrón bus no abordado

Este criterio establece que si el usuario, realizando un trasbordo, no aborda el bus n-ésimo, con n parámetro a definir, este realizó una actividad corta en ese punto.

3.2.2 Módulo de Asignación de Propósito (PAM)

A partir de los resultados arrojados por el Módulo de Identificación de Actividades, este módulo estima un propósito para cada una de las actividades definidas por el módulo anterior.

Son cuatro los propósitos definidos:

- **Trabajo:** constituye la actividad laboral principal del día
- **Estudio:** actividad de carácter estudiantil-académica principal del día
- **Hogar:** es el conjunto de actividades desarrolladas en el hogar después de haber llegado a éste y hasta el momento en que el usuario de transporte público vuelve a salir de él.
- **Otros:** cualquier actividad cuyo propósito no esté comprendido en una de las categorías anteriores..

El criterio de definición de propósitos para cada actividad estimada, se detalla en la tabla (3.4)

Propósito	Día laboral	Fin de semana
Trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de tarjeta es adulto La actividad dura más de 2 horas El viaje anterior a la actividad no fue el último del día 	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de tarjeta es adulto La actividad dura más de 5 horas El viaje anterior a la actividad no fue el último del día
Estudio	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de tarjeta es estudiante La actividad dura más de 2 horas El viaje anterior a la actividad no fue el último del día 	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de tarjeta es estudiante La actividad dura más de 5 horas El viaje anterior a la actividad no fue el último del día
Hogar	<ul style="list-style-type: none"> El viaje anterior a la actividad fue el último del día 	<ul style="list-style-type: none"> El viaje anterior a la actividad fue el último del día
Otros	<ul style="list-style-type: none"> La actividad dura entre 1 minuto y 2 horas El viaje anterior a la actividad no fue el último del día 	<ul style="list-style-type: none"> La actividad dura entre 1 minuto y 5 horas El viaje anterior a la actividad no fue el último del día

Tabla 3.4: Criterios de asignación de propósitos

Fuente: Devillaine (2012)

4. VALIDACIÓN CON EOD DE METRO

4.1 Descripción de la muestra de validación

Metro de Santiago realiza anualmente estudios de la demanda de usuarios que circulan por su red. En particular, en el mes de Junio de 2010, se aplica una encuesta origen-destino de viajes en la que se incorpora la consulta del número de serie de la tarjeta bip! con la que el usuario encuestado estaba realizando el viaje sondeado. Esta nueva información recogida es lo que sustenta esta memoria de título, dado que esto permite hallar en la base de datos las transacciones asociadas a cada número, y de esta manera compararlas con lo declarado en cada una de las encuestas, pudiendo así validar el modelo de estimación de paradero de bajada. El detalle de la cantidad de encuestas por semana y por día, con y sin registro de número de serie de tarjeta bip!, se encuentra en las tablas (4.1), (4.2) y (4.3).

	Semana	Encuestas Totales	Encuestas con número de serie de tarjeta Bip!
1	31/05 - 06/06	13	4
2	07/06 - 13/06	1263	433
3	14/06 - 20/06	2469	882
4	21/06 - 27/06	2729	827
5	28/06 - 04/07	790	180
6	05/07 - 11/07	2	0

Tabla N° 4.1: N° de Encuestas realizadas con y sin el número de tarjeta bip! para cada semana de Junio de 2010

Fuente: Elaboración propia en base al estudio de Metro

DÍA	SEMANA	1	2	3	4	5	6	TOTAL POR DÍA
Lunes				16	6			22
Martes	2	390	917	748	26			2083
Miércoles	7	425	500	1196	710	2		2840
Jueves		430	830	745	54			2059
Viernes	2	6	193	5				206
Sábado	2	6	2	18				28
Domingo		6	11	11				28
TOTAL POR SEMANA		13	1263	2469	2729	790	2	7266

Tabla N° 4.2: Cantidad de encuestas con y sin el número de tarjeta bip! registrado por día para todas las semanas de Junio de 2010

Fuente: Elaboración propia en base al estudio de Metro

DÍA	SEMANA	1	2	3	4	5	6	TOTAL POR DÍA
Lunes		0	0	2	3	0	0	5
Martes	1	102	279	194	5	0		581
Miércoles	0	173	164	312	151	0		800
Jueves	0	152	395	306	24	0		877
Viernes	1	2	38	0	0	0		41
Sábado	2	2	1	10	0	0		15
Domingo	0	2	3	2	0	0		7
TOTAL POR SEMANA		4	433	882	827	180	0	2326

Tabla N° 4.3: Cantidad de encuestas con el número de tarjeta bip! registrado por día para todas las semanas de Junio de 2010

Fuente: Elaboración propia en base al estudio de Metro

En cada encuesta, fueron consultados a los usuarios varios elementos de su viaje, los que se detallan en la tabla (4.4). Se puede ver que la información recogida en ella, tiene puntos que la base de datos generada por el modelo también posee, lo que permite que esta muestra sea apta para que la metodología pueda ser validada. El detalle del formato de la encuestas aplicadas por Metro se encuentra en el anexo A.

4.2 Validación exploratoria de la muestra

Previo al análisis, es necesario verificar que los viajes registrados en cada una de las encuestas del estudio de Metro sean viajes factibles de realizar, para validar el modelo con información coherente y sin errores. Por tanto, para cada encuesta de las cinco semanas en las cuales se tenía registrado el número de tarjeta Bip!, fue analizada la factibilidad del viaje declarado, verificando que los modos de ingreso, estación de origen, estación de destino y modo de egreso declarado, formasen una secuencia posible de realizar dados los trazados de los distintos servicios de ingreso y/o egreso, la estación de origen y destino declaradas, y las esquinas de origen y de destino.

En función de lo anterior, se estableció una clasificación de los errores encontrados, que se detalla en la tabla (4.5). En ella, se detalla además el número de encuestas por semana por cada tipo de incongruencia. Se puede ver que el número de encuestas sin errores es una cantidad considerable de encuestas, por sobre el 50%. Por el contrario, se denotan errores que pueden llegar a ser corregidos con la base de datos de transacciones, como los relacionados con fallas en el registro del servicio, y otras fallas que no permiten que el error sea corregido, como que la esquina de destino no haya sido encontrada.

Dentro de la clasificación de los errores, es necesario considerar las siguientes definiciones:

- “Ingreso”: se refiere a la etapa de acceso (o ingreso) a metro.
- “Egreso” : etapa de egreso de metro.
- “Servicio”: servicio de bus asociado a la transacción de acceso o egreso según sea el caso.
- “Modo ingreso/egreso innecesario”: cuando el uso del modo declarado, distinto a caminata, no se justifica, dado que la estación de origen es accesible por caminata desde la esquina origen, y/o es posible llegar a la esquina de destino desde la estación de destino caminando. Se utilizó como criterio que la distancia máxima permitida fuese de 500 mt, de manera de establecer una distancia máxima caminable y así injustificar el uso de un modo.

En la Tabla 4.5, se puede ver que una fuente de error importante encontrada, es la que se origina dada la restricción que impone el formato de la encuesta de que sólo puede registrarse a lo más un modo y un servicio tanto en el acceso como en el egreso de metro, lo que produce fundamentalmente el error “modo ingreso/egreso declarado no permite llegar a esquina origen/destino”.

TIPIFICACIÓN ESTABLECIDA EN VALIDACIÓN EXPLORATORIA	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	TOTAL
Encuestas sin errores	1	215	529	402	81	1228
Calles esquina destino paralelas		8	3	26	4	41
Calles esquina origen paralelas		8	4	11	2	25
Esquina destino deducible		9	4	21	2	36
Esquina destino deducible dada corta extensión de una de sus calles		6	18	15	3	42
Esquina destino no encontrada		16	30	67	20	133
Esquina destino no encontrada pero se deduce sector donde se localiza			2			2
Estación destino debe ser otra		7	7	12	6	32
Estación destino podría ser otra	1	2	5	7	2	17
Esquina origen deducible		7	12	5	8	32
Esquina origen deducible dada corta extensión de una de sus calles		4	11			15
Esquina origen lejana a posible paradero del servicio ingreso declarado		1		1		2
Esquina origen no encontrada		41	44	57	14	156
Estación origen debe ser otra		11	14	6	1	32
Estación origen debe ser otra o modo ingreso no permite llegar a esquina origen			1	1		2
Estación origen podría ser otra		2	3	8	2	15
Incongruencia entre esquina y estación destino			4			4
Modo egreso no permite llegar a esquina destino		13	28	21	3	65
Modo ingreso innecesario		6	6	5	2	19
Modo egreso innecesario		17	42	51	9	119
Modo ingreso no permite llegar a estación origen		6	16	14	3	39
Modo ingreso no permite llegar a estación origen o estación origen debe ser otra			2	1		3
Modos ingreso y egreso innecesario			1			1
Modo no integrado declarado no pasa por estación ingreso o egreso según corresponda			1	1		2
Servicio egreso debe ser otro		1				1
Servicio egreso no registrado		13	48	27	8	96
Servicio egreso podría ser otro		1				1
Servicio ingreso debe ser otro		14	12	19	2	47
Servicio ingreso no pasa por esquina origen	1					1
Servicio ingreso no pasa por estación origen			2	2		4
Servicio ingreso no registrado		8	5	15	2	30
Servicio ingreso podría ser otro	1	2	2			5
Servicios ingreso y egreso deben ser otros			1			1
Servicios ingreso y egreso podrían ser otros		1		1		2
Una calle esquina destino encontrada		1				1
Una calle esquina origen no encontrada		1		3		4
Verificar secuencia viaje		18	31	32	8	89
Subtotal	4	433	882	826	180	2326

Tabla N° 4.5: Tipos de incongruencia detectados
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en algunos de estos casos, es posible corregir la información de la encuesta utilizando los datos disponibles. De esta manera, el análisis también fue enfocado en verificar si la información de la base de datos podía complementar lo registrado en la encuesta de manera de poder utilizarla para la validación, clasificándose en niveles de posible complementariedad, los que son detallados en la tabla (4.6). Cabe destacar que una determinada tipificación de las encuestas descrita

en la tabla (4.5), puede clasificarse en más de un nivel de complementariedad, lo que dependerá del modo de egreso declarado. Por ejemplo, si la esquina de destino del viaje no es encontrada y el usuario declara que egresa en modo caminata, será clasificado como nivel medio de complementariedad, dado que de todas formas la estación de destino es declarada, lo que no ocurriría si el modo de egreso fuese en bus. Lo anterior se explica considerando que esa declaración de estación de destino es el paradero de bajada en sí, si el egreso es realizado caminando.

Es así como se obtiene el número de encuestas para cada semana según los niveles de complementariedad establecidos en la tabla (4.6), es lo que es mostrado en la tabla (4.7).

Dado que la semana 3 es la que tiene la mayor cantidad de encuestas con el número de tarjeta bip! registrado, en una primera instancia esta es la escogida para realizar el cruce con la base de datos de transacciones bip!

En relación a lo anterior, resulta necesario tener la cantidad de viajes separados por modo de ingreso y egreso, de manera de cuantificar la cantidad de etapas que fueron realizados con pago mediante tarjeta bip!, que serán las etapas que se podrán comparar con las transacciones registradas en la base de datos, como se muestra en la tabla (4.8).

Cabe destacar que los modos de ingreso y egreso que pueden ser vistos con el cruce con la base de datos, corresponden a los que tienen como medio de pago a la tarjeta bip!, que son el modo alimentador y troncal definidos en la encuesta. El número de viajes que poseen uso de estos modos en el acceso y/o egreso a/de metro para la semana de análisis se señala en la tabla 4.8.

Nivel de Complementariedad	Descripción
Alto	Con la base de datos fácilmente puede corregirse el error en la encuesta. Por ejemplo, resulta directo observar la transacción correspondiente y obtener el servicio asociado. (Servicio ingreso/egreso es otro, estación origen es otra, servicio ingreso/egreso no registrado)
Medio	Con la base de datos, dependiendo de la encuesta, puede que sí sea posible corregir la encuesta. Dependiendo del caso, es posible ver en la base de datos si efectivamente está registrado el uso o no de un determinado servicio (Modo egreso innecesario, estación destino debería/podría ser otra).
Bajo	Con la base de datos difícilmente puede corregirse el error en la encuesta. El viaje presenta errores en la secuencia de etapas, principalmente relacionados a trazados de servicios que no se intersectan ni con las estaciones de origen/destino ni con las esquinas declaradas (Secuencia errónea)
Nulo	No es posible corregir la encuesta complementando con la base de datos (Encuestas descartadas)
Modos no integrados con pago tarjeta bip!	No es posible corregir la encuesta complementando con la base de datos

Tabla N°4.6: Niveles de complementariedad entre información de encuestas y la base de datos de transacciones Bip!

Fuente: Elaboración propia

		Semana					
		31/05-06/06	07/06 - 13/06	14/06 - 20/06	21/06 - 27/06	28/06 - 04/07	05/07 - 11/07
Encuestas sin errores		1	215	529	402	82	0
Errores	Alta complementariedad	1	120	169	170	48	0
	Complementariedad media	2	61	117	132	23	0
	Baja complementariedad	0	10	16	25	2	0
	Modos no integrados	0	3	14	27	8	0
	Encuestas descartadas	0	24	37	71	17	2
Encuestas totales		4	433	882	827	180	2

Tabla N° 4.7: Niveles de complementariedad entre información de encuestas y la base de datos de transacciones Bip!

Fuente: Elaboración propia

M. EGRESO M. INGRESO	A Pie	Metro- tren	Troncal	Aliment.	Taxi Colect.	Taxi	Bicicleta	Auto cond.	Auto acomp.	Bus Interp.	Otro Medio	TOTAL
A Pie	347	0	107	101	16	7	0	6	6	7	1	598
Metrotrén	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
Troncal	64	0	14	15	1	0	0	0	1	1	1	97
Alimentador	78	0	6	10	1	1	0	0	1	1	1	99
Taxi Colectivo	15	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	20
Taxi	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bicicleta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Auto conductor	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Auto acompañante	22	0	4	3	1	1	0	1	0	2	0	34
Bus Interprovincial	7	0	3	1	1	2	0	0	1	0	0	15
Otro Medio	4	0	2	3	1	0	0	0	0	0	1	11
TOTAL	543	0	140	134	23	11	0	7	9	11	4	882

Tabla N° 4.8: Cantidad de viajes por modo de ingreso y egreso para la semana 3 (14/06/10 a 20/06/10)
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 4.1 y 4.2 se muestra la distribución horaria de viajes de la muestra de validación según su propósito, a las encuestas con y sin registro de ID de tarjeta bip! y a las con registro de ID.

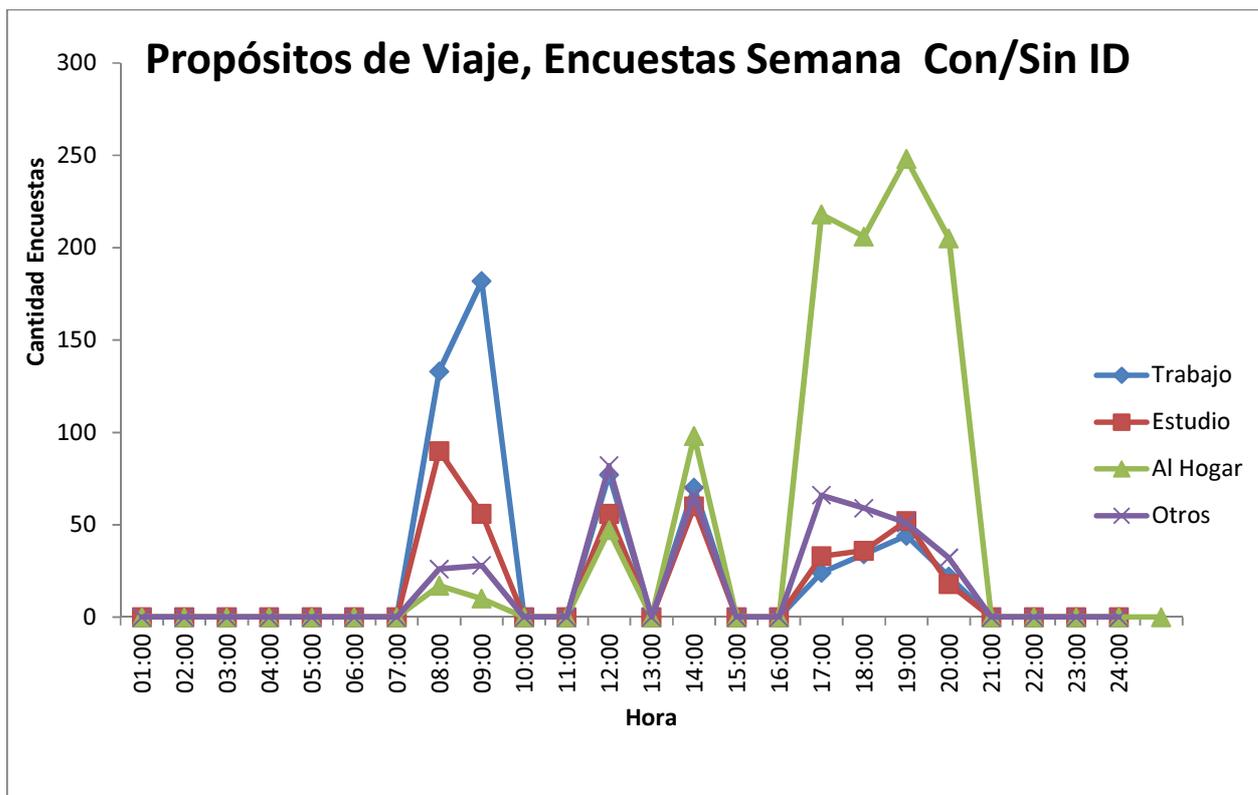


Figura N°4.1: Distribución de viajes por hora para encuestas con y sin ID para la semana 3
Fuente: Elaboración propia

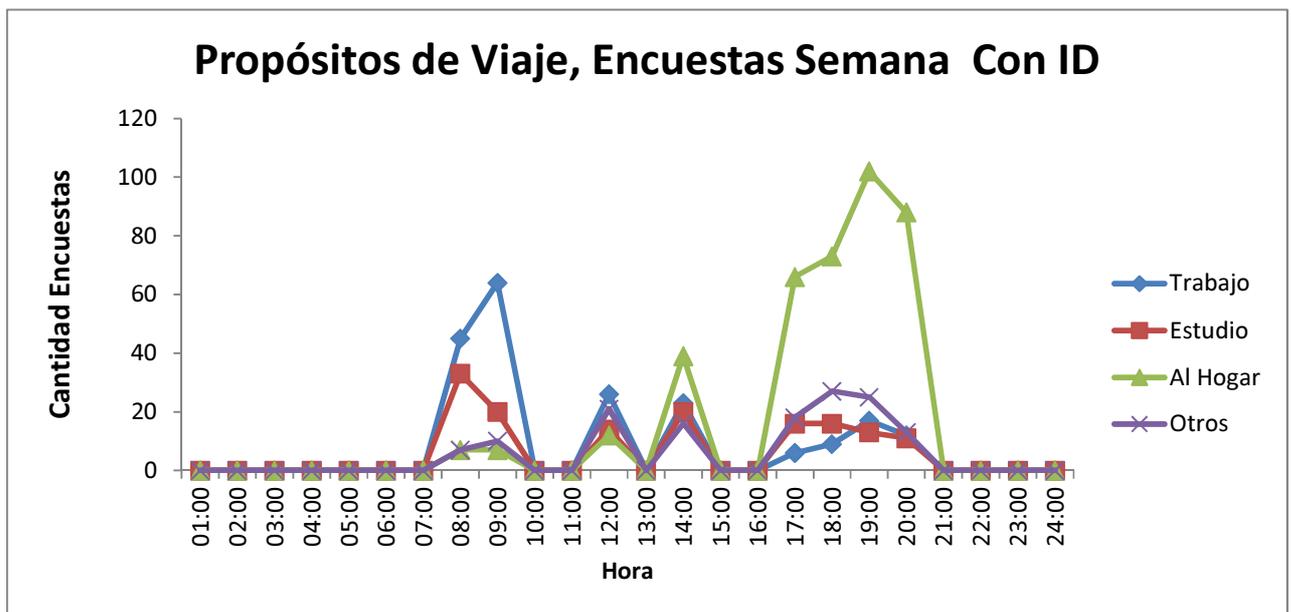


Figura N°4.2: Distribución de viajes por hora para encuestas con ID para la semana 3
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, es obtenida la corrida computacional para una semana, que permite comparar cada una de las 1350 etapas declaradas en bus, zona paga y metro de los 882 viajes declarados en las 882 encuestas registradas.

Para dar inicio al proceso de validación exógena, el primer paso necesario es buscar en la base de datos de la corrida del modelo de estimación de paradero de bajada, las transacciones correspondientes a cada una de las tarjetas declaradas en la encuesta realizada por Metro. Cada tarjeta bip! tiene asociado un chip, cuyo número de serie identifica a cada tarjeta dentro de la base de datos. La identificación del número de chip correspondiente a cada tarjeta, se realiza mediante el acceso a un diccionario de tarjeta/chip. El uso de esta información está circunscrito netamente para los fines del proyecto de investigación al cual pertenece este trabajo de título.

De las 882 encuestas disponibles para la validación, es necesario descartar algunas, debido a dos situaciones observadas en la muestra. La primera situación es que el chip asociado a la tarjeta no es encontrado, lo que se debe a que el número de tarjeta registrado no existe en la base de datos de tarjetas bip! del sistema, lo que puede deberse a errores, ya sea en la toma de datos, o en la digitación de las encuestas, reduciéndose el número de encuestas a 827. La otra situación detectada es que, pese a que el número de chip es encontrado para el número de serie de tarjeta bip! registrado, se tiene que en la base de datos de transacciones no se encuentran observaciones que hayan sido realizadas en la semana que se está analizando, lo que puede deberse a que el número de tarjeta bip! fue mal registrado o digitado y coincidió

que sí existía una tarjeta con chip conocido, o que el usuario encuestado haya tenido en su poder más de una tarjeta bip! y haya declarado que estaba usando para pagar el viaje sondeado otra tarjeta que realmente no utilizó en esa ocasión. Con lo anterior, se obtienen finalmente 684 encuestas validables, que corresponde a un 77.55% de la muestra.

El detalle de la cantidad de encuestas se muestra en la tabla (4.9)

	Nº Encuestas
Encuestas con tarjeta bip! registrada	882
Series de tarjeta distintas registradas	880
Encuestas con tarjeta con chip asociado	827
Encuestas con su tarjeta con al menos una transacción en la semana	684
Encuestas con su tarjeta sin transacciones en la semana	143
Encuestas con tarjeta sin chip asociado	55

Tabla Nº 4.9: Número de encuestas disponibles a ser validadas
Fuente: Elaboración propia

4.3 Realización de proceso de Validación Exógena

Con la cantidad definida de cuántas y qué encuestas podrían ser validadas, se comienza la comparación de cada etapa del viaje declarado con lo registrado en la base de datos de las transacciones. La localización del viaje declarado y sus respectivas etapas dentro de la base de datos de las transacciones, fue posible considerando que el lugar de realización de la encuesta es la estación de origen registrada en la encuesta, por tanto basta con buscar las transacciones que hayan sido efectuadas en dicha estación.

Finalmente, dentro de las posibles transacciones realizadas en metro en la estación de origen de la encuesta, la que resulta ser la que pertenece al viaje declarado, es la que coincide con la fecha y hora en la que la encuesta está registrada.

De esta manera, fue establecido el número final de encuestas a ser validadas, tomando en cuenta que se detectó que una cantidad no despreciable de encuestas que, a pesar de que tenía asociada una tarjeta con su chip respectivo encontrado y que se observaron transacciones en la semana analizada, no fue encontrada la transacción en metro. La cantidad de encuestas en esta situación es de 83, obteniéndose 601 encuestas validables, lo que se reporta en la Tabla (4.10).

Clasificación de transacciones sin registro en la base de datos	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Total
Transacción declarada no registrada en la base de datos	35	-	31	66
Transacción en la que ninguna etapa del viaje declarado está registrada en la base de datos	10	83	26	119
TOTAL	45	83	57	185

Tabla 4.10: Transacciones declaradas no registradas en la base de datos

Fuente: Elaboración propia

En relación a lo anterior, fueron definidos siete tipos de transacciones a validar, lo que se detalla en tabla (4.11)

TIPOS DE ETAPAS	
Etapa de acceso a metro no declarada 1	Etapa no declarada en la encuesta que ocurre antes de la etapa en metro, la que corresponde temporalmente a la primera etapa del viaje
Etapa de acceso a metro no declarada 2	Etapa no declarada en la encuesta que ocurre después de la primera etapa de acceso no declarada
Etapa de acceso a metro declarada	Etapa declarada en la encuesta, que ocurre antes de la etapa en metro para acceder a él
Etapa en metro	Corresponde a la etapa de metro con la que se localizó la encuesta dentro de la base de datos de transacciones
Etapa de egreso de metro declarada	Etapa declarada en la encuesta que ocurre después de la etapa en metro para acceder a destino final
Etapa de egreso de metro no declarada 1	Etapa no declarada en la encuesta que ocurre después de la etapa en metro o de la etapa de egreso declarada según sea el caso
Etapa de egreso de metro no declarada 2	Etapa no declarada en la encuesta, que ocurre después de la primera etapa etapa no declarada

Tabla N° 4.11: Tipos de transacciones a validar

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el formato de validación utilizado para transacciones realizadas en bus, se detalla en la tabla (4.12), y el para transacciones hechas en metro en la tabla (4.13)

PUNTOS DE LA VALIDACIÓN
Validación paradero de subida
Validación del servicio
Se estimó paradero de bajada (SÍ/NO)
Validación del paradero de bajada estimado
Elementos particulares encontrados en la validación del paradero de bajada

Tabla N° 4.12: Formato de validación de transacciones realizadas en bus
Fuente: Elaboración propia

PUNTOS DE LA VALIDACIÓN
Validación estación de subida
Se estimó estación de bajada (SÍ/NO)
Validación de la estación de destino estimada
Elementos particulares encontrados en la validación del paradero de bajada

Tabla N° 4.13 Formato de validación de transacciones realizadas en metro
Fuente: Elaboración propia

4.4 RESULTADOS OBTENIDOS

4.4.1 Detalle de resultados de la estimación de paradero de bajada

En términos globales, el porcentaje de estimación de paradero de bajada según el tipo de etapa detallada en la tabla (4.12), se muestra en la tabla (4.14):

Estimación de transacciones según tipo de etapa	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
Transacciones con estimación de bajada	14	1	88	520	121	40	3	787
Transacciones sin estimación de bajada	4	1	8	76	37	12	1	139
TOTAL	18	2	96	596	158	52	4	926
Porcentaje estimación	77.78%	50.00%	91.67%	87.25%	76.58%	76.92%	75.00%	84.99%

Tabla 4.14: Porcentajes de estimación de bajada según tipo de etapa
Fuente: Elaboración propia

Considerando que las etapas tanto de acceso como de egreso de metro no declaradas no poseen un registro explícito en la encuesta y que fueron detectadas en la base de datos, sin tener una confiabilidad en comparación con las etapas declaradas, no es posible sustentar un análisis de la tendencia del porcentaje de estimación. No obstante, sí se puede observar en las etapas declaradas una disminución del porcentaje de estimación a medida que la etapa se encuentra en una fase más avanzada dentro del viaje. Lo anterior ocurre considerando que mientras antes ocurra dentro del viaje la transacción, más se asegura que tenga estimación tomando en cuenta que habrá una etapa posterior que asegurará estimación. En efecto, las transacciones sin bajada estimada en la etapa de acceso no tienen estimación principalmente debido a fallas en la base de datos de los buses, y en menor parte por errores en la estimación de transacciones hechas en zonas paga.

En relación a lo anterior, cabe destacar que las transacciones en metro no están sujetas a error de asignación a un paradero de bajada debido a fallas de equipamientos, como sí puede ocurrir para transacciones hechas en bus, lo que asegura aún más la estimación en transacciones de la etapa de acceso a metro.

En las tablas (4.15), (4.16) y (4.17) se muestran los porcentajes de estimación según el lugar de realización de la transacción y el tipo de etapa respectivo. Se puede ver que el porcentaje de estimación para transacciones hechas en metro es el más alto, lo que se explica por el hecho de que la red de metro al ser más extensa, claramente, que cualquier recorrido de bus, hace más probable que se encuentre una estación de bajada pese a un posible uso de un modo integrado o evasión entre etapas.

	Acceso No decl. 2	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
BUS Transacciones con estimación	13	1	84	-	68	33	3	203
BUS Transacciones sin estimación	3	1	8	-	22	4	1	39
Porcentaje de estimación	81.25%	50.00%	91.30%	-	75.56%	89.19%	75.00%	83.88%

Tabla 4.17: Porcentaje de estimación de transacciones realizadas en bus
Fuente: Elaboración propia

	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
METRO Transacciones con estimación	-	-	-	520	-	-	-	520
METRO Transacciones sin estimación	1	-	-	76	-	1	-	78
Porcentaje de estimación	0%	-	-	87.25%	-	0%	-	86.96%

Tabla 4.18: Porcentaje de estimación de transacciones realizadas en metro
Fuente: Elaboración propia

	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
ZONA PAGA Transacciones con estimación	1	0	4	-	53	7	-	65
ZONA PAGA Transacciones sin estimación	0	0	0	0	15	7	-	22
Porcentaje de estimación	100%	-	100%	-	77.94%	50.00%	-	74.71%

Tabla 4.19: Porcentaje de estimación de transacciones realizadas en zona paga
Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Resultados de la validación de paradero de subida

Como resultado de la validación de cada una de las transacciones asociadas a cada etapa registrada en la encuesta origen-destino de metro, es formulada una tipificación producto de la comparación de lo estimado por el modelo, la que se detalla a continuación:

- Estimación correcta exacta:

El paradero de subida estimado es el paradero más cercano a la esquina de origen declarada.

- Estimación correcta considerando declaración de esquina más conocida que la real

La esquina de origen declarada, en base a la observación de las transacciones a lo largo de toda la semana de estudio, corresponde a una esquina más conocida, por lo general cruce de avenidas importantes, que la esquina de origen real del encuestado

- Estimación está en los alrededores de la esquina de origen declarada

El paradero de subida estimado se encuentra en los alrededores del paradero más cercano a la esquina de origen declarada

- Estimación correcta basándose en las correcciones propuestas en la Validación Exploratoria

El paradero de subida estimado es el más cercano a la esquina de origen declarada según la corrección propuesta en la validación de la muestra

- Estimación correcta (Cambios detectados en el viaje declarado)

Situación observada en las etapas de egreso de Metro, en las que pese a que en la base de datos se ve un cambio de destino de viaje considerando el servicio de bus abordado, el paradero de subida es estimado en los alrededores de la estación de destino declarada.

- Asignó en paradero fuera de EIM esperada debido a problemas de recepción de señal GPS

El paradero de subida estimado es asignado fuera de la Estación Intermodal debido a los problemas de recepción de la señal GPS en el subterráneo del lugar.

- Encuesta con Inconsistencias

Etapas a priori no validables dado que el viaje declarado presenta inconsistencias en su registro.

- Error en la base de datos

Un error en la base de datos, principalmente debido a servicios mal asignados, provocó que el modelo no pudiese estimar un paradero de subida.

- Estación registrada fue otra

Para transacciones en metro, se observa en la base de datos que la estación de origen registrada es otra, dado la coincidencia de servicios y de horarios de las otras etapas entre lo registrado en la encuesta y lo que se tiene en la base de datos.

- No validable dado errores en la encuesta

La etapa no es posible de validar dado errores en la encuesta, como por ejemplo que la esquina de origen no fue encontrada.

- No validable dado que etapa no fue declarada

No es posible validar la etapa dado que no fue declarada en la encuesta.

- Paradero sin esquina definida

No es posible validar la encuesta dado que el paradero estimado está registrado en el consolidado de paradas pero no tiene esquina asignada.

- Transacción declarada no registrada en la base de datos

La etapa declarada no se encuentra en la base de datos.

- Transacción en la que ninguna etapa del viaje declarado está registrada en la base de datos

Ninguna etapa del viaje asociado a la etapa analizada se encuentra en la base de datos.

En la Tabla (4.20) se reporta la cantidad de transacciones en las que el paradero de subida es validable o no, considerando sólo transacciones con estimación de paradero de bajada.

Cantidad de transacciones con estimación de alidables y no validables (Paradero de subida)	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declar.	Metro	Egreso Declar.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
Transacciones validables	7	0	63	520	121	22	0	733
Transacciones no validables	7	1	25	0	0	18	3	54
% Transacciones validables	50.00	0.00	71.59	100.00	100.00	55.00	0.00	93.14

Tabla 4.20: Cantidad de transacciones validables para el paradero de subida por etapa para transacciones con estimación de paradero de bajada

Fuente: Elaboración propia

Las etapas que concentran un menor porcentaje de transacciones no validables son justamente dos del tipo no declaradas, lo que se explica por la falta de información en la encuesta para validar debido a que dichas etapas no fueron registradas.

En la Tabla (4.21) se muestra el detalle de los resultados de la validación del paradero de subida para transacciones con estimación de paradero de bajada. Se puede observar que el bajo porcentaje de estimaciones que no son correctas (1.09%) responde a errores propios de los datos utilizados por el modelo (problemas en la recepción de señal GPS y paraderos sin esquina definida), y no a fallas en su ejecución o sus los resultados.

Validación paradero de subida para transacciones con estimación y validables	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Decl.	Metro	Egreso Decl.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total	% de las validables
Estimación correcta exacta	4		38	520	105	18		685	93.45
Estimación correcta considerando declaración de esquina más conocida que la real	2		11					13	1.77
Estimación está en los alrededores de la subida declarada	1		12					13	1.77
Estimación correcta exacta basándose en las correcciones propuestas en la Validación Exploratoria					1			1	0.14
Estimación correcta exacta (Cambios detectados en el viaje declarado)					11	1		12	1.64
Estimación correcta basándose en las correcciones propuestas en la Validación Exploratoria						1		1	0.14
Subtotal de Estimaciones Correctas	7	0	61	520	117	20	0	725	98.91
Asignó en paradero fuera de EIM esperada debido a problemas de recepción de señal GPS					4	2		6	11.11
Paradero sin esquina definida			2					2	3.70
Subtotal de Estimaciones Erróneas	0	0	2	0	4	2	0	8	1.09
TOTAL VALIDABLES	7	0	63	520	121	22	0	733	100.00

Tabla 4.21: Resultados de la validación del p. de subida para transac. Validables
Fuente: Elaboración propia

En tabla (4.22) se reporta el detalle de las transacciones en las que el paradero de subida no es validable.

Validación paradero de subida para transacciones con estimación y no validables	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
No validable dado errores en la encuesta	6		25			6		37
No validable dado que etapa no fue declarada	1	1				12	3	17
TOTAL NO VALIDABLES	7	1	25	0	0	18	3	54

Tabla (4.22): Cantidad de transacciones no validables para el caso del paradero de subida

En las tablas (4.23), (4.24) y (4.25) se muestran los resultados de la validación del paradero de subida separadas por el lugar de realización de la transacción.

VALIDACIÓN PARADERO DE SUBIDA PARA TRANSACCIONES EN BUS Y CON ESTIMACIÓN DE PARADERO DE BAJADA Y VALIDABLES	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Decla.	Egreso Decla.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total	%
Estimación correcta basándose en las correcciones propuestas en la Validación Exploratoria				1	1		2	1.32
Estimación correcta considerando declaración de esquina más conocida que la real	2		11				13	8.55
Estimación correcta exacta	3		36	55	14		108	71.05
Estimación correcta exacta (Cambios detectados en el viaje declarado)				8			8	5.26
Estimación está en los alrededores de la esquina de origen declarada	1		12				13	8.55
Subtotal Estimaciones Correctas	6	0	59	64	15	0	144	94.74
Asignó en paradero fuera de EIM esperada debido a problemas de recepción de señal GPS				4	2		6	3.95
Subtotal Estimaciones Erróneas	0	0	0	4	2	0	6	3.95
TOTAL	6	0	61	68	17	0	152	100.00

Tabla N° 4.23: Resultados de validación del paradero de subida para transacciones con estimación de paradero de bajada y validables realizadas en bus
Fuente: Elaboración propia

VALIDACIÓN PARADERO DE SUBIDA PARA TRANSACCIONES EN BUS Y CON ESTIMACIÓN DE PARADERO DE BAJADA Y NO VALIDABLES	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Decla.	Egreso Decla.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
No validable dado errores en la encuesta	6		23		5		34
No validable dado que etapa no fue declarada	1	1			11	3	16
TOTAL	7	1	23		16	3	50

Tabla N° 4.24: Resultados de validación del paradero de subida para transacciones con estimación de paradero de bajada y no validables realizadas en bus
Fuente: Elaboración propia

VALIDACIÓN PARADERO DE SUBIDA PARA TRANSACCIONES EN ZONA PAGA CON ESTIMACIÓN DE PARADERO DE BAJADA Y VALIDABLES	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Decla.	Egreso Decla.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total	%
Estimación correcta exacta	1		2	50	4		57	93.44
Estimación correcta exacta (Cambios detectados en el viaje declarado)				3	1		4	6.56
Subtotal estimaciones correctas	1	0	2	53	5	0	61	100
TOTAL	1	0	2	53	5	0	61	100

Tabla N° 4.25: Resultados de validación del paradero de subida para transacciones con estimación de paradero de bajada y validables realizadas en zonas paga
Fuente: Elaboración propia

VALIDACIÓN PARADERO DE SUBIDA PARA TRANSACCIONES EN ZONA PAGA CON ESTIMACIÓN DE PARADERO DE BAJADA Y NO VALIDABLES	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Decla.	Egreso Decla.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
No validable dado errores en la encuesta			2		1		3
No validable dado que etapa no fue declarada					1		1
TOTAL	0	0	2	0	2	0	4

Tabla N° 4.26: Resultados de validación del paradero de subida para transacciones con estimación de paradero de bajada y no validables realizadas en zonas paga
Fuente: Elaboración propia

Una zona paga, al ser una estructura fija, no existe posibilidad, teóricamente, de que la estimación sea incorrecta. Podrían surgir errores en el caso de localización errónea de validadores, lo que sería un error ajeno a los alcances del modelo.

El análisis de la estimación de paradero de subida para las transacciones realizadas en estaciones de metro no resulta necesario. puesto que siempre la estimación será correcta dado que la localización de la encuesta en la base de datos de transacciones es realizada mediante la estación de origen declarada.

4.4.3 Resultados de la validación de paradero de bajada

La tipificación de la validación del paradero de bajada, se detalla a continuación:

- Estimación correcta exacta:

El paradero de bajada estimado es el paradero más cercano a la esquina de destino declarada.

- Estimación correcta, que está en los alrededores de la esquina de destino declarada:

El paradero de bajada estimado se encuentra en los alrededores del paradero más cercano a la esquina de destino declarada

- Estimación correcta basándose en la corrección propuesta en la Validación Exploratoria

El paradero de bajada estimado es el más cercano a la esquina de destino declarada según la corrección propuesta en la validación de la muestra

- Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real)

La esquina de destino declarada, en base a la observación de las transacciones a lo largo de toda la semana de estudio, corresponde a una esquina más conocida, por lo general cruce de avenidas importantes, que la esquina de destino real del encuestado

- Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)

No es declarada una esquina de destino, sino un sector de la ciudad. Por otro lado, se observa que el paradero estimado se encuentra dentro de esa zona registrada. Se supone así que la estimación es correcta.

- Estimación correcta, considerando que pese a que hubo un cambio en la elección de ruta, mantuvo su destino final

El encuestado declara una estación de destino y un servicio de bus para llegar a su destino, no obstante en la base de datos se observó que abordó otro servicio para el cual debió haber descendido en otra estación de metro, pero como dicho servicio también llega a la estación de destino declarada, se asume que mantuvo su paradero final de destino.

- Error en la base de datos

Un error en la asignación de sentido del bus provocó la estimación de un paradero erróneo.

- Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a ponderación de tiempos de viaje en metro v/s caminata

Dado que la estimación de p. de bajada para transacciones hechas en metro no incorpora el tiempo de viaje dentro de la red en la función de tiempo generalizado, la estación de bajada estimada es la más cercana geográficamente a la transacción siguiente (o a la primera del día), independientemente que para llegar a esa estación se requiera realizar más trasbordos dentro de la red frente a otra de ruta más directa pero que está a una distancia levemente mayor que la que sí fue estimada.

- Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a uso de modos no integrados o posible evasión en etapas siguientes no pertenecientes al viaje analizado

Analizando las transacciones de la tarjeta analizada, se observa que el usuario utilizó un modo no integrado o evadió para llegar al punto donde está registrada la siguiente transacción, lo que provoca que el modelo no pueda estimar el punto real de destino para la transacción analizada.

- Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a que en la etapa siguiente, que fue declarada, no se validó o posiblemente hubo un cambio de destino de viaje

En la base de datos se observa que el usuario no realizó lo que declaró, o bien evadió el pago de la tarifa, lo que hizo que el modelo claramente estimara incorrectamente. Esto se observó principalmente para etapas en metro con etapas de egreso en bus declaradas. Una hipótesis que podría explicar este comportamiento es el cambio de destino del viaje, con posterioridad a la realización de la encuesta.

- Paradero de bajada estimado es el mismo que el paradero de subida

El paradero de bajada estimado es el mismo que el paradero de subida estimado, lo que ocurre para transacciones en bus para las cuales la estimación es realizada con una estación de metro que se ubica en sus alrededores.

- Paradero de bajada estimado no tiene esquina asignada

El paradero de bajada estimado no tiene esquina asignada en el consolidado de paradas definido por Transantiago.

- Paradero de bajada no fue estimado en la EIM esperada

Situación vista para etapas en bus de acceso a metro. Debido a que los trazados de los servicios que acceden a la EIM Lo Ovalle o La Cisterna poseen un paradero más cercano geográficamente que el de la misma Intermodal, no es estimado ese paradero, no reproduciendo lo que los usuarios realizan. Esto se produce, en particular, por la ponderación de tiempos de caminata y dentro del bus en la función de tiempo generalizado.

- No validable (Cambios detectados en la base de datos del viaje declarado)

Situación vista principalmente para etapas en metro. Se observa en la base de datos un claro cambio de destino de viaje del usuario en función del servicio de bus al que accede inmediatamente después de metro, el cual no llega al destino declarado ni tampoco es una línea común para el usuario.

- No validable (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)

Este criterio se aplica para etapas en bus de egreso de la red de metro. Se observa que la esquina de destino declarada no es específicamente la de destino tomando en cuenta el servicio utilizado y las otras transacciones dentro de la semana de estudio, con la cual no es posible deducir si la estimación es correcta dado que existen múltiples paraderos posibles de bajada candidatos a ser catalogados como representativos del destino del usuario.

- No validable (Errores en la encuesta)

La información contenida en la encuesta posee errores que hacen que la transacción no pueda ser validada, como por ejemplo que la esquina de destino no fue encontrada.

- No validable dado que la esquina destino declarada lo fue para una etapa intermedia del viaje

Criterio aplicable principalmente a etapas en bus de egreso de metro. Se observa en la base de datos que el usuario accede a un servicio no registrado en la encuesta, etapa que no puede ser validada dado que la esquina de destino declarada lo fue para una etapa anterior a la analizada. Aplicable a etapas de

acceso o egreso de metro. La etapa analizada no fue registrada en la encuesta, la que resulta ser no validable dado que no fue recogida la información de la esquina de destino para esa etapa.

- No validable dado que la etapa analizada es adicional con paradero bajada no declarado entre etapas

Aplicable a etapas de acceso o egreso de metro. La etapa analizada no fue registrada en la encuesta, la que resulta ser no validable dado que no fue recogida la información de la esquina de destino para esa etapa.

En la tabla (4.27) se detalla la cantidad transacciones validables y no validables para el paradero de bajada para cada tipo de etapa según lo establecido en la tabla XX.

Cantidad de transacciones validables y no validables (Paradero de bajada)	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declar.	Metro	Egreso Declar.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
Transacciones validables	10	0	88	489	100	27	1	715
Transacciones no validables	4	1	0	31	21	13	2	72
Porcentaje transacciones validables	71.43	0.00	100.00	94.04	82.64	67.50	33.33	90.85

Tabla (4.27): Cantidad de transacciones validables por etapa (caso de paradero de bajada)

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar un porcentaje menor de transacciones no validables en las etapas no declaradas, lo que se explica por la falta de información disponible para ese tipo de etapas dado que no fueron registradas en la encuesta. Por otro lado, las transacciones del tipo acceso declarado, siempre resultarán validables dado que su paradero de bajada, como es la estación de origen declarada, en todos los casos se tiene registro de él.

Se reporta la cantidad total de estimaciones correctas para el paradero de bajada en la tabla (4.28) para cada tipo de etapa según lo establecido en la tabla (4.11).

Cantidad de transacciones con estimación correcta de paradero de bajada según tipo de etapa	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declar.	Metro	Egreso Declar.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
Transacciones con estimación correcta	10	0	77	418	76	20	1	602
Transacciones validables	10	0	88	489	100	27	1	715
%	100	-	87.50	85.48	76.00	74.07	100	84.2

Tabla (4.28): Resultados de estimación correcta para paradero de bajada por tipo de etapa

Fuente: Elaboración propia

Se observa que para las etapas con transacciones declaradas por el usuario, el porcentaje de estimación correcta disminuye con el avance temporal del viaje. Esto se explica fundamentalmente a la existencia de etapas de comportamiento revelado, en la que el usuario declarada lo ya hecho, y otras declaradas. Para etapas finales del viaje, no se asegura que el usuario haya realizado efectivamente lo que declaró, por tanto se espera que haya una disminución del porcentaje de estimaciones correctas.

El detalle de los resultados de la validación de paradero de bajada se reporta en las tablas (4.29), (4.30) y (4.31)

Clasificación de transacciones con estimación y validables	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total	%
Estimación correcta exacta	10		76	387	51	15		539	75.38
Estimación está en los alrededores de la esquina de destino declarada			1	26	11	1		39	5.45
Estimación correcta basándose en la corrección propuesta en la Validación Exploratoria				5	1	1		7	0.98
Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real)					9			9	1.26
Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)					1			1	0.14
Estimación correcta, considerando que pese a que hubo un cambio en la elección de ruta, mantuvo su destino final					3	3	1	7	0.98
Subtotal Estimaciones Correctas	10	0	77	418	76	20	1	602	84.20
Error en la base de datos					1			1	0.14
Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a ponderación de tiempos de viaje en metro v/s caminata				1				1	0.14
Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a uso de modos no integrados / posible evasión en etapas siguientes				61	8	1		70	9.79
P. de bajada estim. es distinto al declarado debido a que en la etapa sgte., que fue declarada, no se validó o hubo un cambio de destino de viaje				9				9	1.26
Paradero de bajada estimado es el mismo que el paradero de subida					14	6		20	2.80
Paradero de bajada estimado no tiene esquina asignada			1		1			2	0.28
Paradero de bajada no fue estimado en la EIM esperada			10					10	1.40
Subtotal Estimaciones Erróneas	0	0	11	71	24	7	0	113	15.80
TOTAL	10	0	88	489	100	27	1	715	100.00

Tabla N° 4.29: Resultados de validación para transacciones con estimación de paradero de bajada
Fuente: Elaboración propia

Clasificación de transacciones con estimación y no validables	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
No validable (Cambios detectados en la base de datos del viaje declarado)				31	9	5		45
No validable (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)					1	1		2
No validable (Errores en la encuesta)					9	4		13
No validable dado que esquina destino declarada lo fue para una etapa intermedia del viaje					2	3	2	7
No validable dado que la etapa analizada es adicional con paradero bajada no declarado entre etapas	4	1						5
TOTAL NO VALIDABLES	4	1	0	31	21	13	2	72

Tabla 4.30: Clasificación de transacciones con estimación y no validables

Fuente: Elaboración propia

En la tabla (4.30) puede observarse que un número considerable de transacciones no son validables debido a cambios detectados en la base de datos a partir de la etapa en Metro, lo que refleja la diferencia de la veracidad de la información disponible para validar entre la proveniente de comportamientos revelados y declarados.

Clasificación de transacciones sin estimación	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acceso Declarado	Metro	Egreso Declarado	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
No estimable (muy lejos)	1			20	14	4	1	40
No estimable (multipago)					1			1
No estimable (Única transacción del día y de la semana)				5				5
No estimable (Única transacción del día)				38				38
No estimable dado que la siguiente transacción fue en el mismo punto	1			7	1			9
No fue arrojada por el modelo como no estimable (muy lejos) por el modelo y sí lo era			1	1	1	1	1	5
Error en la base de datos			3	5	5	3		16
Transacción a la que se se debió haber estimado paradero bajada	2	1	5	1	15	5		29
SUBTOTAL	4	1	9	77	37	13	2	143

Tabla N° 4.31: Resultados de validación para transacciones sin estimación de paradero de bajada

Fuente: Elaboración propia

Los resultados desagregados para transacciones hechas en bus, metro o zona paga, ordenadas según la tipificación formulada en la tabla (4.11), son detallados en la tabla (4.32), (4.33), (4.34), (4.35), (4.36), (4.37), (4.38), (4.39) y (4.40). Se destacan en gris las transacciones con estimación correcta.

Clasificación de transacciones con estimación y validables realizadas en bus	Acc. No decl. 1	Acc. No decl. 2	Acc. Decl.	Metro	Egreso Decl.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total	%
Estimación correcta exacta	9		72		33	13		127	72.99
Estimación está en los alrededores de la esquina de destino declarada			1		3			4	2.30
Estimación correcta basándose en la corrección propuesta en la Validación Exploratoria					1	1		2	1.15
Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real)					3			3	1.72
Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)								0	0.00
Estimación correcta, considerando que pese a que hubo un cambio en la elección de ruta, mantuvo su destino final					3	3	1	7	4.02
SUBTOTAL ESTIMACIONES CORRECTAS	9	0	73	0	43	17	1	143	82
Error en la base de datos					1			1	0.57
Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a ponderación de tiempos de viaje en metro v/s caminata								0	0.00
Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a uso de modos no integrados / posible evasión en etapas siguientes					3	1		4	2.30
P. de bajada estim. es distinto al declarado debido a que en la etapa sgte., que fue declarada, no se validó o hubo un cambio de destino de viaje								0	0.00
Paradero de bajada estimado es el mismo que el paradero de subida			1		9	5		14	8.05
Paradero de bajada estimado no tiene esquina asignada			10		1			2	1.15
Paradero de bajada no fue estimado en la EIM esperada								10	5.75
SUBTOTAL ESTIMACIONES ERRÓNEAS	0	0	11	0	14	6	0	31	18
TOTAL	9	0	84	0	57	23	1	174	100

Tabla N° 4.32: Resultados de validación para transacciones con estimación de paradero de bajada y validables realizadas en bus
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las transacciones con estimación de paradero de bajada que es igual al paradero de subida, se espera que en el corto plazo dicha estimación sea eliminada y que sea tratada como una transacción sin estimación.

Clasificación de transacciones con estimación y no validables realizadas en bus	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acc. Decl.	Metro	Egreso Decl.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
No validable (Cambios detectados en la base de datos del viaje declarado)					6	3		9
No validable (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)						1		1
No validable (Errores en la encuesta)					5	4		9
No validable dado que esquina destino declarada lo fue para una etapa intermedia del viaje						2	2	4
No validable dado que la etapa analizada es adicional con paradero bajada no declarado entre etapas	4	1						5
TOTAL	4	1	0	0	11	10	2	28

Tabla N° 4.33: Resultados de validación para transacciones con estimación de paradero de bajada y no validables realizadas en bus
Fuente: Elaboración propia

Clasificación de transacciones sin estimación realizadas en bus	Acceso No decl. 1	Acceso No decl. 2	Acc. Decl. 3	Egreso Decl. 4	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	Total
No estimable (muy lejos)	1			9	1	1	12
Error en la base de datos			3	5	2		10
Transacción a la que sí se debió haber estimado paradero bajada	2	1	5	8	1		17
TOTAL	3	1	8	22	4	1	39

Tabla N° 4.34: Resultados de validación para transacciones sin estimación de paradero de bajada realizadas en bus

Fuente: Elaboración propia

Clasificación de transacciones con estimación y validables realizadas en metro	Cdad.	%
Estimación está en los alrededores de la esquina de destino declarada	26	5.32
Estimación correcta exacta	387	79.14
Estimación correcta basándose en la corrección propuesta en la Validación Exploratoria	5	1.02
SUBTOTAL ESTIMACIONES CORRECTAS	418	85.48
Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a ponderación de tiempos de viaje en metro v/s caminata	1	0.20
Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a uso de modos no integrados / posible evasión en etapas siguientes	61	12.47
P. de bajada estim. es distinto al declarado debido a que en la etapa sgte., que fue declarada, no se validó o hubo un cambio de destino de viaje	9	1.84
SUBTOTAL ESTIMACIONES ERRÓNEAS	71	14.52
TOTAL	489	100

Tabla N° 4.35: Resultados de validación para transacciones con estimación de paradero de bajada y validables realizadas en metro

Fuente: Elaboración propia

Las transacciones que poseen un paradero de bajada que es erróneo, representan un interesante caso a estudiar que motivan el estudio de validación endógena que se detalla más adelante.

Clasificación de transacciones con estimación y no validables realizadas en metro	Cdad.
No validable (Cambios detectados en la base de datos del viaje declarado)	31
TOTAL	31

Tabla N° 4.36: Resultados de validación para transacciones con estimación de paradero de bajada y no validables realizadas en metro

Fuente: Elaboración propia

Clasificación de transacciones sin estimación realizadas en Metro	Acceso No decl. 1	Metro	Egreso No decl. 1	Total
No estimable (muy lejos)		20		20
No estimable (multipago)				0
No estimable (Única transacción del día y de la semana)		5		5
No estimable (Única transacción del día)		38		38
No estimable dado que la siguiente transacción fue en el mismo punto	1	7		8
No fue arrojada por el modelo como no estimable (muy lejos) por el modelo y sí lo era				0
Error en la base de datos		5		5
Transacción a la que sí se debió haber estimado paradero bajada		1	1	2
TOTAL	1	76	1	78

Tabla N° 4.37: Resultados de validación para transacciones sin estimación de paradero de bajada realizadas en metro
Fuente: Elaboración propia

Clasificación de transacciones con estimación y validables realizadas en Zona Paga	Acc. No decl. 1	Acc. No decl. 2	Acc. Decl.	Egreso Decl.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	TOTAL	%
Estimación correcta exacta	1		4	18	2		25	48.08
Estimación está en los alrededores de la esquina de destino declarada				8	1		9	17.31
Estimación correcta basándose en la corrección propuesta en la Validación Exploratoria							0	0.00
Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real)				6			6	11.54
Estimación correcta (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)				1			1	1.92
Estimación correcta, considerando que pese a que hubo un cambio en la elección de ruta, mantuvo su destino final							0	0.00
SUBTOTAL ESTIMACIONES CORRECTAS	1	0	4	33	3		41	78.85
Paradero de bajada estimado es distinto al declarado debido a uso de modos no integrados / posible evasión en etapas siguientes				5			5	9.62
Paradero de bajada estimado es el mismo que el paradero de subida				5	1		6	11.54
SUBTOTAL ESTIMACIONES ERRÓNEAS	0	0	0	10	1		11	21.15
TOTAL	1	0	4	43	4		52	100.00

Tabla N° 4.38: Resultados de validación para transacciones con estimación de paradero de bajada y validables realizadas en zonas paga
Fuente: Elaboración propia

Clasificación de transacciones con estimación y validables realizadas en Zona Paga	Acc. No decl. 1	Acc. No decl. 2	Acc. Decl.	Egreso Decl.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	TOTAL
No validable (Cambios detectados en la base de datos del viaje declarado)				3	2		5
No validable (Caso de declaración de esquina de destino más conocida que la real con múltiples alternativas de esquinas posibles)				1			1
No validable (Errores en la encuesta)				4			4
No validable dado que esquina destino declarada lo fue para una etapa intermedia del viaje				2	1		3
No validable dado que la etapa analizada es adicional con paradero bajada no declarado entre etapas							0
TOTAL	0	0	0	10	3	0	13

Tabla N° 4.39: Resultados de validación para transacciones con estimación de paradero de bajada y no validables realizadas en zonas paga
Fuente: Elaboración propia

Clasificación de transacciones sin estimación realizadas en Zona Paga	Acc. No decl. 1	Acc. No decl. 2	Acc. Decl.	Egreso Decl.	Egreso No decl. 1	Egreso No decl. 2	TOTAL
No estimable (muy lejos)				5	3		8
No estimable (multipago)				1			1
No estimable (Única transacción del día y de la semana)							0
No estimable (Única transacción del día)							0
No estimable dado que la siguiente transacción fue en el mismo punto				1			1
No fue arrojada por el modelo como no estimable (muy lejos) por el modelo y sí lo era				1			1
Error en la base de datos					1		1
Transacción a la que sí se debió haber estimado paradero bajada				7	3		10
TOTAL	0	0	0	15	7	0	22

Tabla N° 4.40: Resultados de validación para transacciones sin estimación de paradero de bajada realizadas en zonas paga
Fuente: Elaboración propia

En términos globales, se tiene un total de 602 transacciones con estimación de bajada correcta, de un total de 715 transacciones **validables** con estimación, lo que es un **84,19% de estimaciones exitosas**.

A pesar de que para transacciones realizadas en metro el paradero de bajada en sí es declarado, a diferencia de las hechas en buses que para las que se declara una esquina cercana, la diferencia de la proporción de resultados de estimaciones correctas o que estén en los alrededores de la bajada declarada entre transacciones hechas en bus o en metro, no resulta ser significativa.

Por otro lado, el principal error en la estimación ocurre para transacciones hechas en alguna estación de metro. Esto puede deberse a que la red de metro es más

extensa que cualquier servicio de bus, por tanto en el caso de que un usuario evada o utilice modos no integrados en etapas siguientes a la analizada, el modelo estimará de todas formas una estación de bajada, que no representará lo que el usuario hizo en su viaje. A partir de esto, surge el análisis de detección de transacciones que, de manera endógena, pueda establecerse que son incorrectas, lo que se trata más adelante.

5. VALIDACIÓN CON VOLUNTARIOS

5.1 Validación de estimación de paradero de bajada

De manera complementaria a lo hecho con encuestas origen-destino, fue realizada la validación de las transacciones, para una semana en particular, asociadas a cada tarjeta de una muestra de voluntarios, mediante interacción directa con cada uno de ellos. Para identificar la tarjeta de cada participante dentro de la base de datos, fue necesario conocer el número de chip de la misma, el cual es posible visualizar en comprobantes de recarga realizadas en boleterías y máquinas autoservicio de las estaciones de la red de metro. El uso de esta información está circunscrito netamente para los fines del proyecto al cual pertenece este trabajo de título, lo que además se garantizó a cada voluntario mediante la firma de un formulario de consentimiento informado, el que se muestra en el anexo B.

La semana estudiada es la comprendida entre el día 11/04/2011 y el 17/04/2011. La muestra de voluntarios consta de 53 personas, tanto usuarios que portan pase escolar, con tarifa rebajada, o tarjeta bip! De entre ellos 37 participantes pagaban con pase escolar, y 16 que lo hacían con tarjeta bip! adulto. Solamente un voluntario utilizó dos tarjetas distintas en la semana de estudio; en ese de ambas se obtuvo el chip y se pudo analizar las transacciones. La descripción de la actividad de los participantes en el período de estudio se detalla en la tabla (5.1)

Cabe destacar que dentro de la muestra se procuró mantener un adecuado balance entre la cantidad de voluntarios portadores de pase escolar y de tarjeta bip!, considerando el comportamiento diferente de cada tipo de usuario en función de la tarifa a pagar para acceder al sistema. Los usuarios que portan tarjeta bip! tienden a utilizar más modos no integrados con el pago electrónico en comparación a los que portan pase escolar, probablemente debido a la menor diferencia de tarifas entre usar los modos integrados a Transantiago y otros modos no integrados para ese tipo de usuarios.

La búsqueda de voluntarios con pase escolar que estuvieran actualmente en posesión del utilizado en la semana de estudio fue relativamente simple. Dado que la

tarifa es menor para los usuarios portadores del mismo, los estudiantes procuran utilizarlo cada vez que sea posible en vez de una tarjeta bip. Por otra parte, el procedimiento de obtención del pase en caso de pérdida o robo resulta ser muy intrincado y demoroso, lo que hace que el estudiante cuide el estado y fundamentalmente procure mantener su posesión a lo largo del tiempo. Debido a lo anterior, la gran mayoría de los voluntarios portadores de pase escolar fueron factibles de validar.

Tipo voluntario	Total
Adulto	4
Estudiante FCFM	33
Estudiante Media	1
Estudiante U. Autónoma	1
Estudiante UChile	2
Estudiante UDP	1
Estudiante UTFSM	1
Funcionario FCFM	3
Funcionario FCFM externo	1
Funcionario SECTRA	2
Funcionario Transantiago	4
Total	53

Tabla 5.1: Actividad de los voluntarios en el periodo de estudio

Por el contrario, el hallazgo de usuarios portadores de tarjeta bip que estuvieran actualmente en posesión de la tarjeta utilizada en Abril de 2011, y que además ésta tuviese transacciones dentro de la semana de estudio, resultó ser una tarea mucho más difícil. En este caso no existe el incentivo de la tarifa rebajada para utilizar una tarjeta en particular, y además en caso de pérdida, el obtener una nueva es muy simple. También, muchos usuarios portan más de una tarjeta para asegurarse de tener siempre una disponible para pagar, y en muchos casos coincidió que la tarjeta utilizada en la semana de estudio ya no estaba en posesión de los voluntarios por diversas razones, pero sí tenía otra que utilizaba como respaldo.

El procedimiento de validación consistía básicamente en una entrevista directa con cada voluntario que poseía transacciones en la semana de estudio, en la que se validaba tanto el paradero de subida como el de bajada de cada voluntario. Cabe destacar que para cada transacción, fue consultado el propósito del viaje, de manera de validar el corte etapa/viaje realizado por el modelo, con la posterior estimación de propósito.

Los criterios formulados para la validación del paradero de subida, se detallan a continuación:

- Estimación correcta exacta

El paradero de subida estimado es el más cercano a la esquina de origen declarada.

- Estimación se encuentra en los alrededores del paradero real

El paradero de subida estimado se encuentra en los alrededores del paradero más cercano a la esquina de origen declarada

- Distinto dado que paradero real no se encuentra definido en el consolidado de paradas

El paradero de subida estimado es distinto al declarado dado que el paradero real no se encuentra definido en el consolidado de paradas.

- No asignado dado que paradero subida real no se encuentra definido en el consolidado de paradas

No existió asignación de paradero de subida dado que el paradero no se encuentra en el consolidado de paradas.

- Voluntario no recuerda paradero de subida

El voluntario no recuerda el paradero exacto de subida, lo que imposibilita la validación.

- Voluntario no recuerda viaje

El voluntario no recuerda el viaje analizado, lo que imposibilita la validación.

- Voluntario no recuerda etapa

El voluntario no recuerda la etapa analizada, lo que imposibilita la validación.

Para el caso de la validación del paradero de bajada, los criterios formulados son los siguientes:

- Estimación correcta exacta

El paradero de bajada estimado es el más cercano a la esquina de destino declarada.

- Estimación se encuentra en los alrededores del paradero real

El paradero de bajada estimado se encuentra en los alrededores del paradero más cercano a la esquina de destino declarada

- Paradero de bajada estimado es distinto al real

El paradero de bajada estimado no corresponde al declarado por el voluntario.

- Error en la base de datos

Debido a a fallas en la base de datos, no fue posible realizar estimación de paradero de bajada.

- Multipago

La transacción analizada corresponde a un multipago realizado.

- No estimado dado que paradero real se encuentra fuera de ruta

No fue posible estimar un paradero de bajada dado que el real se encuentra fuera de la ruta del servicio analizado.

- Transacción a la que sí se debió estimar paradero de bajada

Dadas las condiciones de la etapa analizada, si se debió estimar un paradero de bajada.

- Transacción sin estimación (Caminata, posterior a la etapa, sobre 1000 mt)

Debido a que el voluntario camina más de 1000 mt. después de la etapa analizada, no fue posible estimar un paradero de bajada ala transacción estudiada.

- Transacción sin estimación (Único viaje del día en sentido único y última transacción de la semana)

La transacción analizada pertenece a un viaje único del día en un mismo sentido de circulación y es la última transacción de la semana, por tanto no fue posible estimar un paradero de bajada.

- Transacción sin estimación (Uso modos no integrados / evasión en etapas siguientes)

Debido a que el voluntario utilizó un modo no integrado o evadió en etapas siguientes, no fue posible realizar una estimación de paradero de bajada.

- Voluntario no recuerda viaje

El voluntario no recuerda el viaje analizado, lo que imposibilita la validación.

- Voluntario no recuerda etapa

El voluntario no recuerda la etapa analizada, lo que imposibilita la validación.

5.3 Resultados de la validación con una muestra de voluntarios

5.3.1 Resultados de la validación de paradero de subida

En la Tabla (5.2) se detalla cantidad de transacciones con estimación de paradero de subida, tanto para transacciones con y sin estimación de paradero de bajada. Cabe destacar que no existió estimación en transacciones específicas y debido a que fueron realizadas en lugares fuera de ruta del servicio correspondiente.

	Sin estimación de P. de subida	Con estimación de P. de subida	Total	%
Pase escolar	2	652	654	99.69
Tarjeta bip!	1	230	231	99.56
Total	3	882	885	99.66

Tabla 5.2: Porcentaje de Estimación de paradero de subida
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla (5.3), se reportan los resultados de la validación de paradero de subida para transacciones con y sin estimación de paradero de bajada.

VALIDACIÓN DE PARADERO DE SUBIDA	Sin estim. P. Bajada	Con estim. P. Bajada	Total	% (sólo para las trasac. con estimación)
Estimación correcta exacta	97	741	838	98.93
Paradero real se encuentra en los alrededores del paradero de subida estimado	1	20	21	2.67
Subtotal de estimaciones correctas	97	741	838	98.93
Distinto dado que paradero real no se encuentra definido en el consolidado de paradas	1	6	7	0.80
No asignado dado que paradero subida real no se encuentra definido en el consolidado de paradas		2	2	0.27
Subtotal estimaciones errónea	1	8	9	1.07
TOTAL	98	749	847	100.00

Tabla 5.3: Resultados de validación de paradero de subida para transacciones con estimación de paradero de bajada
Fuente: Elaboración propia

En la tabla (5.4) se detalla la cantidad de transacciones no validables para transacciones con estimación de paradero de bajada

VALIDACIÓN DE PARADERO SUBIDA TRANSACCIONES NO VALIDABLES	Sin estim. P. Bajada	Con estim. P. Bajada	Total
Voluntario no recuerda etapa		1	1
Voluntario no recuerda paradero de subida		2	2
Voluntario no recuerda viaje	3	11	14
Total transacciones no validables	3	14	17

Tabla 5.4: Cantidad de transacciones no validables en el paradero de subida para transacciones con estimación de paradero de bajada
Fuente: Elaboración propia

Se muestran en las tablas (5.5), (5.6) y (5.7) los resultados desagregados por modo para la validación de paradero de subida.

VALIDACIÓN DE PARADERO DE SUBIDA EN BUS	Sin estim. P. Bajada	Con estim. P. Bajada	Total
Estimación correcta exacta	60	395	455
Subtotal de estimaciones correctas	60	395	455
Paradero real se encuentra en los alrededores del paradero de subida estimado	1	20	21
Distinto dado que paradero real no se encuentra definido en el consolidado de paradas	1	6	7
No asignado dado que paradero subida real no se encuentra definido en el consolidado de paradas		2	2
Subtotal estimaciones errónea	2	28	29
TOTAL	62	423	484

Tabla 5.5: Desglose de resultados para transacciones realizadas en bus
Fuente: Elaboración propia

VALIDACIÓN DE PARADERO DE SUBIDA EN METRO	Sin estim. P. Bajada	Con estim. P. Bajada	Total
Estimación correcta exacta	25	327	352

Tabla 5.6: Desglose de resultados para transacciones realizadas en metro
Fuente: Elaboración propia

VALIDACIÓN DE PARADERO DE SUBIDA EN ZONA PAGA	Sin estim. P. Bajada	Con estim. P. Bajada	Total
Estimación correcta exacta	12	19	31

Tabla 5.7: Desglose de resultados para transacciones realizadas en zona paga
Fuente: Elaboración propia

Puede observarse que no existe una diferencia considerable de estimación correcta de paradero de subida entre transacciones realizadas con una tarjeta bip y un pase escolar.

5.3.2 Resultados de la validación de paradero de bajada

Los resultados de estimación de paradero de bajada, separados por tipo de tarjeta bip, se detallan en la Tabla (5.8).

	Transacciones con estimación de paradero de bajada	Transacciones sin estimación de paradero de bajada	TOTAL	% Estimación
Pase escolar	581	73	654	88.84
Tarjeta bip!	202	29	231	87.45
TOTAL	783	102	885	88.47

Tabla 5.8: Resultados globales de estimación para las transacciones registradas de los voluntarios de la muestra

Distinto a lo esperado, la diferencia del porcentaje de estimación de transacciones entre las realizadas con pase escolar y las con tarjeta bip, resulta ser muy baja.

Por otra parte, según el lugar de realización de las transacciones, se muestran los resultados del proceso de estimación de bajada en la tabla (5.3).

	Sin estimación	Con estimación	SUBTOTAL	% Estimación
BUS	63	429	492	87.19
METRO	27	335	362	92.54
ZONA PAGA	12	19	31	61.29
Total general	103	782	885	88.47

Tabla 5.9: Resultados globales de estimación según el lugar de realización

Para toda la muestra, se obtienen los resultados de la validación de paradero de bajada que se muestran en la tabla (5.10)

RESUMEN DE VALIDACIÓN PRESENCIAL	BUS	METRO	ZONA PAGA	TOTAL
Estimación correcta exacta	351	291	13	655
Estimación está en los alrededores de la bajada real	60	25	5	90
P. de bajada estimado es distinto al real	8	12		20
Paradero de bajada estimado es el mismo que el de subida	5		1	6
Subtotal transacciones validables	424	328	19	771
Transacción sin estimación (Error en la base de datos)	3			3
Transacción a la que sí se debió estimar paradero de bajada	6	3	4	13
Transacción sin estimación (Caminata, posterior a la etapa, sobre 1000 mt)	6	8		14
Transacción sin estimación (Única transacción del día)	14	8		22
Transacción sin estimación (Único viaje del día en sentido único y último viaje de la semana)	1	1		2
Transacción sin estimación (Uso modos no integrados / evasión en etapas siguientes)	29	7	8	44
Transacción sin estimación (Multipago)	2			2
No estimado dado que paradero real se encuentra fuera de ruta	2			2
No validable (Voluntario no recuerda etapa)	1			1
No validable (Voluntario no recuerda viaje)	4	7		11
Subtotal transacciones no validables	68	34	12	114
TOTAL GENERAL	492	362	31	885
% Estimación correcta	96.93	96.34	94.74	96.63

Tabla 5.10: Resultados generales de validación con voluntarios

En relación al sitio donde se realizó la transacción, no se observan mayores diferencias. Las transacciones hechas en zonas pagas poseen un menor porcentaje de estimación, no obstante dado que la cantidad de datos es comparativamente menor a los otros modos, no es posible establecer una razón sustentada correctamente.

Se obtienen 745 transacciones con estimación correcta, de un total de 771 transacciones con estimación y validables (número que se obtiene al quitar las transacciones que el voluntario no recordó, por tanto no se pudo validar), resultando en **un 96,62% de estimaciones correctas y un 84.18% de estimaciones exactas.**

En relación a lo anterior, diferenciando según si el usuario portaba pase escolar o tarjeta bip!, se obtienen los porcentajes reportados en la tabla (5.11), donde no se observa una diferencia considerable entre los porcentajes de estimación correcta en cada caso.

	Pase escolar	Tarjeta bip!	Total
Estimación correcta exacta	484	171	655
Estimación está en los alrededores de la bajada real	68	22	90
Subtotal estimaciones correctas	552	193	745
TOTAL VALIDABLES	571	200	771
%	96.67	96.50	96.63

Tabla 5.11: Porcentaje de estimación correcta para transacciones de pase escolar y tarjeta bip!
Fuente: Elaboración propia

Para las transacciones sin estimación, que se muestran en la tabla (5.12) se reporta los distintos motivos por los cuales no hubo estimación. Se puede ver que el motivo con una mayor cantidad de transacciones sin estimación, corresponde al uso de modos no integrados o evasión en etapas siguientes, error que motiva líneas de investigación futuras sobre el planteamiento de criterios que permitan la estimación de paradero de bajada.

TRANSACCIONES SIN ESTIMACIÓN DE PARADERO DE BAJADA	Cdad.
Error en la base de datos	3
Multipago	2
No estimado dado que paradero real se encuentra fuera de ruta	2
Transacción a la que sí se debió estimar paradero de bajada	12
Transacción a la que si se debió estimar paradero de bajada)	1
Transacción sin estimación (Caminata, posterior a la etapa, sobre 1000 mt)	14
Transacción sin estimación (Única transacción del día)	22
Transacción sin estimación (Único viaje del día en sentido único y último viaje de la semana)	2
Transacción sin estimación (Uso modos no integrados / evasión en etapas siguientes)	44
TOTAL	102

Tabla 5.12: Razones de no estimación

En el anexo C se reporta el desglose por voluntario tanto de transacciones con estimación de bajada como las que están correctas. En la Figura (6.1) es posible observar que a partir de 10 transacciones totales, se produce una estabilización tanto de los porcentajes de estimación de bajada como también si estas son correctas. Lo anterior es un claro reflejo de uso de modos no integrados en etapas posteriores, no intermedias, en los que usuario regresa de un punto en modos sin pago de tarjeta bip!, provocando que para viajes de más de una etapa, la última transacción no posea estimación de bajada.

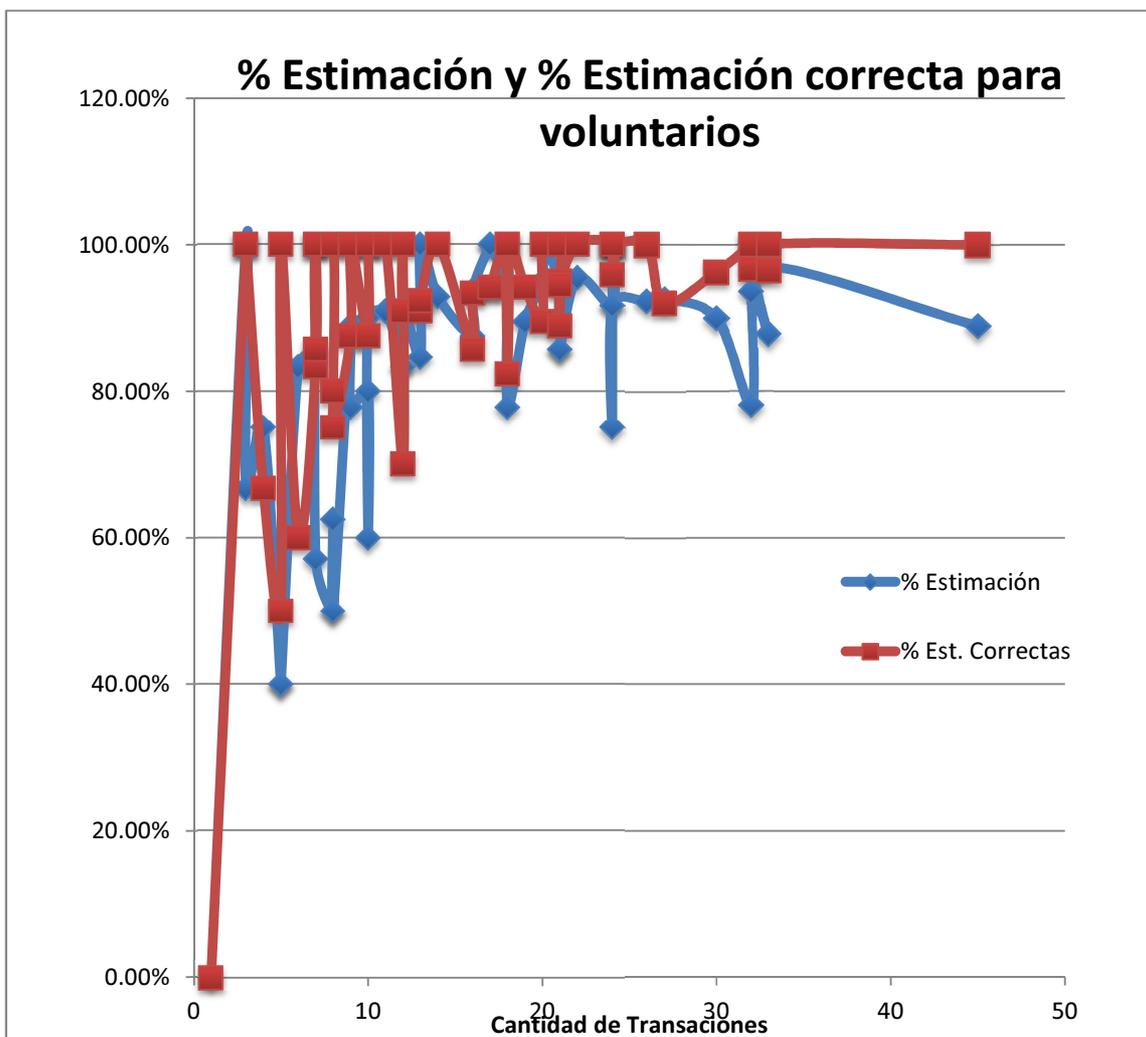


Figura 5.1: Histograma de cantidad de transacciones v/s el porcentaje de estimación y de estimación correcta de paradero de bajada

5.4 Resultados de estimación de propósito de viaje

Este trabajo se encuentra en proceso de investigación.

6. ANÁLISIS ADICIONALES ORIGINADOS A PARTIR DE LA VALIDACIÓN EXÓGENA

6.1. Detección Endógena de Estimación errónea

A partir del trabajo realizado en la validación de la estimación de paradero de bajada de cada una de las transacciones declaradas y las no declaradas de la encuesta de metro, se inicia un trabajo exploratorio de establecer criterios para detectar de manera endógena, sin una contramuestra, transacciones que pese a tener una estimación de paradero de bajada, ésta no representaría lo que efectivamente el usuario realizó en su viaje.

Se establecen dos casos a partir de lo visto en los resultados de la validación, ambos para transacciones realizadas en metro. El primero de ellos se muestra en la figura (6.1)

En este ejemplo, el usuario declara que toma el servicio 111 (marcado en celeste), y que se baja del bus en la estación Pajaritos con destino a la estación Patronato. El modelo estima como bajada de metro en Neptuno (marcada con un círculo rojo. Estima en Neptuno porque en esa estación fue la primera transacción del día siguiente), no obstante ésta estación era accesible por el 111, recorrido que posee un paradero que está marcado con un círculo blanco de borde rojo.

En términos generales, con este caso se plantea que “la estación de metro estimada como bajada se considera errónea si posee un paradero de bus cercano, a una distancia inferior a 1000 mt, que era accesible con el servicio de bus registrado en la transacción inmediatamente anterior en la base de datos. Dicho paradero factible se encuentra geográficamente entre la estación de bajada estimada y la estación de subida”.

Considerando que un usuario busca minimizar su tiempo generalizado, resulta injustificable la realización de la etapa en metro, tomando en cuenta que la estación de bajada estimada es cercana a un paradero del servicio de bus asociado a la transacción anterior. Cabe destacar que para que se tenga la situación anterior, el usuario no debió haber realizado una actividad en los alrededores de la estación de subida (Pajaritos), lo que eventualmente podría justificar el uso de metro. Esto puede ser analizado observando la diferencia entre el tiempo aproximado de llegada a la estación de subida del bus y el tiempo de realización de la transacción en metro, más un tiempo de

caminata de acceso a torniquetes desde el punto de bajada del bus. Ésta debe ser mínima, inferior a 2 minutos.

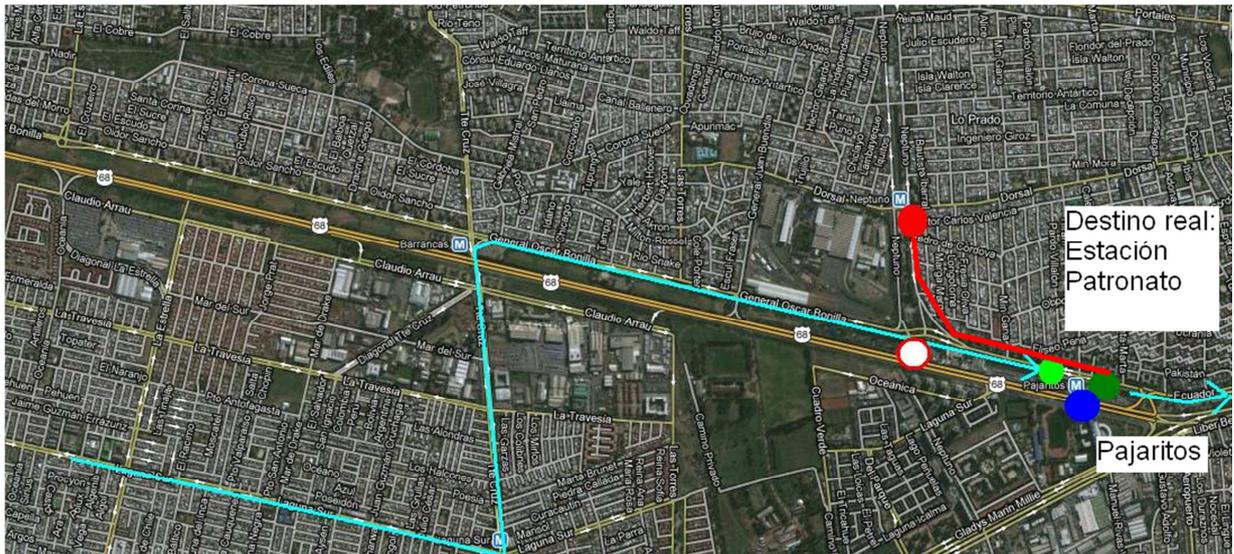


Figura N°6.1: Primer caso de detección de estimación errónea
Fuente: Elaboración propia

Este tipo de error se produce para transacciones en metro que forman parte de un único viaje registrado en la base de datos. La estimación errónea se produce debido a que el modelo estima paradero de bajada con el punto de realización de la primera transacción realizada en bus del propio viaje, o con el lugar donde se hace la primera transacción del día siguiente. En esta última situación descrita, se refleja un claro uso de modo no integrado, evasión por parte del usuario o el uso de otra tarjeta en etapas siguientes.

El segundo caso se ilustra en la figura (6.2). En este ejemplo, se observa en la base de datos que a lo largo de la semana de estudio, el usuario poseía una zona de origen repetitiva en el sector de La Farfana en la comuna de Maipú, y zona de destino también en la mismo lugar para las últimas transacciones de cada día. Para el día de registro de la encuesta, el usuario registra como primera transacción del día la estación Las Rejas. El usuario declara haber accedido a metro en la estación Universidad de Santiago, con destino a San Alberto Hurtado, para después en ese lugar abordar el servicio I08 hacia el sector de La Farfana en Maipú. El modelo efectivamente estima la bajada para la transacción en metro en la estación San Alberto Hurtado, no obstante para la transacción en el servicio I08, la bajada es estimada en la estación Las Rejas, lugar que era accesible en metro.

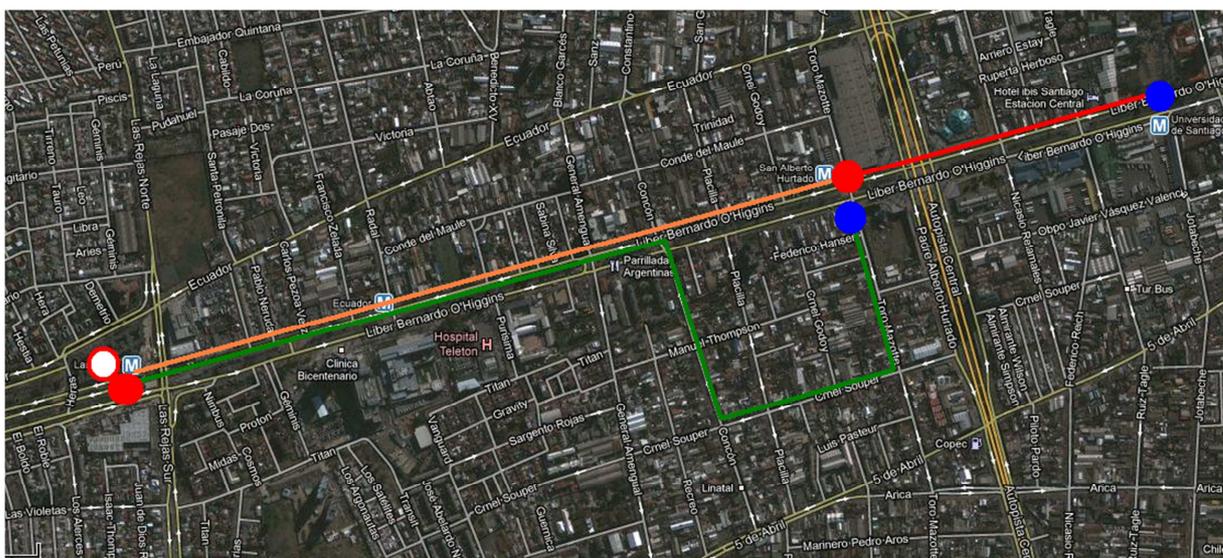


Figura N°6.2: Segundo caso de detección de estimación errónea
Fuente: Elaboración propia

Con este caso, se plantea que “para una transacción realizada en bus, con una transacción realizada en metro inmediatamente antes, el paradero de bajada estimado es erróneo si en los alrededores posee una estación de metro, siempre y cuando no se registre realización de actividad entre el tiempo de bajada estimado para la transacción en metro y el tiempo de realización de la etapa en bus analizada”.

Tomando en cuenta que el paradero de bajada estimado era alcanzable vía metro, no se justifica la utilización del bus. Al igual que en el primer caso anteriormente detallado, resulta indispensable que la diferencia entre el tiempo de bajada de metro y el tiempo de validación en metro sea mínima, además de que el usuario debe haber accedido al primer bus que pasó por el paradero, lo que garantiza que no se haya realizado una actividad en ese punto.

Este tipo de error se producirá cuando un usuario accede a metro en un modo no integrado o no valida con su tarjeta bip! en un servicio de bus en la zona de origen identificada, y en el último viaje del día accede a metro y luego a un bus con trazado hacia la zona de origen detectada, y el modelo estima como paradero de bajada el más cercano a la estación donde se realizó la primera transacción del día, la que se encuentra fuera de la zona de origen (sector de La Farfana en el ejemplo).

Un mayor estudio de este tipo de errores puede llevarse a cabo con una muestra mayor de transacciones, lo que permite, además de la identificación de más equivocaciones, validar los criterios recién planteados.

6.2 Identificación de bajada en transacciones en metro por tiempo generalizado

Otro análisis que surge a partir de la validación con datos exógenos, es la identificación de transacciones realizadas en metro con estimación de estación de bajada incorrecta, la que con la incorporación del tiempo de viaje en metro dentro de la función de tiempo generalizado, sí podría ser correcta.

La estimación de paradero de bajada para transacciones realizadas en metro es realizada mediante la identificación de la estación geográficamente más cercana al punto de la siguiente o de la primera transacción del día (según sea el caso). Esto provoca que en casos donde la transacción con cual es estimado el paradero de bajada se encuentra en una zona cercana a más de una línea de metro, pueda estimarse una estación de bajada que implica un recorrido más largo y/o más trasbordos. Este caso se ilustra en la figura (6.3). En este caso, la estación estimada es la marcada con un círculo rojo (Patronato), y la declarada está señalada con un círculo blanco con borde rojo (Bellas Artes). La siguiente transacción, que es con la que se generó dicha estimación, está marcada con un círculo azul.

En este caso, el usuario declara que viene por línea 5 viajando en dirección Pudahuel hacia la estación Bellas Artes, para posteriormente tomar el servicio B15 en la esquina de Loreto con Bellavista. La estación de bajada estimada es Patronato debido a que se encuentra geográficamente más cercana a esa transacción en bus. Cabe destacar que para llegar a la estación Patronato desde el tramo en el que el usuario viajaba, se requiere realizar un transbordo en Santa Ana y recorrer 4 estaciones más que el bajarse en Bellas Artes.



Figura N° 6.3: Primer caso de estimación de estación de bajada errónea
Fuente: Elaboración propia

Otro caso observado, ilustrado en la Figura 6.4, es el de un usuario que viaja desde el sur de Santiago por línea 2 hacia el centro de Santiago con destino estación Toesca. El modelo estima la estación de bajada con una transacción en bus realizada en la esquina de Nataniel Cox con Cóndor. La estación de bajada estimada es La Moneda, a pesar de que el usuario debiera recorrer 2 estaciones más y realizar un transbordo adicional en estación Los Héroes.

El tercer y último caso detectado, es el de un usuario que viene desde línea 1 poniente hacia el centro con destino la estación Universidad de Chile. El modelo estima la estación de bajada para esta transacción con una realizada en bus en la esquina de calle Monjitas con San Antonio. Dado que la estación más cercana a ese punto es Plaza de Armas, es esa la estación estimada, a pesar que para llegar a ella, el usuario tendría que realizar dos transbordos adicionales.

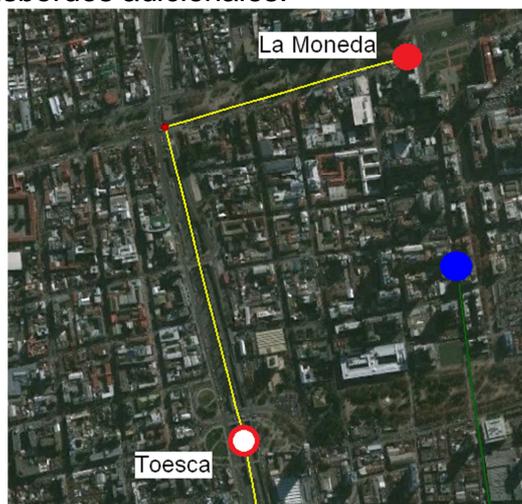


Figura Nº 6.4: Segundo caso de estimación de estación de bajada errónea
Fuente: Elaboración propia



Figura Nº 6.5: Tercer caso de estimación de estación de bajada errónea
Fuente: Elaboración propia

6.3. Validación de Elección de Ruta dentro de Red de Metro

Otra información que también fue recogida en la encuesta, fue por cuáles estaciones el usuario realizó transbordos dentro de la red de Metro. Esto permite analizar si el modelo reproduce la elección de ruta de los usuarios dentro de la red para una estación de origen y de destino dada. Cabe destacar que la metodología define la ruta basada en el criterio de rutas mínimas. La red de Metro, a Junio 2010, poseía 100 estaciones. Las estaciones de transbordo consideran una estación por cada línea que pasa por dicho punto. Lo anterior conlleva a que se tengan 10.000 pares origen – destino a analizar. Por otro lado, la información disponible para validar la elección de ruta del modelo, resulta ser la muestra completa, que consta de 7.266 encuestas, independientemente que el viaje tenga asociado un ID de tarjeta bip!, puesto que para este análisis el número de tarjeta no se requiere dado que la estación de origen y de destino están dadas, y la ruta para cada par de estaciones de la red es establecida por un código independiente al que estima el paradero de bajada.

Considerando el gran número de pares origen-destino posibles, el tamaño de la muestra disponible, y que para ciertas estaciones, especialmente las que se ubican en los extremos de cada línea, la ruta óptima para un determinado destino coincide, se define una agregación en base a tramos de línea, la que ilustra en la figura (6.6). El detalle se puede ver en el Anexo B.

Tomando en cuenta el número de encuestas disponibles para cada par de tramos, son descartados del análisis aquellos pares con un número menor o igual a 5.

Cabe destacar que dada la restricción del número de encuestas disponibles, el análisis se enfoca en identificar los pares de tramos en los que el modelo arroja una ruta que no representa lo que usuarios declararon en la encuesta. Como resultado de este análisis, se encuentran los siguientes errores:

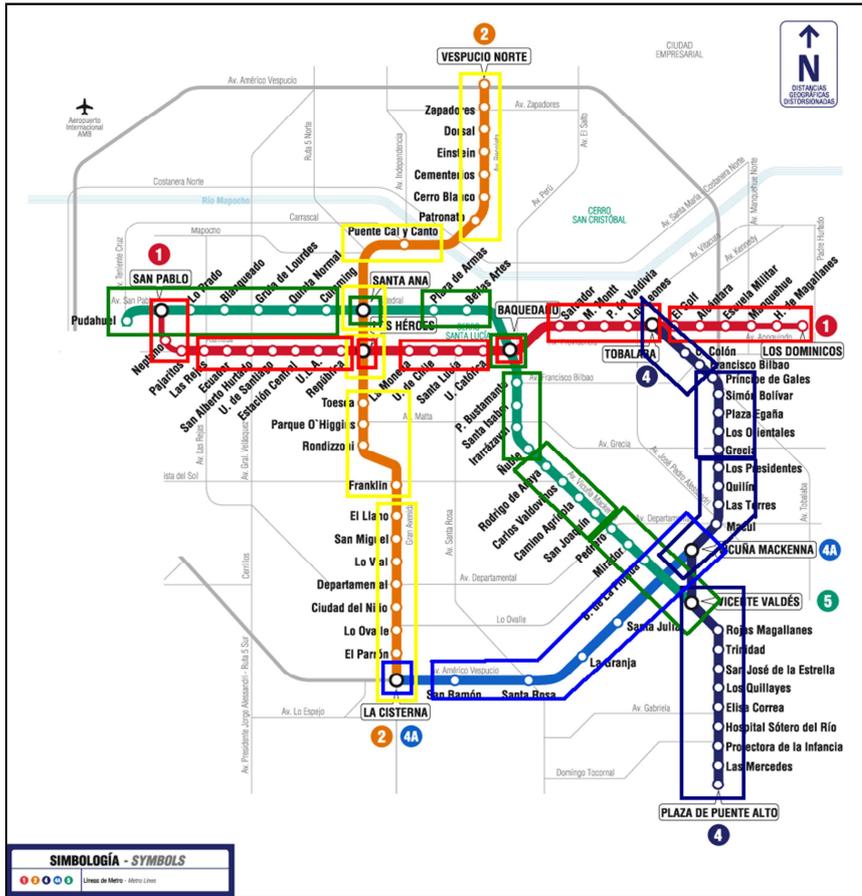


Figura N°6.6: Red de Metro con tramos de estaciones para validación elección de ruta dentro de red de Metro
 Fuente: Elaboración propia

- 1. Viajes entre Tramo L1 Lo Prado hacia L1 Providencia y L1 Las Condes, y viceversa.
 - Transbordo en San Pablo y luego en Baquedano, en vez de que viaje directo

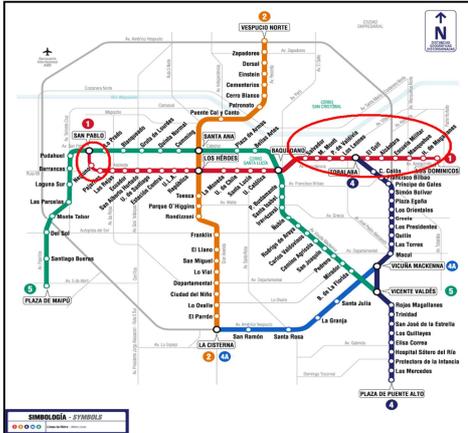


Figura N°6.7: Red de Metro con tramo L1 Lo Prado y L1 Las Condes destacados

En la tabla (6.1) se muestra en color amarillo la ruta estimada por el modelo, y en la celda donde está el número la ruta declarada por los usuarios.

TRAMO DESTINO		L1 Las Condes	L1 Provi.
TRAMO ORIGEN	Estación de Transbordo		
L1 Lo Prado	Baquedano		
L1 Lo Prado	Los Heroes		
L1 Lo Prado	San Pablo		
L1 Lo Prado	Tobalaba		
L1 Lo Prado	Sin transbordos	36	54

Tabla (6.1): Comparación de elección de ruta de usuarios v/s estimación del modelo para el Viaje L1 – Lo Prado a L1 Las Condes y L1 Providencia

2. Tramo L4 La Florida – Puente Alto hacia L1 Providencia, y viceversa

- Existe distribución de viajes vía Vicente Valdés-Baquedano y Tobalaba, dependiendo del horario de viaje. El modelo establece rutas únicas entre pares de estaciones específicas.



Figura N°6.8: Red de Metro con tramo L4 La Florida-Puente Alto y L1 Providencia destacados

En la tabla (6.2) se muestra en color amarillo la ruta estimada por el modelo, y en la celda donde está el número la ruta declarada por los usuarios. Cabe destacar que la ruta estimada por el modelo es única, la que depende si es por Vicente Valdés o Tobalaba según la estación de destino en Providencia. De acuerdo a la información contenida en las encuestas, existe una distribución de flujo para una estación determinada entre la ruta vía Línea 5 y la con transbordo en Tobalaba. Para un mayor análisis, se quiere una muestra mayor de encuestas.

TRAMO ORIGEN		TRAMO DESTINO	L1 Provi.
		Estación de transbordo	
L4	La Florida - Puente Alto	Tobalaba	32
L4	La Florida - Puente Alto	Vicente Valdes	5
L4	La Florida - Puente Alto	Vicuña Mackenna	
L4	La Florida - Puente Alto	Sin transbordos	

Tabla (6.2): Comparación de elección de ruta de usuarios v/s estimación del modelo para el Viaje L4 La Florida – Puente Alto a L1 Providencia
Fuente: Elaboración propia

3. Tramo L4 La Florida – Puente Alto hacia L1 Centro

Existe distribución de viajes vía Vicente Valdés-Baquedano, y Tobalaba, dependiendo del horario de viaje, existiendo un mayor uso de la ruta por Tobalaba en horario punta tarde. El modelo establece todas las rutas vía Vicente Valdés-Baquedano. En la tabla (6.3) se muestra en color amarillo la ruta estimada por el modelo, y en la celda donde está el número la ruta declarada por los usuarios.

TRAMO ORIGEN		TRAMO DESTINO	L1 Centro
		Estación de transbordo	
L4	La Florida - Puente Alto	Tobalaba	13
L4	La Florida - Puente Alto	Vicente Valdes	20
L4	La Florida - Puente Alto	Vicuña Mackenna	
L4	La Florida - Puente Alto	Sin transbordos	

Tabla (6.3): Comparación de elección de ruta de usuarios v/s estimación del modelo para el Viaje L4 La Florida – Puente Alto a L1 Centro
Fuente: Elaboración propia

4. Tramo L2 Norte y L2 Cal y Canto hacia L1 Providencia y L1 Las Condes (y viceversa)

Por rutas mínimas, viaje debiera ser con transbordo en Santa Ana y luego en Baquedano, no obstante, según las encuestas, la gran mayoría de los usuarios realiza sólo un transbordo en estación Los Héroes.

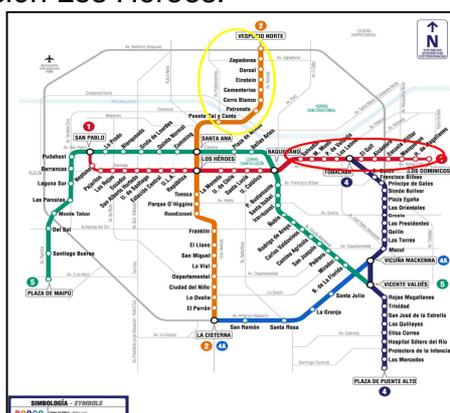


Figura Nº 6.9: Red de Metro con tramo L2 Norte, L2 Cal y Canto y L1 Las Condes destacados
Fuente: Elaboración propia

En las tablas (6.4) y (6.5) se muestra en color amarillo la ruta estimada por el modelo, y en la celda donde está el número la ruta declarada por los usuarios. Existen celdas en negro que representan que el análisis para ese par no fue realizado dada la cantidad insuficiente de encuestas.

		TRAMO DESTINO		L1 Las Condes	L1 Provi.
TRAMO ORIGEN		Estación de Transbordo			
L2	Norte	La Cisterna		3	16
L2	Norte	Los Heroes			
L2	Norte	Santa Ana			
L2	Norte	Sin transbordos			
L2	Cal y Canto	La Cisterna		4	1
L2	Cal y Canto	Los Heroes			
L2	Cal y Canto	Santa Ana			
L2	Cal y Canto	Sin transbordos			

Tabla (6.4): Comparación de elección de ruta de usuarios v/s estimación del modelo para el Viaje de L2 Norte o L2 Cal y Canto a L1 Las Condes o L1 Providencia

Fuente: Elaboración propia

		TRAMO DESTINO		L2 Cal y Canto	L2 Norte
TRAMO ORIGEN		Estación de Transbordo			
L1	Las Condes	Baquedano		=	=
L1	Las Condes	Los Heroes		8	15
L1	Las Condes	Tobalaba		=	=
L1	Las Condes	Sin transbordos		=	=
L1	Providencia	Baquedano		5	2
L1	Providencia	Los Heroes			16
L1	Providencia	Tobalaba			=
L1	Providencia	Sin transbordos			=

Tabla (6.5): Comparación de elección de ruta de usuarios v/s estimación del modelo para el Viaje de L1 Las Condes o L1 Providencia a L2 Norte o L2 Cal y Canto

Fuente: Elaboración propia

Para corregir estos errores, deben ser revisados los tiempos de transbordo entre líneas, de manera de que el modelo reproduzca lo que los usuarios están realizando en sus viajes. Por otro lado, complementar dichos tiempos con distribución de pasajeros proveniente de información de encuestas para ciertos pares origen – destino, como lo observado en los casos 2 y 3, puede mejorar aún más la capacidad de reproducir la elección de ruta real de los usuarios de Metro.

7. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En base a todo el trabajo realizado en esta memoria de título, es posible establecer recomendaciones para trabajos futuros de validación, lo que se detalla a continuación:

- La información disponible para validar debe responder a los requerimientos del modelo, en especial en la forma en que ésta fue recogida, como fue el caso de las encuestas origen destino de Metro, cuya estructura permitía una validación del modelo de estimación de paradero de bajada.
- La muestra debe ser prolijamente revisada, puesto que la veracidad y robustez de ésta determina fuertemente los resultados de la validación. En el caso de la encuesta O-D de Metro, se pudo ver una no despreciable disminución de encuestas producto de errores en su registro (fueron descartadas 83 encuestas, un 9.4% del total). En relación a lo anterior, debido a restricciones en el formato de la encuesta que imponía una etapa como máximo antes y después de la etapa en metro, fueron descartadas varias transacciones al no tener la información completa por imposibilidades de registro. Por tanto, se recomienda que en el caso que sea posible formular el formato de la encuesta, se debe procurar que ésta recoja todas las posibles etapas del viaje declarado.
- Debe privilegiarse el uso de información que contenga comportamientos revelados del usuario. Esto permite, por un lado, una mayor confiabilidad en los resultados por tener información más verídica, y por otro, un menor descarte de información producto de inconsistencias detectadas, tal como se vio en este trabajo con las transacciones "No validables". De hecho, se observó una diferencia en el número de transacciones no validables entre las encuestas O-D (6.86% de transacciones no validables, con parte de las transacciones con comportamiento declarado), y la cantidad en la muestra proveniente de la validación con voluntarios, con información de carácter totalmente revelado (1.78% proveniente de no recordar la etapa o viaje).
- En cuanto a la robustez de los resultados de un proceso de validación, mientras más comportamientos detectados en el universo de transacciones estén contenidos en la muestra, más confiable será la validación. En particular, en la muestra de voluntarios se vio que no todos los comportamientos detectados en el universo de transacciones fueron representados.
- La realización de una validación automática, no de comparación uno a uno como fue el caso de ese trabajo, dependerá fuertemente del formato en que la información de la muestra se encuentre, además de que ésta deberá estar previamente validada. Ésta se podría lograr mediante la georreferenciación tanto

de la información disponible para validar como de los paraderos estimados, y establecer parámetros máximos de diferencia de coordenadas.

- Sobre las entrevistas realizadas a voluntarios, se recomienda no mencionar la estimaciones realizadas por el modelo antes que el voluntario recuerde el viaje analizado, para no inducir en el voluntario la respuesta y obtener resultados más confiables de validación de transacciones. Lo anterior puede lograrse haciéndole recordar al voluntario, en la medida de lo posible, los detalles de los viajes que realiza habitualmente. Esto resulta difícil para viajes con no habituales, generalmente con propósito otros.

Las líneas futuras de investigación que surgen a partir de este trabajo, son las siguientes:

- Exploración de otros criterios de validación endógena, para determinar sin una contramuestra estimaciones erróneas. A partir de lo anterior, pueden además ser explorados criterios de estimación a transacciones sin paradero de bajada.
- Formulación de validación automática en procesos futuros, lo que dependerá fuertemente del formato de la información disponible para validar.
- Realización de validaciones con tamaños muestrales mayores, en que la información disponible contenga distintos comportamientos detectados en el universo de transacciones.
- Validación de la estimación de corte etapa/viaje, actividad y propósito de viaje.

8. CONCLUSIONES

El presente trabajo de título tuvo como objetivo principal la validación del modelo de estimación de paraderos de bajada y actividades utilizando datos exógenos. Específicamente, se buscó establecer cuán representativas resultaron las estimaciones de paradero de subida y de bajada de los viajes, detectando además los principales errores, buscando identificar qué información complementaria podría disminuir esa cantidad. A partir de ese análisis, surgió la propuesta de criterios de validación endógena de estimaciones. Otro trabajo que realizado fue el estudio de elección de ruta de usuarios dentro de la red metro.

En los resultados de la validación de estimación de paradero de bajada obtenidos con ambas fuentes de información exógena; por una parte encuestas OD

(84,2% de estimaciones correctas) y por otra, validación directa con voluntarios (96,6% de éxito) puede observarse que los resultados de estimación fueron significativamente más altos para la muestra de voluntarios. Lo anterior ocurre fundamentalmente por dos aspectos. La influencia, por un lado, de la mayor cantidad de voluntarios portadores de pase escolar, que al pagar tarifa rebajada, procuran siempre ocupar dicha tarjeta, además de privilegiar el uso de modos integrados por sobre los no integrados, lo que produce la existencia de etapas siempre conectadas que favorece la estimación del modelo, y por otro lado, por una razón más bien aleatoria, la que se relaciona con el comportamiento de los participantes portadores de tarjeta bip!, el cual fue parecido a los portadores de pase escolar en cuando al uso de modos no integrados. Un mayor análisis de las diferencias entre ambos tipos de validación debe realizarse con una validación presencial con una mayor cantidad de voluntarios y que a su vez sean representativos de los tipos de comportamiento observados en el universo de transacciones.

Por otro lado, en términos del procedimiento de validación, dado que para el caso de la muestra de voluntarios todas las transacciones son de comportamiento y elección revelada, no existe el sesgo que sí ocurre con la encuesta de metro en que una parte importante de las transacciones analizadas corresponden a elecciones declaradas, resultando mucho más confiable los datos provenientes de la validación presencial. Cabe destacar que para ambos procedimientos de validación, en magnitud, los porcentajes de estimación resultaron ser del orden de los planteados en el trabajo de Munizaga y Palma (2012). No obstante lo anterior, dada la restricción de ambos tamaños muestrales y fundamentalmente al hecho de que si, proporcionalmente, realmente los datos reproducen los comportamientos observados en el universo total utilizado en el trabajo, puede que lo estimado en ambas muestras resulte sesgado a la elección de voluntarios.

En cuanto a la elección de información complementaria necesaria para aumentar y/o delimitar la estimación del modelo, esta podría ser la proveniente de los trazados de los recorridos de colectivo o puntos de llegada masiva de modos no integrados, como, por ejemplo, las inmediaciones de Estación Central. No obstante, esta no resulta ser del todo concluyente para aumentar la posibilidad de estimación del modelo. En relación a lo anterior, algo interesante que surge a partir de este trabajo, es el planteamiento de criterios de detección endógena de estimaciones erróneas, los que necesitan ser verificados con una muestra mayor de encuestas. Esto además sería útil para plantear otros criterios tanto de detección de estimación errónea como de estimación de paradero de bajada a transacciones que no tienen en base a patrones de viaje.

La incorporación en la función de tiempo generalizado del tiempo de viaje dentro de red de metro aumentaría la cantidad de estimaciones correctas de estación de bajada, no obstante puede que surjan casos en que con el procedimiento anterior la estimación estaba correcta, sin embargo se estima que este cambio resulta ser mucho menor que el no incorporarlo.

Finalmente, para lograr una validación definitiva y robusta del modelo de estimación de paradero de bajada, y considerando los resultados obtenidos en los distintos análisis realizados en este trabajo de título, resulta indispensable tener disponible una muestra de mayor tamaño, que sea representativa de cada uno de los comportamientos observados en el universo de todas las transacciones bip!, y que además considere cada uno de los planteamientos establecidos en el capítulo 7.

REFERENCIAS

Barry, J.J., Freimer, R. y Slavin, H. (2009) Use of entry-only automatic fare collection data to estimate linked transit trips in New York City. *Transportation Research Record* 2112, 53-61.

Beltrán, P., Cortes, C., Gschwender, A., Ibarra, R., Munizaga, M., Ortega, M., Palma, C. y Zúñiga, M. (2011). Obtención de información valiosa a partir de datos de Transantiago. XV Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Santiago, 3-6 Octubre.

Chapleau, R., Trépanier, M. y Chu, K.K. (2008). The ultimate survey for transit planning: Complete information with smart card data and GIS. Presented at the ISCTC 8th International Conference on Transport Survey Methods for Travel Survey Conferences, Lac d'Annecy, France.

Devallane, F. (2012). Estimación de viajes y actividades en base a sistemas tecnológicos de transporte público. Tesis presentada para la obtención del grado de Magíster en Ingeniería de Transporte de la Universidad de Chile. Chile, Julio 2012.

Devallaine, F., Munizaga, M., Palma, C. y Zúñiga, M. (2011). Obtaining a reliable origin destination matrix from massive smartcard and GPS data: application to Santiago. ISCTSC 9th International Conference on Transport Survey Methods, Puyehue, Chile, 13-18 Noviembre.

Devallaine, F., Munizaga, M. y Trépanier, M. (2012) Detection of public transport users through the analysis of smartcard data. *Transportation Research Record* (in press).

Farzin, J. (2008). Constructing an Automated Bus Origin-Destination Matrix Using Farecard and GPS Data in São Paulo, Brazil. Presented at the 87th TRB Annual Conference, Washington, DC.

Lianfu, Z., Shuzhi, Z., Yonggang, Z. y Ziyin, Z. (2007). Study on the method of constructing bus stops OD matrix based on IC card data. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing WiCom 2007*, 3147-3150.

Munizaga, M. y Palma, C. (2012) Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin-Destination matrix from passive smart card data from Santiago, Chile. *Transportation Research C*, 24, 9-18.

Pendyala, R., Kitamura, R., Kikuchi, A. Yamamoto, T. y Fujii, S. (2005). Florida Activity Mobility Simulator: Overview and Preliminary Validation Results. *Transportation Research Record* 1921, 123-130.

Rahbee (2008). Farecard passenger flow model at Chicago Transit Authority, Illinois. *Transportation Research Record* 2072, 3-9

Roorda, M., Miller, E. y Habib, K. (2008). Validation of TASHA: A 24-h activity scheduling microsimulation model. *Transportatio Research* 42, 360-375.

Trépanier, M., Tranchant, N. y Chapleau, R. (2007) Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. *Journal of Intelligent Transportation Systems* 11, 1-14.

Zhao, J., Rahbee, A. y Wilson, N. (2007) Estimating a rail passenger trip origin-destination matrix using automatic data collection systems. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 22, 376-387.

ANEXOS

Anexo A: Detalle de formato de encuesta OD de Metro

IDI	Número correlativo de registro de la encuesta
ID_REG	Número correlativo de registro de la encuesta de uso interno de Metro
FECHA	Fecha de registro en base de datos de la Encuesta
id	Uso Interno Metro
Folio	Uso Interno Metro
Línea	Línea de Origen del Usuario 1 2 4 4ª 5
Estacion_O	Nombre estación origen
Estacion_O_COD	Código numérico de la estación de origen de uso interno de Metro
Estac_Ori	Código alfabético de la estación de origen de uso interno de Metro
Periodo	Periodo en el que se realizó la encuesta 1.- 07:00 a 08:00 2.- 08:00 a 09:00 3.- 11:00 a 12:00 4.- 13:00 a 14:00 5.- 16:00 a 17:00 6.- 17:00 a 18:00 7.- 18:00 a 19:00 8.- 19:00 a 20:00 9.- Sin Información
Cuarto_H	Cuarto de hora en el que se realizó la encuesta 1 2 3 4
Día	Día Entrevista
Mes	Mes Entrevista
Año	Año Entrevista
Hora	Hora Entrevista
Minuto	Minuto Entrevista

Continuación de Detalle de formato de encuesta OD de Metro

P1	Registro de Torniquete 1.- Normal 2.- Escolar
P2	Si pasó por Torniquete Escolar, es: 1.- Estudiante Básica 2.- Estudiante Media 3.- Estudiante Universitario 4.- Adulto Mayor 9.- Sin dato
P3	Sexo 1.- H 2.- M 9.- Sin Dato
P4	Edad del encuestado 1.- Menor de 19 2.- Entre 19 y 29 3.- Entre 30 y 59 4.- Mayo de 59 9.- Sin Dato
Comuna_inicio	Comuna donde el encuestado inició el viaje.
Cod_comuna_I	Código numérico correspondiente a cada una de las comunas de Chile (Ver Anexo (1) para lista completa)
Calle_Inicio1	Calle 1 de la esquina de origen del viaje
Calle_Inicio2	Calle 2 de la esquina de origen del viaje
Serie	Registro si el usuario pagó con boleto o tarjeta. Si fue con tarjeta, registro del número de serie o "No Responde"
MODO_INGRESO	6. Desde el comienzo de su viaje hasta la Estación de Metro ¿Qué medios de transporte utilizó?
MODO_INGRESO_TI PO	Tipo de modo de ingreso
P6_1	A pie
P6_2	Número de cuadras
P6_3	Metrotren
P6_4	Microtroncal
P6_5	¿De qué línea? (n)
P6_6	Micro Alimentador
P6_7	¿De qué línea? (n)
P6_8	Taxi Colectivo
P6_9	6.5 ¿De qué línea? (n)
P6_10	Taxi
P6_11	Bicicleta
P6_1A	Auto con conductor
P6_3A	Auto como acompañante
P6_4A	Bus Interprovincial
P6_5A	Otro Medio

Continuación de Detalle de formato de encuesta OD de Metro

MODO_EGRESO	9. Desde la Estación de Metro a su destino ¿Cómo continúa el viaje?
MODO_EGRESO_TIPO	Tipo de modo de egreso
P6_1	A pie
P6_2	Número de cuadras
P6_3	Metrotren
P6_4	Microtroncal
P6_5	¿De qué línea? (n)
P6_6	Micro Alimentador
P6_7	¿De qué línea? (n)
P6_8	Taxi Colectivo
P6_9	6.5 ¿De qué línea? (n)
P6_10	Taxi
P6_11	Bicicleta
P6_1A	Auto con conductor
P6_3A	Auto como acompañante
P6_4A	Bus Interprovincial
P6_5A	Otro Medio
P10	¿Cuál es el principal motivo del viaje?
	1.- Va a trabajar 2.- Va al hogar 3.- Estudios 4.- Otros Motivos 9.- No Responde
P11	¿Cuál es el ingreso mensual?
	1.- Menos de \$ 300.000 2.- Entre \$ 300.001- \$ 800.000 3.- Entre \$ 800.001- \$ 1.400.000 4.- Entre \$ 1.400.001- \$ 1.900.000 5.- Entre \$ 1.900.001- \$ 2.500.000 6.- Más de \$ 2.500.000 99.- NS/NR

ANEXO B: Tramificación de red de Metro

ESTACIÓN	TRAMO	ESTACIÓN	TRAMO
San Pablo L1	L1 Lo Prado	Tobalaba L4	L4 Providencia
Neptuno	L1 Lo Prado	Cristóbal Colón	L4 Providencia
Pajaritos	L1 Lo Prado	Francisco Bilbao	L4 Providencia
Las Rejas	L1 Alameda Poniente	Príncipe de Gales	L4 La Reina - Ñuñoa - Peñalolén
Ecuador	L1 Alameda Poniente	Simón Bolívar	L4 La Reina - Ñuñoa - Peñalolén
San Alberto Hurtado	L1 Alameda Poniente	Plaza Egaña	L4 La Reina - Ñuñoa - Peñalolén
Universidad de Santiago	L1 Alameda Poniente	Los Orientales	L4 La Reina - Ñuñoa - Peñalolén
Estación Central	L1 Alameda Poniente	Grecia	L4 La Reina - Ñuñoa - Peñalolén
Unión Latino Americana	L1 Alameda Poniente	Los Presidentes	L4 Macul
República	L1 Alameda Poniente	Quilín	L4 Macul
Los Héroes L1	L1 Los Héroes	Las Torres	L4 Macul
La Moneda	L1 Centro	Macul	L4 Macul
Universidad de Chile	L1 Centro	Vicuña Mackenna L4	L4 Macul
Santa Lucía	L1 Centro	Vicente Valdés L4	L4 La Florida - Puente Alto
Universidad Católica	L1 Centro	Rojas Magallanes	L4 La Florida - Puente Alto
Baquadano L1	L1 Baquadano	Trinidad	L4 La Florida - Puente Alto
Salvador	L1 Providencia	San Jose de la Estrella	L4 La Florida - Puente Alto
Manuel Montt	L1 Providencia	Los Quillayes	L4 La Florida - Puente Alto
Pedro de Valdivia	L1 Providencia	Elisa Correa	L4 La Florida - Puente Alto
Los Leones	L1 Providencia	Hospital Sótero del Río	L4 La Florida - Puente Alto
Tobalaba L1	L1 Providencia	Protectora de la Infancia	L4 La Florida - Puente Alto
El Golf	L1 Las Condes	Las Mercedes	L4 La Florida - Puente Alto
Alcántara	L1 Las Condes	Plaza de Puente Alto	L4 La Florida - Puente Alto
Escuela Militar	L1 Las Condes	Vicuña Mackenna L4A	L4A San Ramón - La Granja - La Florida
Manquehue	L1 Las Condes	Santa Julia	L4A San Ramón - La Granja - La Florida
Hernando de Magallanes	L1 Las Condes	La Granja	L4A San Ramón - La Granja - La Florida
Los Dominicos	L1 Las Condes	Santa Rosa	L4A San Ramón - La Granja - La Florida
Vespucio Norte	L2 Norte	San Ramón	L4A San Ramón - La Granja - La Florida
Zapadores	L2 Norte	La Cisterna L4A	L4A La Cisterna
Dorsal	L2 Norte	Pudahuel	L5 Poniente
Einstein	L2 Norte	San Pablo L5	L5 Poniente
Cementerios	L2 Norte	Lo Prado	L5 Poniente
Cerro Blanco	L2 Norte	Blanqueado	L5 Poniente
Patronato	L2 Norte	Gruta de Lourdes	L5 Poniente
Cal y Canto	L2 Cal y Canto	Quinta Normal	L5 Poniente
Santa Ana L2	L2 Santa Ana	Cumming	L5 Poniente
Los Héroes L2	L2 Los Héroes	Santa Ana L5	L5 Santa Ana
Toesca	L2 Stgo. Centro Sur	Plaza de Armas	L5 Centro
Parque O'higgins	L2 Stgo. Centro Sur	Bellas Artes	L5 Centro
Rondizonni	L2 Stgo. Centro Sur	Baquadano L5	L5 Baquadano
Franklin	L2 Stgo. Centro Sur	Parque Bustamante	L5 Providencia - Ñuñoa
El Llano	L2 San Miguel - La Cisterna	Santa Isabel	L5 Providencia - Ñuñoa
San Miguel	L2 San Miguel - La Cisterna	Irarrázaval	L5 Providencia - Ñuñoa
Lo Vial	L2 San Miguel - La Cisterna	Ñuble	L5 Providencia - Ñuñoa
Departamental	L2 San Miguel - La Cisterna	Rodrigo de Araya	L5 Macul
Ciudad del Niño	L2 San Miguel - La Cisterna	Carlos Valdovinos	L5 Macul
Lo Ovalle	L2 San Miguel - La Cisterna	Camino Agrícola	L5 Macul
El Parrón	L2 San Miguel - La Cisterna	San Joaquín	L5 Macul
La Cisterna L2	L2 San Miguel - La Cisterna	Pedrero	L5 La Florida
		Mirador	L5 La Florida
		Bellavista de la Florida	L5 La Florida
		Vicente Valdés L5	L5 La Florida

ANEXO C: Resultados de estimación correcta de cada voluntario participante

Tipo Voluntario	SIN Est.	CON Est.	Total	% Estimación	Est. correctas	% Est. Correct.
Voluntario portador de pase escolar 3	1	0	1	0.00%	0	0.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 38		3	3	100.00%	3	100.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 46	1	2	3	66.67%	2	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 17	1	3	4	75.00%	2	66.67%
Voluntario portador de pase escolar 12	3	2	5	40.00%	1	50.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 40	3	2	5	40.00%	2	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 10	1	5	6	83.33%	3	60.00%
Voluntario portador de pase escolar 7	1	6	7	85.71%	5	83.33%
Voluntario portador de pase escolar 9	1	6	7	85.71%	6	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 24		7	7	100.00%	6	85.71%
Voluntario portador de tarjeta bip 44	3	4	7	57.14%	4	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 25	4	4	8	50.00%	4	100.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 45	3	5	8	62.50%	4	80.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 50	4	4	8	50.00%	3	75.00%
Voluntario portador de pase escolar 8	1	8	9	88.89%	7	87.50%
Voluntario portador de tarjeta bip 54	2	7	9	77.78%	7	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 6	2	8	10	80.00%	7	87.50%
Voluntario portador de pase escolar 19	4	6	10	60.00%	6	100.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 39	1	9	10	90.00%	9	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 2	1	10	11	90.91%	10	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 20	2	10	12	83.33%	7	70.00%
Voluntario portador de pase escolar 28	2	10	12	83.33%	10	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 35	1	11	12	91.67%	10	90.91%
Voluntario portador de pase escolar 4	2	11	13	84.62%	10	90.91%
Voluntario portador de pase escolar 29		13	13	100.00%	12	92.31%
Voluntario portador de tarjeta bip 49	1	13	14	92.86%	13	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 36	2	14	16	87.50%	12	85.71%
Voluntario portador de tarjeta bip 42	1	15	16	93.75%	14	93.33%
Voluntario portador de pase escolar 13		17	17	100.00%	16	94.12%
Voluntario portador de tarjeta bip 51		17	17	100.00%	16	94.12%
Voluntario portador de pase escolar 21	1	17	18	94.44%	17	100.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 48	1	17	18	94.44%	14	82.35%
Voluntario portador de tarjeta bip 53	4	14	18	77.78%	14	100.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 43	2	17	19	89.47%	16	94.12%
Voluntario portador de pase escolar 27	1	19	20	95.00%	17	89.47%
Voluntario portador de tarjeta bip 52		20	20	100.00%	20	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 5	1	20	21	95.24%	20	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 15	1	20	21	95.24%	19	95.00%
Voluntario portador de pase escolar 22	3	18	21	85.71%	16	88.89%
Voluntario portador de pase escolar 33	3	18	21	85.71%	17	94.44%
Voluntario portador de pase escolar 18	1	21	22	95.45%	21	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 14	2	22	24	91.67%	22	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 23		24	24	100.00%	23	95.83%
Voluntario portador de pase escolar 34	6	18	24	75.00%	18	100.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 41	2	22	24	91.67%	22	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 1	2	24	26	92.31%	24	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 37	2	25	27	92.59%	23	92.00%
Voluntario portador de pase escolar 26	3	27	30	90.00%	26	96.30%
Voluntario portador de pase escolar 11	7	25	32	78.13%	25	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 30	2	30	32	93.75%	30	100.00%
Voluntario portador de tarjeta bip 47	1	31	32	96.88%	30	96.77%
Voluntario portador de pase escolar 31	4	29	33	87.88%	28	96.55%
Voluntario portador de pase escolar 32	1	32	33	96.97%	32	100.00%
Voluntario portador de pase escolar 16	5	40	45	88.89%	40	100.00%
PROMEDIO	2.19	14.48	16.39	83.05%	13.80	90.90%

ANEXO D:

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

PARTICIPACIÓN EN ESTUDIO DE VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE VIAJES MEDIANTE USO TARJETA BIP!

El objeto de este documento es brindar todos los detalles necesarios para que tomes la decisión de participar en esta investigación.

El objetivo del estudio es validar la metodología desarrollada por la División Ingeniería de Transporte de la Universidad de Chile, para obtener patrones de viaje a partir de la observación del uso de tarjetas bip!, como parte del proyecto FONDECYT 1120288. Para esto se requiere verificar que las estimaciones de paradero de bajada y la imputación de actividades realizadas por el modelo representen efectivamente lo que los usuarios hacen en sus viajes. Esta verificación nunca antes había sido realizada con interacción directa con usuarios.

Para participar en el estudio, debes entregar el número de chip de la tarjeta bip! que usas regularmente. Con este número, nosotros obtendremos de la base de datos la secuencia de transacciones de la tarjeta, y aplicaremos el modelo de estimación de paradero de bajada y de predicción de actividades. Luego, programaremos una entrevista donde te mostraremos los resultados del modelo y tu nos podrás decir si estos son correctos, o qué errores cometimos.

Con tu ayuda, podremos validar el modelo, lo que permitirá mejorar las herramientas disponibles para la planificación del transporte público de Santiago.

Los datos que entregues serán utilizados exclusivamente para los fines de investigación descritos, y una vez terminada la validación, serán borrados todos los registros de estos.

Si requieres más información, puedes contactarte con la profesora Marcela Munizaga, Investigadora Responsable del proyecto (mamuniza@ing.uchile.cl; Tel: 9784380).

Este proyecto cuenta con la aprobación del Comité de Ética de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

La participación en este estudio es voluntaria, y tienes el derecho a retirarte de este en cualquier momento, sin dar ningún tipo de explicación, y sin que ello signifique ningún perjuicio para ti.

Dra. Marcela Munizaga

Diego Silva

Académica Departamento Ingeniería Civil

Memorista

Investigadora Responsable

Ayudante de Investigación

DECLARACIÓN DEL PARTICIPANTE VOLUNTARIO

Declaro que:

1. Los responsables del estudio me informaron de manera clara en qué consiste éste, detallando además cada uno de los alcances que competen a mi participación en el mismo.
2. Pude aclarar todas mis dudas que surgieron durante el proceso
3. Tomé la decisión de participar en el estudio de manera voluntaria, sin ningún tipo de presiones.

Nombre completo voluntario: _____

Firma : _____

Hora y Fecha de firma del documento: ____ : ____ Hrs. del día ____ de ____ de 2012.

Se entrega duplicado de este documento al usuario voluntario.