

CÁLCULO DE INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE SANTIAGO A PARTIR DE DATOS PASIVOS

César Núñez, Universidad de Chile, cenunez@ing.uchile.cl

Marcela Munizaga, Universidad de Chile, mamuniza@ing.uchile.cl

Antonio Gschwender, Coordinación Transantiago, antonio.gschwender@transantiago.cl

RESUMEN

A partir de datos de transacciones bip! y de emisiones GPS de buses se calculan indicadores de calidad de servicio para el sistema de transporte público de la ciudad de Santiago. Luego de desarrollar criterios para filtrar viajes anómalos (que representan menos del 10% de los viajes estimados) se definen indicadores de calidad de servicio. Los resultados obtenidos son bastante prometedores, ya que se logra obtener indicadores útiles para la planificación con mucha precisión y bajo costo. Esto permite pensar que los métodos tradicionales de medición pueden ser complementados – y en algunos casos reemplazados – por estas nuevas fuentes de información.

Palabras clave: Indicadores, calidad de servicio, datos pasivos

ABSTRACT

Quality service measures are calculated for the public transport system of the city of Santiago using smartcard bip! transactions and buses GPS data. After developing criteria to filter atypical trips (that represents less of 10% of the estimated trips), quality service indicators are defined. The results obtained are quite promising, because indicators that are useful for planning, reliable and low cost are obtained. This allows thinking that the traditional measurement methods can be complemented – and in some cases replaced– by these new data sources.

Keywords: Indicators, quality of service, passive data

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas alrededor del mundo, y especialmente en la última década en Latinoamérica, el uso de tarjetas inteligentes se ha masificado como medio de pago en el transporte público. La entusiasta adopción de esta tecnología se debe a que reporta ventajas tanto a usuarios como a operadores: a los usuarios les evita tener que portar efectivo, además de percibir esta tecnología como signo de modernidad, eficiencia y seguridad. Para los operadores, el poder implementar esquemas tarifarios más flexibles, evitar que los conductores manejen dinero (lo que redundaría en mejores condiciones laborales para ellos) y la disminución del tiempo de subida de pasajeros (que trae como consecuencia un ahorro en recursos), entre otros, han sido motivos suficientes para ir incorporando esta tecnología.

A pesar de que el propósito primordial de las tarjetas es la recaudación de la tarifa, planificadores y operadores se han percatado de que los datos generados a partir de ese proceso contienen información que es de gran utilidad para obtener resultados útiles en la planificación y la operación de los sistemas de transporte. Esto se debe a que las bases de datos generadas a partir de las validaciones y otras fuentes de recolección pasiva de datos entregan información altamente detallada y muchas veces en tiempo real del estado del sistema, lo que da pie para calcular una gran cantidad de indicadores con un alto nivel de desagregación y bajo costo. Estas ventajas con respecto a los métodos tradicionales de recolección de datos, típicamente mediciones específicas que resultaban mucho más lentas y costosas, han dado un nuevo impulso a las mediciones de indicadores y de satisfacción de los usuarios.

Chu et al. (2011) distinguen cuatro fuentes importantes de información pasiva:

- **AFC (Automated Fare Collection)**. Corresponde a las transacciones con tarjetas inteligentes.
- **APC (Automatic Passenger Counting)**. Información obtenida a partir de los contadores de pasajeros ubicados en las puertas de los buses.
- **GPS (Global Positioning System) ó AVL (Automated Vehicle Location)**. Obtenidos de las emisiones de la posición de los buses.
- **GIS (Geographic Information System)**. Información sobre las entidades que componen el sistema de transporte público (ej. paraderos y trazados de los servicios) y/o del entorno (como el uso del suelo) que debe ser levantada por el operador o la oficina de transporte.

Una preocupación particular para los planificadores es poder medir la calidad de servicio del transporte público, la cual es definida por TRB (2003) como *el desempeño general (medido o percibido), del servicio de transporte desde el punto de vista del usuario*. En el caso en que la calidad de servicio se mida a través de indicadores, hay que definir los atributos relevantes y medirlos con un nivel de desagregación adecuada. La literatura relativa a los factores que influyen en la calidad de servicio ofrecida en el transporte público es extensa (Ortúzar et al., 1991; dell'Olio et al., 2011; Hensher et al., 2003; Tyrinopoulos y Antoniou, 2008, por citar algunos). Aquellos que sistemáticamente aparecen como relevantes para medir calidad de servicio son el **tiempo de viaje en bus, tiempo de espera, frecuencia, cobertura, disponibilidad de asientos, regularidad en el tiempo de espera y/o de viaje en el bus, número de etapas y el tiempo de viaje en transporte público v/s auto**, entre otros

Con fuentes pasivas de información, Bagchi y White (2005) calcularon indicadores de tasas de viaje, de transbordo y de fuga en dos sistemas de transporte público de Inglaterra. Park et al. (2008) calcularon indicadores de tasas de transbordo y tiempos de viaje para la ciudad de Seúl (República de Corea) a nivel de sistema; Jang (2010) profundiza en estos cálculos hasta llegar al nivel de paraderos detectando puntos de transbordo críticos. Chu et al. (2011) obtienen indicadores de puntualidad, velocidades comerciales y perfiles de carga para algunos servicios del sistema de transportes de Montreal. También hay estudios para el sistema de Santiago; Beltrán et al. (2013) calculan tiempos de viaje, de espera y velocidades comerciales.

En el presente artículo, se definen y calculan indicadores de calidad de servicio a partir de datos pasivos con distintos niveles de desagregación. Para ello, luego de describir el funcionamiento del sistema de transporte y las características de los datos disponibles, se proponen criterios para eliminar viajes anómalos. Finalmente, se propone un conjunto de indicadores clave para evaluar la calidad de servicio ofrecida por el sistema de transporte público, con el objetivo de monitorear el sistema, definir estándares de calidad y realizar comparaciones a lo largo del tiempo.

2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS PASIVOS DE LA CIUDAD DE SANTIAGO

Transantiago es el nombre del sistema de transporte público de Santiago que empezó a funcionar en febrero del año 2007. El sistema posee integración tarifaria completa en los transbordos bus - bus y pagando un pequeño cargo en los transbordos bus – metro (DTPM, 2011); en cualquiera de los casos se permite realizar tres etapas sin volver a pagar tarifa completa en una ventana de dos horas. Los datos utilizados en este trabajo se recogieron entre el 16 y el 20 de abril de 2012 y provienen de tres de las cuatro fuentes identificadas por Chu et al. (2011):

- Validaciones de subida realizadas con tarjeta bip! por parte de los usuarios, que pueden asociarse a un servicio-sentido-paradero (AFC)
- Pulsos GPS emitidos cada 30 segundos por los buses que componen el sistema (AVL);
- Paraderos y trazados de todos los servicios codificados, junto con una zonificación de aprox. 800 zonas de la ciudad denominada “zonificación 777” (DTPM, 2013) (GIS).

En total, para la semana de estudio se registran aproximadamente 35 millones de transacciones y 80 millones de pulsos GPS; para que estos datos tengan utilidad para los fines del trabajo, se requirió de algunos procesamientos previos, particularmente la estimación del paradero de bajada, que se explica a continuación. Munizaga y Palma (2012) desarrollaron un algoritmo de estimación de paradero de bajada. El resultado final de aplicar esta metodología a la base de datos de transacciones es la base de datos de etapas, la cual describe en detalle el servicio utilizado, el paradero de subida, de bajada y el tiempo empleado en realizar la misma. Posteriormente, las etapas deben ser encadenadas de alguna manera para formar viajes; Munizaga et al. (2013) proponen utilizar los siguientes criterios para determinar si dos validaciones consecutivas pertenecen a viajes distintos:

- **Tiempo de transbordo mayor a 30 minutos**, el cual es definido como la diferencia entre la hora de subida en una etapa dada y la hora de bajada estimada en la etapa anterior.

- **Validaciones consecutivas de una tarjeta en el mismo servicio** (incluso si es en el sentido contrario), o en entre estaciones de metro.
- **Razón distancia en ruta – distancia euclidiana (DR/DE)** entre 0.98^1 y 2, donde DR es la suma de la distancia recorrida por los buses en todas las etapas del viaje y DE es la distancia euclidiana entre el paradero de subida y el paradero de bajada. Este criterio pretende filtrar viajes en los que la ruta seguida para realizar el viaje muy poco razonable, lo que hace presumir que se realizó una actividad en alguna etapa intermedia.
- **Criterio buses no abordados:** Si entre la hora de llegada estimada al paradero y la hora de subida al siguiente bus pasaron más de tres buses por éste, entonces se asume que se realizó una actividad en el destino y por ende que allí terminó el viaje.

El resultado de aplicar estos criterios es una tabla de viajes, que describe en detalle las subidas, bajadas y tiempos empleados en cada una de las etapas que conforman cada viaje. De manera adicional, se estima el tiempo de transbordo identificando sus componentes (caminata y espera) por separado. El tiempo de caminata se determina a partir de la distancia euclidiana entre los paraderos de bajada y subida, mientras que el tiempo de espera queda definido como el tiempo total de transbordo menos la caminata. En aquellos casos donde la diferencia resulta ser negativa, se asume que el usuario caminó más rápido y se trunca a cero.

3 FILTROS PARA DETECTAR VIAJES ANÓMALOS

Ya sea por inconsistencias en los datos de entrada, errores de procesamiento o comportamientos anómalos por parte de los usuarios, la tabla de viajes debe ser filtrada para obtener resultados representativos en cuanto a indicadores se refiere. Esta labor debe realizarse con especial cuidado puesto que es fundamental distinguir viajes realizados en condiciones particularmente desfavorables dadas las características del sistema de viajes mal estimados por la metodología, debido a que estos últimos llevarían a distorsionar los indicadores (que pueden ser bastante sensibles a las peores experiencias de viaje de los usuarios). Para esto se realizó un análisis caso a caso, que permitió definir ciertos criterios, descritos a continuación, que se agregan a los definidos por Munizaga et al. (2013) para los viajes con subida y bajada estimada en día laboral .

- **Paradero de subida igual al paradero de bajada.** Tanto para el viaje completo como para cada etapa por separado.
- **Transacciones consecutivas en misma unidad de negocio, sin servicio asignado:** En algunos casos, el viaje no contiene información sobre el servicio correspondiente a una cierta etapa; no obstante si puede identificarse al operador. En el caso que dos etapas consecutivas sean asignadas al mismo operador, se descarta el viaje pues no se puede distinguir si son servicios diferentes.
- **Distancia mínima y máxima:** Dadas las características de la ciudad y de la red de transporte, sólo se consideran como válidos aquellos viajes con distancia en ruta mayor a 350 metros y distancia euclidiana menor a 50 kilómetros de longitud.
- **Duración mínima del viaje:** Se descartan los viajes con duración menor a 35 segundos.

¹ Se acepta la existencia de viajes con distancia euclidiana levemente mayor que la distancia en ruta debido a que en algunos casos hay pequeños errores de proyección en la ruta de los pulsos GPS de los buses.

- **Viajes de cuatro etapas:** Los viajes de cuatro etapas son excepcionales dentro del sistema puesto que implican un nuevo pago de la tarifa. Como el usuario debe observar ventajas evidentes a la hora de tomar esta decisión, se observan caso a caso para un subconjunto de viajes que cumplían con esta condición y se determinaron los criterios para detectar aquellos considerados anómalos. Los criterios finalmente utilizados para descartar son:
 - Hora de subida entre las 8:00 y 21:59 hrs, y
 - $DE < 7 \text{ Km}$ ó $DR/DE > 1.5$
- **Velocidad mínima/máxima:** Si un viaje tiene velocidad extremadamente baja o alta es causa suficiente para sospechar de su validez. Los viajes con velocidad demasiado baja son una manera alternativa de detectar viajes de ida y vuelta con una actividad intermedia, mientras que los viajes con velocidad demasiado alta se deben principalmente a asignaciones incorrectas de las coordenadas de los paraderos. A través del análisis de los datos con velocidades extremas, se proponen los criterios descritos en la Tabla 1 para descartar viajes.

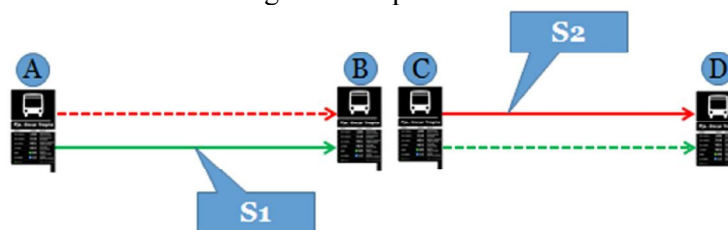
Tabla 1: Criterios de velocidad mínima/máxima para descartar viajes

Velocidad	Criterio(s)
Mínima	$VE < 4 \text{ km/hr}$, $TV < 50 \text{ min}$
	$VE < 7 \text{ km/hr}$, $TV > 50 \text{ min}$
	$VR < 4 \text{ km/hr}$ en alguna etapa
Máxima	$VE > 70 \text{ km/hr}$
	$VR > 60 \text{ km/hr}$, $DR < 5 \text{ km}$ en alguna etapa
	$VR > 70 \text{ km/hr}$, $DR > 5 \text{ km}$ en alguna etapa

Donde TV es el tiempo de viaje, VE es un indicador calculado como la distancia euclidiana dividida en el tiempo de viaje, que puede ser interpretado como una velocidad que es independiente de la ruta utilizada por el usuario y VR se calcula como la distancia en ruta dividida en el tiempo de viaje, lo cual corresponde a la velocidad media en la ruta.

- **Etapas redundante:** Otra fuente no trivial de viajes anómalos es donde el usuario realiza una o más etapas de lo razonable. El comportamiento anterior se ilustra en la Figura 2 y es una muestra inequívoca de que se realizó una actividad entre las etapas involucradas.

Figura 2: Etapa redundante



Fuente: Elaboración Propia

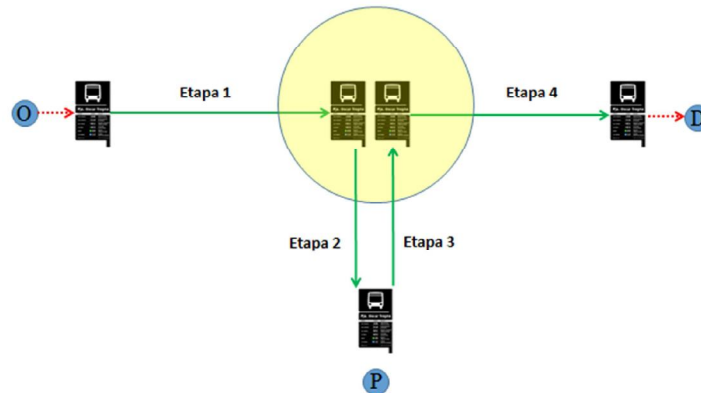
En la Figura 2 se muestra un caso de dos servicios (S_1 en verde y S_2 en rojo) y un viaje que se inicia en el paradero A , transborda en $B - C$ y termina en el paradero D ; dado que el usuario pudo haber llegado a D sin haber realizado transbordo, el viaje se cataloga como anómalo. Esto se caracteriza con la condición (2):

$$(S_1, D) \text{ existe } \text{ó} (S_2, A) \text{ existe} \quad (2)$$

Un caso donde podría aplicar este criterio es el de los servicios expresos, pues comparten trazados con otros servicios pero se detienen en un subconjunto de paradas de éstos; se concluye que tomar un bus no expreso, bajarse en un punto intermedio y luego tomar un servicio expreso no es una conducta racional en las circunstancias actuales.

- **Ciclo en etapa intermedia:** Cuando la metodología estima que un viaje inicia y termina en un lugar cercano, los criterios de DR/DE y velocidad son efectivos en detectarlos; sin embargo en aquellos viajes donde el retorno se genera en una etapa intermedia el error es de difícil detección. Un diagrama de la situación anterior se muestra en la Figura 1:

Figura 1: Ciclo en etapa intermedia



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 1, se ilustra un viaje de cuatro etapas entre O y D detectado por la metodología, pero al analizar la secuencia de etapas se observa que el viaje entre O y D pudo haberse realizado en sólo dos etapas. Entre las etapas 2 y 3 el usuario toma un desvío innecesario, a menos que sea para realizar una actividad en la parada P. Para detectar estos casos se analizan situaciones en que la bajada de una etapa coincide con la subida una etapa posterior del mismo viaje, es decir, se observa un ciclo en la secuencia de etapas. El nivel de agregación utilizado para este análisis corresponde a la zonificación 777 dado que el tamaño de las zonas es sensible al acceso de transporte (son más pequeñas donde el acceso al transporte es mayor y viceversa), y hace razonable pensar que para moverse entre ubicaciones pertenecientes a la misma zona no es necesario realizar transbordos. El criterio creado para filtrar estos casos es el descrito en (1).

$$Zona777_{Subida}^i = Zona777_{Bajada}^j \quad (1)$$

donde i y j son etapas de viaje tales que $j > i$

- **Transbordo no razonable:** La cota de 30 minutos o tres buses para separar viajes en algunos casos parece insuficiente para distinguir transbordo de actividad, puesto que si en la última etapa hay que recorrer una distancia corta, 30 minutos es un tiempo excesivo para esperar. Es por esto que se propone un criterio adicional para detectar transbordos sospechosos basados en una decisión racional entre transbordar o caminar. Al transbordar hay un costo asociado a la espera y otro al viaje en bus; un usuario racional debería optar por realizar un transbordo si es que este costo es menor que el de la caminata, luego un transbordo es declarado como no razonable (y en consecuencia, el viaje anómalo) si cumple con la condición (3).

$$2.5 \cdot TE + TV_{BUS} + f(d) > 2.5 \cdot TC \quad (3)$$

Donde TE es el tiempo de espera, TV_{BUS} es el tiempo de viaje en bus, TC es el tiempo de caminata y $f(d)$ es una penalización en función de la distancia a caminar, definida en (4):

$$f(d) = 10 - \frac{10}{1500}d \quad (4)$$

Donde d está medido en metros y se calcula a partir de la distancia recorrida por el servicio utilizado en la última etapa. El objetivo de $f(d)$ es, por un lado, *ceteris paribus*, penalizar el transbordo si la distancia de la última etapa es corta (efecto incertidumbre) y por otro lado penalizar la caminata si la última etapa es muy larga (efecto desagrado). La distancia en la cual se pasa de un efecto a otro es $d = 1500[m]$, y es un criterio que se debe aplicar a cada uno los transbordos que tenga un viaje.

En total, la tabla de viajes registra 15.394.066 viajes con subida y bajada correctamente estimada en día laboral. En la Tabla 2 se muestra la tasa de ocurrencia de cada viaje anómalo.

Tabla 2: Tasa de ocurrencia de viajes anómalos

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (sobre los viajes correctamente estimados)
Paradero subida = Paradero bajada	441.321	2,87 %
Unidad de negocio repetida	3.801	0,02 %
Distancia mínima	973.458	6,32 %
Distancia máxima	52.604	0,34 %
Tiempo mínimo	839.02	5,45 %
Viajes de 4 etapas	14.838	0,06 %
Velocidad mínima	580.406	3,77 %
Velocidad máxima	100.937	0,66 %
Ciclo en etapa intermedia	20.695	0,13 %
Etapas redundante	109.123	0,71 %
Transbordo no razonable	476.747	3,10 %
TOTAL VIAJES VÁLIDOS	14.059.093	91,33 %

Al respecto, cabe decir que las fuentes de error no son excluyentes (es decir un viaje puede ser descartado por varios de los criterios) y por lo mismo los porcentajes no son acumulativos.

4 INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIO

A continuación se definen una serie de indicadores de calidad de servicio para ser calculados a partir de los datos generados de manera automática antes descritos. Los indicadores fueron seleccionados en función de la importancia para el usuario, la factibilidad de ser calculados de forma automática y que los datos necesarios para su obtención estén disponibles tanto en el presente como en el futuro. Los indicadores escogidos son:

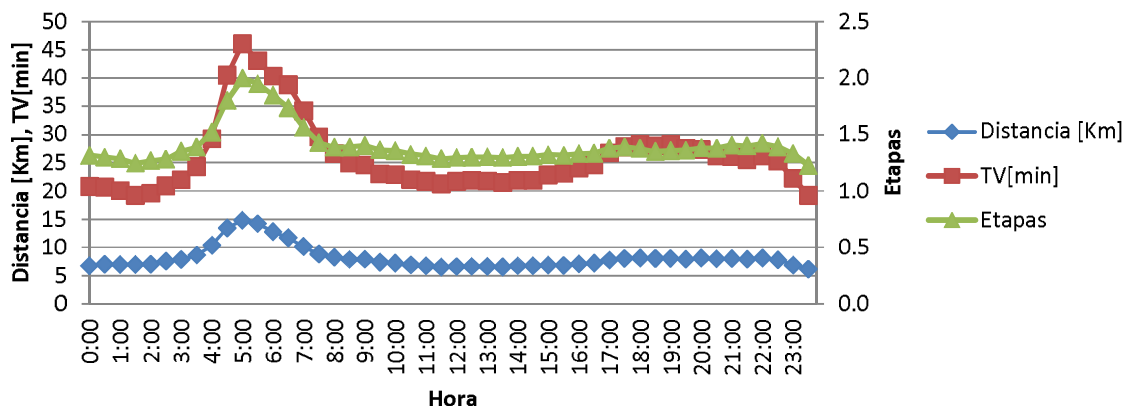
- Tiempo de viaje
- Velocidad de viaje los usuarios
- Razón distancia en ruta – distancia euclidiana
- Etapas por viaje
- Velocidad bus v/s auto
- Transbordos críticos

En las secciones siguientes se mostrará el alcance que algunos de ellos tienen con el nivel de agregación adecuado para día laboral. Cabe destacar que todos los cálculos, el tiempo de viaje se considera como el tiempo desde la validación en la primera etapa hasta la hora de bajada estimada en la última etapa.

4.1 Indicadores a nivel sistema

En la Figura 3 se muestra la evolución de la distancia de los viajes (DE), el tiempo de viaje y el número de etapas, por periodos de media hora según hora de inicio del viaje.

Figura 3: Distancia, tiempo de viaje y número de etapas, según hora de inicio del viaje.



Fuente: Elaboración propia

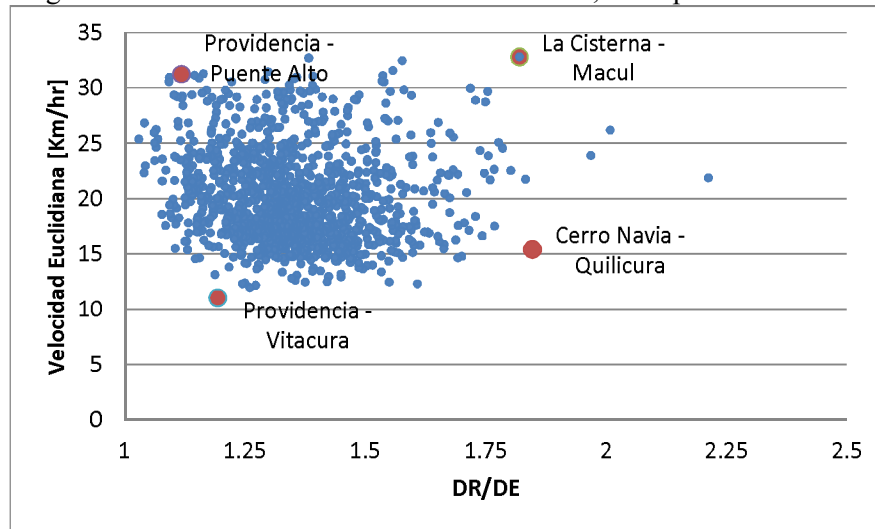
Se aprecia que en la mañana los viajes son más distantes, de mayor duración y con más etapas; en particular estos tres valores alcanzan su máximo valor para aquellos viajes que se inician entre las 5 y las 5:30 de la madrugada, los que típicamente son realizados por usuarios de zonas periféricas

de la ciudad que se dirigen a trabajos en el sector oriente de la capital. En el resto del día la longitud y el número de etapas de los viajes se mantiene relativamente constante, sólo para el tiempo de viaje promedio, hay una punta en la tarde de menor magnitud.

4.2 Indicadores a nivel de comuna

A nivel de comuna también es posible calcular indicadores interesantes. Para aquellos viajes con llegada entre las 8 y 9 hrs. se ha realizado el cruce entre la velocidad (en ruta) experimentada por los usuarios y la relación DR/DE para todos los viajes realizados entre cada par de comunas, cuyos resultados se muestran en la Figura 4 destacando cuatro casos representativos.

Figura 4: Velocidad euclidiana v/s razón DR/DE, entre pares de comunas



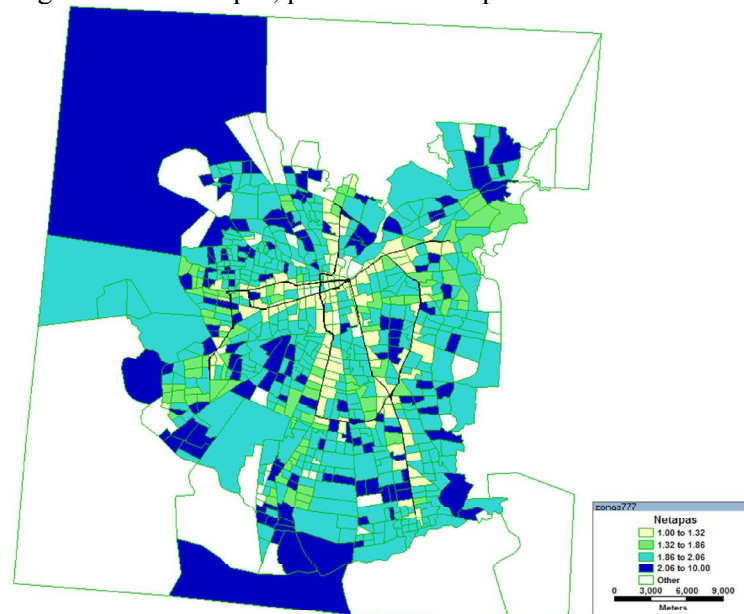
Fuente: Elaboración Propia

El objetivo de este indicador es identificar si es posible (y cómo) mejorar el tiempo de viaje entre pares de comunas: En aquellos pares O-D de comuna ubicados en la esquina superior izquierda (que tienen alta velocidad y una relación DR/DE baja, como Providencia – Puente Alto) las condiciones son ideales, los tiempos de viaje de los pares O-D de la esquina superior derecha (alta velocidad y alta relación DR/DE, como La Cisterna - Macul) eventualmente podrían mejorar con mayor conectividad; pares de comunas en la esquina inferior izquierda (baja velocidad, baja relación DR/DE, como Vitacura - Providencia) requieren medidas de prioridad para mejorar la calidad de servicio y finalmente los pares de la esquina inferior derecha (baja velocidad, alta relación DR/DE como Cerro Navia - Quilicura) están en una situación crítica y requieren tanto medidas de prioridad como de conectividad para mejorar su calidad de servicio.

4.3 Indicadores a nivel de zona 777

En la Figuras 5 se muestra el número de etapas por viaje clasificadas por zonas 777 de subida (sin contar los transbordos en metro), para todos los viajes que llegan a las zonas 276 y 285 (que corresponden al centro de Santiago y contienen a las estaciones de metro Universidad de Chile y Plaza de Armas) con bajada entre las 8 y las 9 hr.

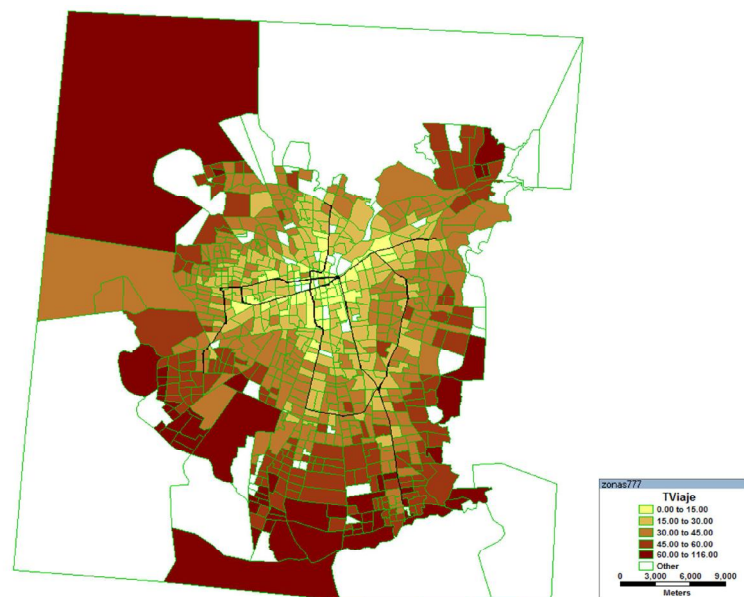
Figura 5: N° de etapas, por zona 777 en período Punta Mañana



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, en la Figura 6 se muestra el tiempo de viaje promedio de los viajes que llegan a las mismas zonas y en el mismo horario de los viajes de la Figura 5 (recordar que este tiempo de viaje no considera caminata de acceso ni egreso, y tampoco la espera en la primera etapa).

Figura 6: Tiempo de viaje hasta las zonas 276 y 285, en período Punta Mañana



Fuente: Elaboración Propia

Tanto en la Figura 5 como en la Figura 6 se observa que en la zona de influencia de la red de metro, el tiempo de viaje y las etapas realizadas por parte de los usuarios son menores. Además, hay zonas donde consistentemente se observan pobres indicadores: usuarios de sectores como Lo Espejo, Renca o Cerrillos realizan en general viajes más largos y con más etapas que usuarios de otras zonas ubicadas a distancias similares al centro.

4.4 Indicadores a nivel de eje

Como se mencionó anteriormente, una medida relevante para evaluar la calidad de servicio del sistema de transporte es comparar la velocidad de los buses con la de los autos. Para determinar la velocidad de los autos, se ha utilizado información de la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT) sobre tiempos de viaje en arcos, que proviene de mediciones realizadas a través del método del vehículo flotante. Para efectos del análisis se tomaron nueve tramos fijos, algunos de ellos en punta mañana (7:30 – 9:00) y otros en punta tarde (18:00 – 20:00). La velocidad del transporte público se calcula a partir de los pulsos GPS de los buses cuyos servicios circulan por los ejes.

Tabla 3: Velocidad Auto v/s Bus, en ejes.

Eje	Desde	Hasta	Periodo	Velocidad Autos [Km/hr]	Velocidad Buses [Km/hr]	Dif. Bus-Auto [Km/hr]
Alameda	Las Catalpas	Exposición	PM	16.7	16.5	-0.2
Alameda	Las Catalpas	Exposición	PT	19.6	19.0	-0.5
Providencia/Alameda	Salvador	Santa Rosa	PM	15.1	20.8	5.7
Alameda/Providencia	Santa Rosa	Salvador	PT	19.6	16.0	-3.5
Bilbao	Las Luciérnagas	Pedro de Valdivia	PM	19.9	16.7	-3.2
Colón/E.Yañez	A. Vespucio	Los Leones	PM	14.4	10.7	-3.6
Colón/E.Yañez	A. Vespucio	Tobalaba	PM	14.2	10.3	-3.9
Irarrázaval	Bremen	Antonio Varas	PM	18.7	16.2	-2.6
Larraín	Tobalaba	Coventry	PM	21.7	14.3	-7.4
Vicuña Mackenna	Los Pioneros	Departamental	PM	16.4	17.2	0.8

Fuente: Velocidad de autos UOCT, velocidad de buses elaboración propia

La Tabla 3 muestra los resultados de la comparación entre la velocidad en auto en bus. Se puede ver que las condiciones que enfrentan los buses para su circulación tienen un efecto importante en su velocidad: en aquellos ejes donde la segregación es fuerte (como en Alameda o Vicuña Mackenna) la velocidad alcanzada por los buses es similar o incluso superior a la que experimentan los vehículos particulares, mientras que en aquellos ejes donde la segregación es existente pero débil (como Bilbao) o es derechamente inexistente (como en Larraín o Colón) la velocidad es claramente favorable a los autos.

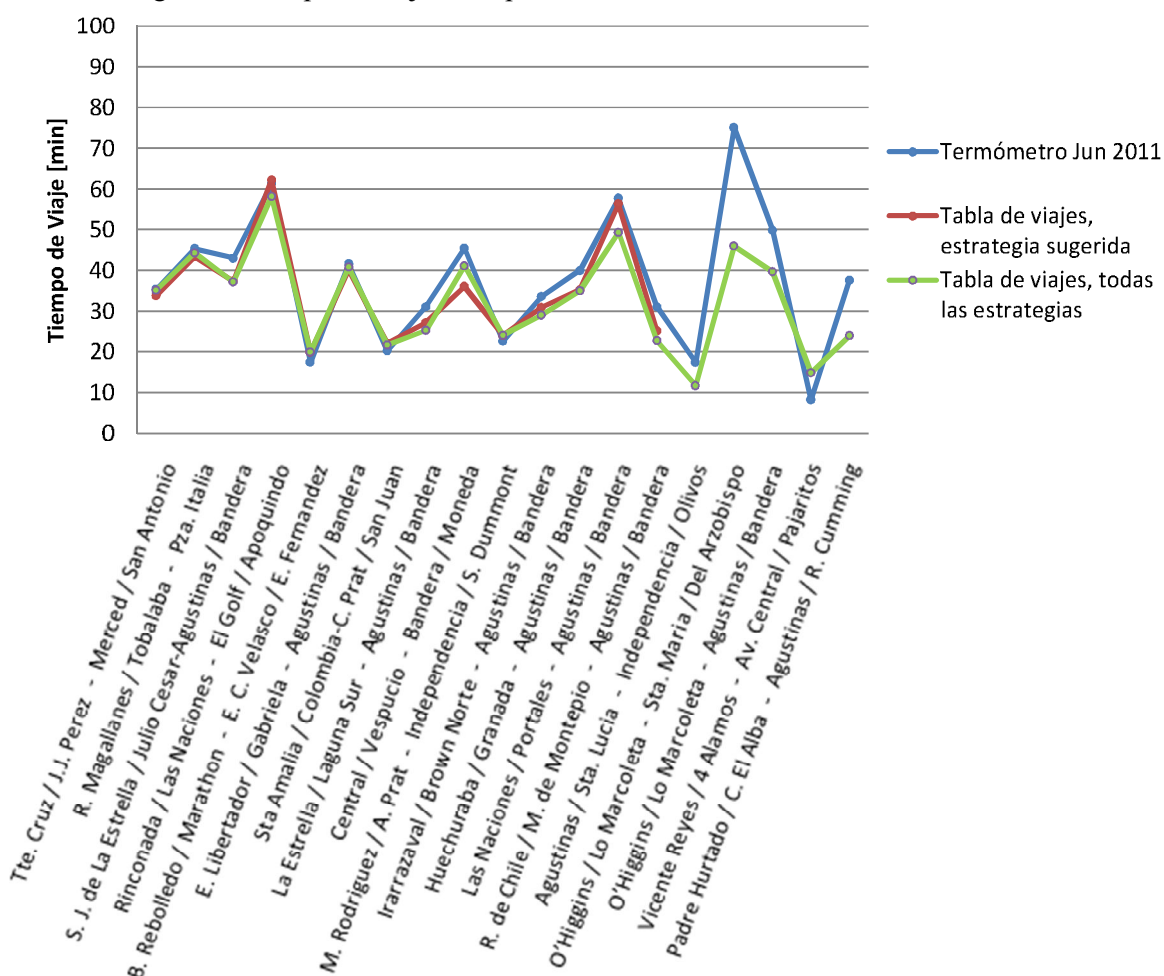
4.5 Indicadores a nivel de paradero

Dado que la bajada y la subida están estimadas a nivel de paradero, es posible llevar los análisis incluso a este nivel de detalle. A modo de validar los resultados obtenidos para los tiempos de

viaje se realiza una comparación con el termómetro de tiempo de viaje (DICTUC, 2011), las cuales son mediciones realizadas en 27 pares Origen – Destino a nivel de esquina. Entre cada par O-D se realizan tres mediciones con medidores humanos que deben realizar el viaje en terreno y medir todos los tiempos relevantes para el viaje (acceso, espera, viaje en bus, transbordo si corresponde y egreso) siguiendo una estrategia definida de antemano.

En la Figura 7 se muestra una comparación entre los tiempos medidos por el termómetro (descontando caminatas de acceso y egreso y la espera) y el promedio de los tiempos obtenidos a partir de la tabla de viajes para aquellos pares O-D con más de tres viajes observados en la tabla de viajes para el período Punta Mañana (6:30 – 9:30). Dado que en algunos casos la estrategia sugerida en el termómetro puede no ser la única para realizar el viaje, se hace una distinción entre aquella estrategia y todas las estrategias efectivamente utilizadas en la tabla de viajes. Se observa que en aquellos pares donde hay viajes con la estrategia sugerida (14 en total),

Figura 7: Tiempo de viaje entre pares O- D de termómetro, en Punta Mañana.



Fuente: Tiempos tabla de viajes Elaboración Propia y Tiempos termómetro DICTUC

Se puede observar que los tiempos de viaje son similares en casi todos los casos; para aquellos pares donde no hay viajes con la estrategia sugerida pero sí con otras, queda en evidencia que esto sucede porque las alternativas ofrecen tiempos de viaje muy inferiores. La única excepción es un caso donde el mayor tiempo de viaje se compensa con menor tiempo de caminata.

Otra ventaja de tener etapas caracterizadas a nivel de paradero es que se pueden observar los transbordos. Una medida interesante para analizar la calidad de servicio es el tiempo de transbordo, pero en vez de considerarlo en forma individual se aprovecha la extensión de los datos para obtener medidas agregadas de tiempos de transbordo. En la Tabla 4 se muestran los lugares donde mayor tiempo es consumido en transbordos durante las 6:30 y 8 hrs. para la semana laboral en estudio.

Tabla 4: Estaciones con mayor consumo en tiempo de transbordo.

Punto de transbordo	Tiempo [días]	Transbordos
EIM La Cisterna	169	50.894
(M) Escuela Militar	122	27.223
(M) Plaza de Maipú	101	37.375
Estación Mapocho	77	25.956
(M) Las Rejas	76	33.523
(M) Plaza de Puente Alto	72	23.067
(M) Santa Ana	70	23.934
(M) Irarrázaval	68	16.590
(M) Macul	64	20.257
(M) Bilbao	62	16.851

Fuente: Elaboración Propia

Esta información tiene utilidad para evaluar medidas de infraestructura (relocalización de paraderos, mejora en accesos o escaleras mecánicas, entre otras) y/o de gestión (mejoras en regularidad, coordinación de transbordos, inyección de buses) en esos puntos, puesto que se puede evaluar la factibilidad económica de implementarlas en función del ahorro en tiempo por parte de los usuarios que transbordan.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se muestra la factibilidad de obtener de indicadores de calidad de servicio recomendados en la literatura y utilizados en la práctica, creíbles y con un gran nivel de detalle a nivel espacial y temporal con datos pasivos. Al respecto, cabe decir que los datos pasivos lejos de ser un reemplazo de las fuentes tradicionales de medición en muchos casos pueden ser complementos, pero sin duda para muchos de los indicadores obtenidos representan una fuente más económica, creíble, y extensiva de información. También cabe decir que la información antes obtenida no sirve sólo para efectos de cálculo de indicadores; labores como el monitoreo en tiempo real, fiscalización y planificación del sistema de transporte público, entre otros, se facilitan mediante el uso de los datos pasivos.

Si bien para los resultados a nivel de sistema no es algo decisivo, para poder obtener indicadores confiables con nivel de detalle propuesto aquí estar seguro de que los viajes están correctamente caracterizados es de importancia fundamental; es por ello que se colocó especial énfasis en la detección de viajes anómalos. En vista de la cantidad no despreciable de viajes que han sido descartados, queda en evidencia que el filtro de viajes anómalos más que un interés de orden teórico por encontrar inconsistencias ha resultado ser parte crucial del proceso de obtención de indicadores, y en el futuro no debería obviarse esta labor al trabajar con este tipo de información.

También hay que destacar que los criterios propuestos para filtrar viajes anómalos son a priori aplicables en cualquier sistema donde se cuente con datos similares a los de Santiago (salvo ajuste de parámetros). Además, varios de los criterios desarrollados tienen un alcance mayor al de simplemente filtrar; de hecho pueden ser incorporados a los criterios de separación etapa – viaje. El efecto sobre los viajes podría ser mayor al pensado, pues no sólo se modificaría el viaje anómalo, sino que eventualmente la etapa sospechosa podría encadenarse con etapas contiguas, generando un reordenamiento de los viajes que sería más preciso que el que se tiene actualmente.

El último paso para caracterizar definitivamente el viaje (y por ende, para tener todos los datos necesarios para medir calidad de servicio) es determinar el acceso y egreso del bus. Se pretende considerar esta componente en los viajes (al menos a nivel agregado) a partir de la cobertura de los servicios, la densidad poblacional y el uso de suelo. También se piensa agregar el tiempo de espera con una medida que incorpore la variabilidad entre las pasadas de los buses y mejorar la información sobre el tiempo de entrada, salida y transbordo en las estaciones de metro, con lo cual los cambios de modo quedarán mejor caracterizados. Con estos datos, indicadores de regularidad en tiempo de espera y tiempo de viaje podrán ser calculados. Los indicadores obtenidos con esta metodología podrán ser calculados para diferentes cortes temporales, permitiendo un seguimiento a lo largo del tiempo de la evolución del sistema. Una vez incorporados todos los aspectos enunciados anteriormente, queda pendiente la sistematización para el uso permanente por parte de Transantiago para verificar la calidad de servicio ofrecida a los usuarios.

Agradecimientos

Financiamiento: Fondecyt (1120288), Fondef D10I-1002, ISCI (ICM P-05-004-F, CONICYT FBO16). Agradecemos especialmente la colaboración de Transantiago y de la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT).

Referencias

Bagchi, M. y White, P. R. (2005) The potential of public transport smart card data. **Transport Policy**, 12, 464-474.

Beltrán, P., Gschwender, A., Munizaga, M., Ortega, M. y Palma, C. (2013) Indirect measurement of level of service variables for the public transport system of Santiago using passive data. En: Zmud, J., Lee-Gosselin, M., Munizaga, M.A. y Carrasco, J.A. (Eds.) **Transport Survey Methods; Best Practice for Decision Making**. Emerald, 673-694.

Chu, K.K.A., Chapleau, R. y Allard, B. (2011) Synthesizing AFC, APC, GPS and GIS data to generate performance and travel demand indicators for public transit. **90th TRB Annual Meeting** (DVD). 23-27 Enero 2011, Washington D.C., Paper 11-2894.

Dell'Ollio, L., Ibeas, A., Cecín, P. y Dell'Ollio, L. (2011) Willingness to pay for improving service quality in a multimodal area. **Transportation Research C**, 19(6), 1060-1070.

DICTUC (2011) Elaboración de Indicadores de desempeño del Sistema de Transporte Público, Etapa II, Orden de Trabajo N°8. **Coordinación Transantiago**.

DTPM (2011). Informe de gestión Transantiago 2011. [en línea] <<http://www.dtpm.gob.cl/descargas/archivos/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%2020%20%200DE%20NOV.pdf>>

DTPM (2013). Matrices de viaje. [en línea] <<http://www.dtpm.gob.cl/index.php/2013-04-29-20-33-57/matrices-de-viaje>>

Hensher, D., Stopher, P. y Bullock, P. (2003) Service quality – developing a service quality index in the provision of commercial bus contracts. **Transportation Research A**, 37(6), 499-517.

Jang, W. (2010) Travel time and transfer analysis using transit Smart card data. **Transportation Research Record**, 2144, 142-149.

Munizaga, M., Devillaine, F., Navarrete, C. y Silva, D. (2013) Validación de estimaciones hechas a partir de transacciones bip!. **Enviado al XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**.

Munizaga, M.A. 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(12), 9-18.

Ortúzar, J. de D., Ivelic, A.M. y Candia, A. (1991) Análisis de niveles de servicio en transporte público. **V Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 28-31 Octubre 1991, 155-169.

Park, J.Y., Kim, D.-J. y Lim, Y. (2008) Use of smart card data to define public transit use in Seoul, Korea. **Transportation Research Record**, 2063, 3-9.

TRB (2003) *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. TCRP, National Research Council, Washington, D.C.

Tyrinopoulos, Y. y Antoniou, C. (2008) Public transport user satisfaction: variability and policy implications. **Transport Policy**, 15(4), 260-272.