

## Factores de expansión por evasión para matriz OD de viajes en transporte público

Néstor Gallegos, Universidad de Chile [ngallegr@gmail.com](mailto:ngallegr@gmail.com)

Marcela A. Munizaga, Universidad de Chile, [mamuniza@ing.uchile.cl](mailto:mamuniza@ing.uchile.cl)

Antonio Gschwender Krause, Universidad de Chile, DTPM, [Antonio.gschwender@dtpm.gob.cl](mailto:Antonio.gschwender@dtpm.gob.cl)

### RESUMEN

Las matrices de viajes en transporte público generadas a partir de la metodología de Munizaga y Palma (2012), llamadas matrices bip! se basan en el pago, por lo que el usuario evasor no está reflejado en ellas. El presente trabajo presenta una metodología y aplicación del cálculo de factores de corrección para los casos de evasión parcial en las etapas de acercamiento a metro, con información de la encuesta origen destino, y otro para la evasión total basado en mediciones exógenas de evasión en buses. Los resultados indican 5% de evasión parcial en los viajes que utilizan bus para acercarse a metro, y la evasión de los viajes realizados únicamente en bus se estima en 34%.

*Palabras claves: Matrices, evasión, factor de expansión*

### ABSTRACT

The public transport OD matrices obtained using the method proposed by Munizaga and Palma (2012), called bip! Matrices, are based on the payment system. Therefore fare evaders are not included. This paper presents a method and application of correction factors estimation, for the case of partial evasion, on the bus trip stage prior to a metro trip stage, using information from the Metro Origin-Destination survey, and that of total evasion (in all trip stages), using information from external fare evasion measurements. The results indicate 5% partial evasion on trips with bus access to Metro and 34% for only bus trips.

## 1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es desarrollar y aplicar una metodología de corrección para incorporar la evasión en las matrices origen-destino de viajes en el sistema de transporte público de Santiago generadas con datos pasivos de transacciones bip! y del sistema de posicionamiento global GPS de buses. Estas matrices se han construido utilizando la metodología propuesta por Munizaga y Palma (2012), Devillaine et al. (2012) y Munizaga et al. (2014), y hasta ahora no incorporan etapas y/o viajes que no quedan registrados en las bases de datos de la tarjeta bip!, por lo que surge el desafío de incorporar en ellas los efectos del no pago, o evasión de la tarifa. Dependiendo de si la evasión de la tarifa es total (en todas las etapas del viaje) o parcial (sólo en alguna(s) de las etapas del viaje), su omisión se traduce en una subestimación del número de viajes, al no observarse los viajes evadidos, o en una distorsión de la matriz causada por la estimación errónea del origen (o destino) de los viajes sujetos a evasión en alguna de sus etapas. Se propone en este trabajo una corrección que permite incorporar viajes y etapas evadidos, para así corregir las matrices por este efecto.

El problema de expansión de matrices por evasión es similar al de expansión de matrices debido a la observación parcial de los viajes, caso que se produce por ejemplo al realizarse una Encuesta Origen-Destino de viajes en lugar de un catastro (Ortúzar y Willumsen, 2011), o el que se produce en los casos en que sólo parte de los viajes son pagados con tarjeta magnética, y por ende registrados, y el resto de los viajes son pagados con otros medios, como por ejemplo pase diario, mensual o anual (Gordon, 2012). Sin embargo, el caso aquí estudiado es más complejo que los reportados en la literatura, al existir el doble efecto de la subestimación de los viajes totales y la distorsión de un porcentaje de los viajes al evadirse sólo algunas de sus etapas.

Los estudios cualitativos reconocen la existencia de distintos tipos de evasores, los que a su vez presentan distintos patrones de evasión (Factor Estratégico, 2010). Por ejemplo, el evasor duro o evasor crónico, que es quien ha decidido utilizar el sistema sin pagar, buscará evadir en todas las etapas del viaje, o bien realizará viajes de una etapa, sin pagar. Este comportamiento se presenta principalmente en buses. Por el contrario, el evasor blando o circunstancial, es aquél que regularmente paga su pasaje, pero en ocasiones no puede hacerlo, por ejemplo por no tener saldo en la tarjeta o por subir a un bus muy cargado y no poder acceder al validador. Esta evasión blanda puede traducirse en evasión total, si se trata de un viaje de una sola etapa (caso en el cual es indistinguible del anterior), o en evasión parcial. Un caso que se encontró con frecuencia en la observación en terreno, es aquel de usuarios que suben a un bus alimentador sin carga suficiente en la tarjeta, le indican al conductor que no les fue posible cargar la tarjeta por ausencia de punto de carga en el área, y que cargarán en el Metro. Esta observación es coincidente con la información de encuestas, como la EOD de Metro 2013 (Ipsos, 2013) y la EOD de Santiago 2012 (Universidad Alberto Hurtado, 2014) que registra una menor proporción de viajes sólo Metro y mayor proporción de viajes bus-Metro que las observadas según las transacciones bip!.

Las mediciones de evasión disponibles corresponden al conteo de subidas pagadas y evadidas a nivel de paraderos, en diferentes servicios de buses. La muestra total de 509.974 observaciones (DICTUC, 2012) presenta un promedio de evasión a nivel de etapa de 24%. La distribución espacial de la evasión es claramente no homogénea, lo cual refuerza la necesidad de construir factores de expansión que tomen en cuenta las particularidades de cada zona. Esta medición de evasión no permite distinguir la evasión a nivel de etapa de la evasión total o de viaje. Además de estos datos de evasión, se utiliza en este trabajo las matrices de etapas y de viajes pagados en transporte público entre el 11 y el 17 de Abril de 2013, y los resultados de la encuesta Origen Destino realizada por Metro S.A. durante el año 2013.

Para enfrentar este problema, se propone una metodología que aborda secuencialmente los dos casos de evasión discutidos, en particular: la evasión de primera etapa (bus) en viajes que combinan con Metro y la evasión total (intencional o casual). La evasión de primera etapa se corrige utilizando la información proveniente de la Encuesta Origen Destino de viajes en Metro (EOD Metro). Para esto se aplica una corrección a nivel de estación de Metro, en aquellas estaciones en que se observa una sobreestimación de los viajes con primera etapa en Metro, en comparación con lo observado en la EOD Metro. Esto se hace aplicando factores que reducen los viajes con primera etapa en Metro y aumenta los viajes con primera etapa en bus y siguiente etapa en Metro, de forma tal que se reproduzca la distribución de zonas de origen observada en la EOD Metro. Posteriormente, un segundo módulo incorpora la evasión dura, en la cual se evaden

todas las etapas. Para esto se utilizan los datos de evasión a nivel de paradero, y se genera un método que entrega factores de expansión para los viajes realizados sólo en bus, de forma que se explique la evasión restante (no explicada por evasión de primera etapa) presente en las mediciones. Dado que las mediciones de evasión son a nivel de etapa y no de viaje, se requiere aplicar un método iterativo para encontrar estos factores.

Una vez estimados los factores de expansión, se tiene la distribución de viajes evadidos y una estimación del nivel de evasión por cada caso. Esta corresponde a 5% de evasión parcial en los viajes que utilizan bus para acercarse a metro. Lo cual quiere decir que de cada cien personas que llegan a metro en bus, cinco de ellas no pagan la etapa en bus. Por otra parte, la evasión de los viajes realizados únicamente en bus se estima en 34%. Esto significa que de cada cien viajes realizados en transporte público sin pasar por Metro, 34 se hacen sin pagar la tarifa. Este número es mayor que el 24% de evasión a nivel de etapas debido a que la fracción incluye un número menor de viajes en el numerador, porque una parte ya fue explicada en la primera etapa de corrección, y el denominador es mucho menor porque considera una fracción del total de viajes en la ciudad. Aplicando los factores de corrección propuestos, es posible obtener una matriz que corrige tanto el sesgo como la subestimación de viajes.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO

El método propuesto descompone la evasión en dos casos, uno para los usuarios que evaden la primera etapa de su viaje y luego pagan al entrar a metro (evasión parcial), y otro en el que se evade todas las etapas (evasión dura).

### 2.1 Evasión parcial

La corrección de la evasión parcial en la matrices origen-destino de viajes generadas mediante la metodología de Munizaga y Palma (2012), llamada de ahora en adelante matriz semilla, se realiza en cada estación de Metro por separado. Para esto se compara los datos obtenidos en la EOD de Metro 2013 (Ipsos, 2013), considerando los siguientes supuestos:

- Los encuestados en la EOD declaran las etapas en bus incluso si no las pagaron.
- Evasión parcial se presenta solamente en viajes que tengan al menos una etapa en bus seguida de una etapa en Metro.

Cada viaje reportado en la EOD, entrega información del modo de acceso a Metro, en base al cual se pueden clasificar en una de dos opciones:

- Viaje directo: aquéllos que sólo tienen una etapa de caminata anterior a su ingreso a la estación, o bien, lo realizan en un modo no integrado, ya sea, colectivo, bicicleta, auto particular. Lo único relevante de estos viajes para la metodología es su estación de inicio.
- Viaje con bus: aquéllos que declaran haber realizado una etapa previa en un bus del sistema Transantiago. Para estos viajes interesa identificar la zona de origen, que se obtiene de la georreferencia imputada a la esquina de origen declarada.

Por su parte, para cada viaje de la matriz semilla interesa solamente identificar su estación o zona de origen y su estación de bajada de la etapa en Metro. Cabe hacer notar que, en caso que la primera etapa sea realizada en bus desde la zona  $i$ , el origen se considerará como esa zona, pero si la primera etapa se inicia en una estación de Metro, se considera como una zona diferente.

Con esta información se propone un modelo tipo Furness para determinar factores de corrección por evasión blanda:

$$\widehat{t_{ij}} = \alpha_i * \beta_j * t_{ij}^0 \quad (1)$$

Donde

- $\widehat{t_{ij}}$  son los viajes corregidos de la matriz semilla desde la zona o estación  $i$  hasta la estación  $j$ .
- $\alpha_i$  es un factor de expansión dependiente del origen del viaje.
- $\beta_j$  es un factor de expansión dependiente del destino del viaje.
- $t_{ij}^0$  son los viajes de la matriz semilla desde la zona o estación  $i$  hasta la estación  $j$ .

Sujeto a las restricciones

$$\sum_i \widehat{t_{ij}} = D_j \quad (2)$$

$$\sum_j \widehat{t_{ij}} = O_i \quad (3)$$

Donde

- $D_j$  es el total de viajes atraídos por cada estación de metro de acuerdo a la matriz semilla.
- $O_i$  es el total de viajes generados por cada zona o estación de metro obtenido de la encuesta Origen Destino.

Este total  $O_i$  se obtiene de la EOD de Metro, imponiendo dos restricciones:

(1) Que el total de viajes generados en cada zona, considerando los pagados y evadidos sea mayor o igual que el total de viajes generados en la matriz semilla para esa zona. , de forma que los viajes evadidos sean por lo menos, cero.(2) Para evitar que exista una expansión desmedida de outlayers de la encuesta, se exige que la tasa de evasión blanda estimada en cada zona sea mayor o igual que la tasa de evasión a nivel de etapas en buses medida (DICTUC 2012), es decir,

$$\frac{Etapas_{iMP} - Etapas_{iEOD}}{Etapas_{iEOD}} \leq \%Ev_{i,DICTUC} \quad (4)$$

Luego se procede a la iteración del método detallada ampliamente por Ortuzar y Willumsen (2001), la que calibra los factores  $\alpha_i$  y  $\beta_j$ .

## 2.2 Evasión dura:

El modelo de evasión dura utiliza información de evasión a nivel de etapa en paraderos, como la recogida por DICTUC (2012), y las transacciones estimadas en la matriz semilla obtenida a partir de los datos pasivos GPS y bip!, con la metodología Munizaga y Palma (2012). La primera se utiliza para obtener el total de etapas evadidas y la segunda aporta la estructura de viajes que se le asignará a los evasores. Se asume que no es posible conocer la estructura de viajes de los evasores debido a la dificultad que implicaría su medición, ya que requeriría seguir al evasor durante todas sus etapas.

Así, para simular el comportamiento de los evasores duros se considera los siguientes supuestos:

- En el agregado, los evasores tienen la misma estructura de viaje que los pasajeros que pagan.
- Los usuarios que evaden su viaje completo no utilizan Metro ni zona paga.

El modelo de construcción de factores de corrección para evasión dura utiliza una estimación de la cantidad de etapas evadidas en cada zona 777, calculada a partir de los porcentajes de etapas evadidas medidas (DICTUC, 2012):

$$Etapas_{evasion\ dura,i} = Etapas_{pagadas,i} * \frac{1}{1 - Evasion,i} - Etapas_{evasion\ blanda,i} \quad (5)$$

Donde:

$Etapas_{pagadas,i}$ : Es la cantidad de etapas pagadas en la zona  $i$  obtenidas al agregar los resultados de Munizaga y Palma (2012).

$Evasion$ : Es el porcentaje de etapas evadidas en las mediciones de DICTUC (2012) para la zona  $i$

$Etapas_{evasion\ blanda,i}$ : Es la cantidad de etapas evadidas estimadas con el modelo de evasión blanda presentado en la sección anterior para la zona  $i$

Para construir los factores de expansión se toma el conjunto de viajes que realizan todas sus etapas exclusivamente en bus y sin pasar por zona paga, y se agrupa la cantidad de viajes en la matriz semilla de acuerdo a su ruta, definida como la serie de 4 etapas (a lo más), descritas en base a la zona en que se inicia cada una de ellas. Así, el total de viajes pagados correspondientes a la ruta  $h$  ( $t_h$ ) es la suma de todos los viajes cuya secuencia de etapas queda descrita como:

$$h(t_h) = (Subida_{h,1}, Subida_{h,2}, Subida_{h,3}, Subida_{h,4}) \quad (6)$$

Se define un factor de evasión dura  $\gamma_h$  para la ruta  $h$ , como la razón entre los viajes evadidos (evasión dura) y los viajes pagados en esa ruta. Así, los viajes evadidos por evasión dura en la ruta  $h$  quedan expresados como:

$$\widehat{t}_h = \gamma_h * t_h \quad (7)$$

Donde

- $t_h$  son los viajes pagados que utilizan la ruta  $h$ .

- $\hat{t}_h$  son los viajes evadidos (evasión dura) que utilizan la ruta  $h$ .
- $\gamma_h$  es un factor de evasión dura para la ruta  $h$ .

Para permitir lograr consistencia entre los viajes evadidos por ruta, descritos mediante el factor de evasión dura  $\gamma_h$  a estimar, y la evasión por zona  $k$  proveniente de las mediciones, se define una función de incidencia ruta-zona  $B[h, k]$ , que vale 1 si la ruta  $h$  tiene alguna etapa que se inicia en la zona  $k$ . Con esto, puede escribirse la siguiente condición de consistencia:

$$Etapas_{evadidas\ duras,k} = \sum_h \gamma_h * t_h * B[h, k] \quad (8)$$

Para calibrar los factores de evasión dura  $\gamma_h$  se utiliza un algoritmo iterativo basado en la metodología propuesta por Gordon (2012), que se describe a continuación:

### 2.2.1 Condición inicial

El algoritmo comienza con un factor de evasión dura inicial igual para todos los viajes

$$\gamma_h = 1 \quad \forall h \quad (9)$$

### 2.2.2 Actualización factores en cada zona

Se calcula la relación entre las etapas corregidas y las etapas a corregir

$$R_k = \frac{\sum_h \gamma_h * t_h * B[h, k]}{Etapas_{evadidas\ duras,k}} \quad (10)$$

para cada zona, que es mayor que 1 si el total de etapas expandidas es mayor a la cantidad que se quiere alcanzar, y vice versa.

### 2.2.3 Actualización factores en cada ruta

Luego, se actualizan los factores de evasión dura

$$\gamma_h^{n+1} = \gamma_h^n * \frac{\sum_h R_k}{\sum_h 1} \quad (11)$$

Este paso, busca la relación promedio entre las zonas en las que se inician las diferentes etapas del viaje.

### 2.2.4 Revisión norma

Y se comprueba que se cumpla con una norma, definida como una diferencia de 1 viaje en el cumplimiento de la restricción

$$\left| Etapas_{evadidas\ duras,k} - \sum_h \gamma_h * t_h * B[h, k] \right| < 1$$

En caso de no cumplirse, se repite el algoritmo desde el paso 2.2.2

### 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la implementación se utilizaron datos correspondientes a la semana del 7 al 14 de Abril del 2013 para la matriz semilla de viajes estimada con la metodología de Munizaga y Palma (2012), la encuesta EOD de Metro correspondiente al año 2013, con 156.350 registros realizados entre el 30 de Julio y el 26 de Noviembre del 2013, y mediciones de evasión (DICTUC, 21012) correspondientes al segundo semestre de 2012, consistente en 10.767 expediciones, de las cuales se utilizó la información corresponde a los días laborales, entre las 6:30 y las 20:30.

#### 3.1 Evasión Parcial

Primeramente se revisa que en cada una de las estaciones el porcentaje de encuestados que declara venir en bus sea mayor en la encuesta que en la matriz semilla. Esto se cumple para 79 de las 100 estaciones. Sólo en ellas se procede a realizar la corrección.

La cantidad de viajes evadidos en cada estación se calcula como

$$\widehat{Ev}_k = T_k * (\%EOD_k - \%Bip_k) \quad (13)$$

Donde

- $\widehat{Ev}_k$  Son los viajes que se estima llegan a la estación  $k$  en bus, evadiendo.
- $EOD_k$  Es el porcentaje de encuestados que declaran llegar en bus a la estación  $k$ .
- $\%Bip_k$  Es el porcentaje de viajes que en la matriz semilla llegan en bus a la estación  $k$ .
- $T_k$  Es el total de etapas que ingresa a la estación  $k$ , obtenido de la matriz semilla.

Al realizar el proceso de asignar a cada registro de la EOD una zona 777 utilizando la georeferencia del punto de subida, se detectó una serie de problemas, los cuales se describen a continuación:

##### 3.1.1 Punto en otra comuna de nombre similar:

Se detectan georeferencias a orígenes de en zonas de la ciudad muy alejadas de la estación de origen. En una revisión en detalle, se detecta que se asocian calles de nombres similares, pero en comunas diferentes.

##### 3.1.2 Paradero o Zona de origen no aparece en matriz semilla

Se detectó casos en que las zonas de origen declaradas por los usuarios no se encuentran reflejadas en algún viaje de la matriz semilla. Debido a que el algoritmo de Furness no converge si se le impone mantener un total de generación de una zona que no aparece en ningún viaje de la matriz semilla, se descarta la georeferencia de estos viajes, (se presume que el error se debe a que la zona de destino fuera confundida con zona de origen en la encuesta). Para filtrar los viajes en los que ocurre esta situación, se comprobó que apareciera en la matriz semilla algún viaje originado desde la zona de origen estimada para cada encuesta EOD.

Estos viajes con georeferencia incorrecta no se pueden descartar, ya que entregan una parte importante de los aspectos que se quieren corregir, que es que el viaje se realizó en bus. Para incorporarlos, se reparten proporcionales a la matriz semilla entre las encuestas.

$$EOD_i = EOD_{(i, con \ geo)} + EOD_{\{singleo\}} * \frac{BIP_i}{Bip_{\{Total\}}}$$

De los 10.357.930 viajes de la matriz semilla, esta metodología arroja que 536.109 se realizan sin pagar la etapa inicial de bus, es decir, a nivel agregado existe un 5% de viajes con evasión blanda.

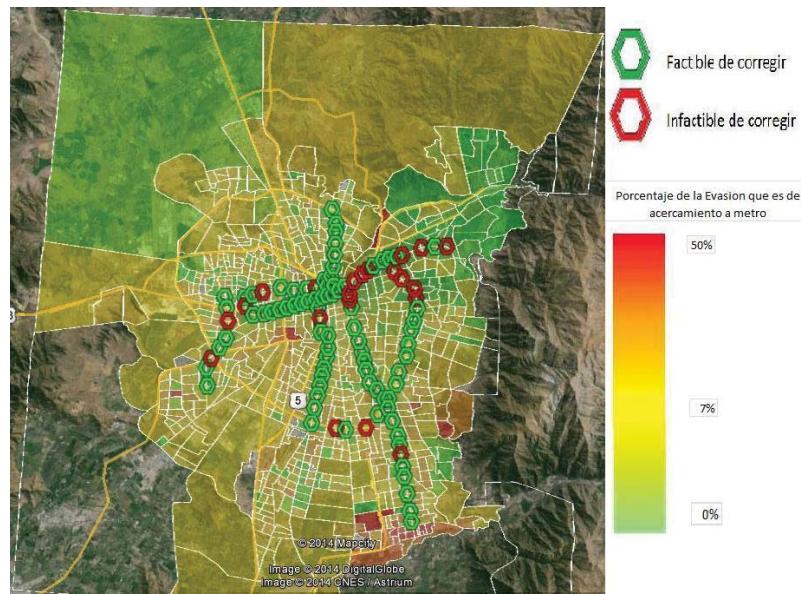
Una vez aplicado el algoritmo en cada una de las estaciones, se agregan en toda la ciudad y se procede a la etapa de corrección de la evasión dura:

### 3.2 Etapa de transferencia

Una vez obtenida la cantidad de etapas evadidas para llegar a Metro procedentes desde cada zona, se comparan con la cantidad de etapas evadidas totales obtenidas de las mediciones de DICTUC. Los resultados de esta comparación indican que el 12% de las etapas evadidas corresponden a etapas blandas, como se muestra en la tabla siguiente

Etapas totales	18.511.304
Pagadas	74%
Evadidas	26%
Duras	23%
Blandas	3%

En la figura siguiente se muestra la distribución geográfica de la evasión blanda. Se indica con verde las estaciones en que fue realizada la corrección, dado que se cumplía la condición de que la proporción de viajes con origen en Metro fuera menor en la EOD que en la matriz semilla. La escala de colores de las zonas indica la composición de la evasión a nivel de etapas, siendo verde las zonas que se componen de evasión principalmente dura, y en rojo cuando es en un 50% evasión dura y un 50% blanda.



En la figura siguiente se muestra en detalle el sector centro de Santiago. Se nota aquí que una menor proporción de la evasión corresponde a acercamientos a metro. Esto se explica por la menor necesidad de utilizar bus para acceder a Metro en esos casos.



### 3.3 Evasión Dura

El resultado del algoritmo de corrección para la evasión dura es un conjunto de factores de expansión dependientes de las zonas de subida de cada etapa, que permiten expandir la matriz OD a nivel de zona 777. Para facilitar la interpretación de los resultados, se agrega los viajes expandidos en pares Origen-Destino a nivel de comunas, y se analiza en base a dos criterios para ordenar estos viajes entre comunas: Cantidad de viajes evadidos y tasa de evasión.

Una de las formas de analizar los resultados corresponde a analizar la cantidad de viajes netos estimados como evadidos entre los pares de comunas, en la tabla 1 se presentan los pares con menor cantidad de viajes con evasión dura, y en la tabla 2 los pares con mayor cantidad de viajes evadidos.

Se observa que los pares de comunas con menos viajes evadidos son los con baja probabilidad de ocurrir, como dos comunas residenciales lejanas, sin grandes focos de empleo de algunas de las comunas. Por otra parte, los pares de comunas con mayor cantidad de viajes evadidos, resultan ser viajes intracomunales (por lo tanto relativamente cortos) donde el bus resulta una alternativa atractiva, en comunas donde hay un alto nivel de evasión según la medición del DICTUC.

**Tabla 1 Pares de comunas con menor cantidad de viajes con evasión dura**

Origen	Destinos	Pagados	Evadidos	Totales	Evasión
SAN MIGUEL	LO BARNECHEA	22	7	29	23%
LO PRADO	LA GRANJA	29	14	42	32%
LA CISTERNA	LO BARNECHEA	38	14	52	28%
LO PRADO	EL BOSQUE	49	24	73	33%
CERRILLOS	LO BARNECHEA	59	25	84	29%
LO ESPEJO	LO BARNECHEA	70	28	98	29%
LO PRADO	LA CISTERNA	60	29	89	33%
P. A. C	LO BARNECHEA	72	32	104	31%
LA GRANJA	LO PRADO	73	33	106	31%
LO BARNECHEA	LO ESPEJO	125	34	159	21%

**Tabla 2 Pares de comunas con mayor cantidad de viajes con evasión dura**

Origen	Destinos	Pagados	Evadidos	Totales	Evasión
PUENTE ALTO	PUENTE ALTO	125.822	172.052	297.874	58%
LA FLORIDA	LA FLORIDA	106.095	103.005	209.1	49%
SANTIAGO	SANTIAGO	311.407	90.208	401.615	22%
RENCA	RENCA	54.804	55.033	109.836	50%
QUILICURA	QUILICURA	82.295	54.22	136.515	40%
PUDAHUEL	PUDAHUEL	75.147	42.28	117.427	36%
RECOLETA	RECOLETA	60.051	39.761	99.811	40%
LAS CONDES	LAS CONDES	143.545	33.794	177.339	19%
QUILICURA	SANTIAGO	53.191	33.214	86.406	38%
SAN BERNARDO	SAN BERNARDO	62.476	32.171	94.647	34%

Realizando ahora un ordenamiento de los pares Origen Destino a nivel comunal en base a la proporción de los viajes evadidos sobre la cantidad total de viajes (pagados + evadidos), se obtiene que los pares de comuna con menor porcentaje de evasión dura, mostrados en la tabla 3, corresponden principalmente a pares donde ambas comunas son de ingreso alto. Por otra parte, los pares con mayor tasa de evasión dura, mostrados en la tabla 4 coinciden con las zonas con mayor evasión a nivel de etapas, y a casos donde el Metro no está disponible.

**Tabla 3 Pares de comunas con menor porcentaje de evasión dura**

Origen	Destino	Pagados	Evadidos	Totales	Evasión
PROVIDENCIA	LAS CONDES	49.992	8.724	58.716	15%
PROVIDENCIA	VITACURA	9.824	1.896	11.72	16%
PROVIDENCIA	LO BARNECHEA	3.313	632	3.945	16%
SANTIAGO	PROVIDENCIA	66.141	13.965	80.106	17%
LAS CONDES	PROVIDENCIA	51.889	10.544	62.432	17%
SANTIAGO	INDEPENDENCIA	35.233	7.183	42.416	17%
LAS CONDES	SANTIAGO	30.74	6.46	37.2	17%
SANTIAGO	LAS CONDES	25.731	5.515	31.246	18%
LAS CONDES	VITACURA	16.29	3.527	19.818	18%
SANTIAGO	HUECHURABA	13.099	2.791	15.89	18%

**Tabla 4 Pares de comunas con mayor porcentaje de evasión dura**

Origen	Destinos	Pagados	Evadidos	Totales	Evasión
PUENTE ALTO	PUENTE ALTO	125.822	172.052	297.874	58%
PUENTE ALTO	LA PINTANA	6.994	9.643	16.637	58%
PUENTE ALTO	SAN BERNARDO	1.575	2.158	3.733	58%
PUENTE ALTO	LA GRANJA	6.057	7.866	13.923	56%
PUENTE ALTO	EL BOSQUE	1.085	1.2	2.285	53%
PUENTE ALTO	SANTIAGO	19.195	20.872	40.068	52%
RENCA	PUDAHUEL	4.126	4.228	8.354	51%
RENCA	CERRO NAVIA	2.306	2.44	4.747	51%
LA GRANJA	LA PINTANA	2.121	2.248	4.369	51%
P. A. C	RENCA	568	580	1.147	51%

#### 4 CONCLUSIONES

En este artículo se propone una metodología para corregir las matrices de viajes obtenidas con datos pasivos (GPS y validaciones tarjeta de pago bip!), de forma de incluir en la matriz la información de los viajes que presentan evasión, ya sea en el viaje completo (evasión dura) o en la etapa inicial en bus previa a una etapa en Metro (evasión parcial). La evasión dura afecta la cantidad de viajes estimados, mientras que la evasión blanda afecta el origen estimado de los viajes.

Para realizar las correcciones, la metodología propuesta requiere mediciones exógenas de subidas de pasajeros, independientes de lo registrado a los sistemas tecnológicos de cobro automático de transporte público. Las mediciones requeridas deben proveer dos tipos de información. Por una parte, se requiere contar con tasas de evasión a nivel de paradero o zona, y por otra se necesita en cada estación de Metro la proporción de viajes que parte en Metro versus la que transborda desde bus.

El modelo propuesto entrega dos factores independientes, que se aplican de forma secuencial a la matriz de viajes. Un viaje se verá afectado o bien por uno (evasión parcial), o por otro (evasión dura), dependiendo del tipo de evasión al que está afecto.

#### 4.1 Principales resultados

En la fase de aplicación experimental de la metodología, se estima que los viajes con evasión parcial equivalen al 5% del total que realiza etapa en metro. Se observa mayor evasión en las cercanías de algunas estaciones en particular, dependiendo de la estructura de la oferta de transporte y otros factores, y las estaciones que requieren mayor corrección corresponden a las que cruzan con grandes ejes alimentadores, así como las terminales de cada línea. En el resto de las estaciones el efecto es menor, tanto en porcentaje de los viajes que ingresan a la estación que evaden, como en términos absolutos.

Respecto al impacto de la corrección de la evasión dura, los viajes expandidos por evasión dura son 2.313.339 semanales, correspondientes a un 38% del total de los viajes sólo en bus. Esta se manifiesta principalmente en viajes cortos (intracomunales) y/o con origen en las comunas de nivel socioeconómico bajo, especialmente donde no hay opción de metro disponible. Es decir, esta evasión se presenta en los casos donde el bus es una buena (o la única) alternativa de viaje. Las etapas evadidas en las zonas 777 inmediatamente próximas a las líneas de metro tienen una composición menor de evasión blanda que las alejadas, lo que se explica por la menor necesidad de utilizar bus para acceder a Metro en esos casos..

#### 4.2 Limitaciones de la metodología

Como la estructura de viajes de los evasores no se puede obtener de las mediciones exógenas, se supuso que ellos se comportan de manera similar a los usuarios que pagan. Para esto se trabaja con los viajes realizados sólo en bus. No obstante, en un cierto par origen destino podría ocurrir que las personas que pagan prefieran utilizar una alternativa con Metro, mientras que quienes desean evadir lo hacen utilizando sólo bus, por lo que los viajes entre pares origen destino que son realizados principalmente en metro tendrán una representación menor en la matriz semilla.

#### 4.3 Líneas futuras de investigación y recomendaciones finales

##### 4.3.1 Inclusión Zona Paga

En las exploraciones iniciales se revisó la evasión en zonas paga con mediciones en terreno, detectándose una evasión del 10% pese a tener fiscalizadores controlando el ingreso. En el

modelo propuesto no se considera que pueda haber evasión en ellas, por lo que se propone realizar mediciones en las zonas pagas e incluirlas como una subdivisión de cada zona de subida.

#### 4.3.2 Utilización de información de saldo insuficiente

La interacción entre una tarjeta y el validador puede fallar por falta de saldo. La recopilación de estos casos en la base de transacciones, pese a no pagar, cumple con los requerimientos técnicos del modelo Munizaga y Palma (2012) para la estimación de viajes en transporte público, al informar sobre la hora en que un pasajero acercó su tarjeta a un validador en un determinado bus, lo que permitiría realizar nuevas estimaciones de viajes que no quedan recogidos en los viajes pagados.

### Referencias

- Devillaine, F., Munizaga, M.A. y Trepanier, M. (2012) Detection of activities of public transport users by analyzing smart card data. *Transportation Research Record* 2276, 48-55.
- DICTUC (2012) Mediciones de perfil de carga con evasión en la ciudad de Santiago. Estudio realizado por DICTUC para la Coordinación Transantiago.
- Factor Estratégico (2010) Informe final estudio cualitativo de opinión: El fenómeno de la evasión. Estudio realizado por Factor Estratégico para el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile.
- Gordon J. (2012) Intermodal passenger flows on London's public transport network: automated inference of full passenger journeys using fare-transaction and vehicle-location data. Tesis de Magister, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Ipsos (2013) Encuesta Origen Destino de viajes 2013. Realizado por Ipsos para Metro S.A.
- Munizaga, M.A., Devillaine, F., Navarrete, C. y Silva, D. (2014) Validating travel behavior estimated from smartcard data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 44: 70-79.
- Munizaga M.A. y Palma C. (2012) Estimation of a disaggregated multimodal public transport origin-destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24: 9-18.
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011) *Modelling Transport*: Fourth Edition, Wiley.
- Universidad Alberto Hurtado (2014) Actualización y recolección de información del sistema de transporte urbano etapa IX. Encuesta Origen Destino de Santiago 2012. Informe final para SECTRA.