

UN NUEVO ENFOQUE PARA MEDIR EQUITAD EN LA DISTRIBUCIÓN DEL ACCESO MEDIANTE TRANSPORTE PÚBLICO CONSIDERANDO EL IMPACTO DEL ENTORNO URBANO Y EL NIVEL DE SERVICIO

Ignacio Tiznado-Aitken, Pontificia Universidad Católica de Chile, iatiznad@uc.cl
Juan Carlos Muñoz, Pontificia Universidad Católica de Chile, jcm@ing.puc.cl
Ricardo Hurtubia, Pontificia Universidad Católica de Chile, rhg@ing.puc.cl

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es estudiar cómo se distribuye el acceso a servicios básicos mediante el sistema de transporte público y cómo la percepción del nivel de servicio disminuye o acentúa las diferencias existentes. La metodología consiste en el cálculo de 4 indicadores: acceso a paradas, calidad del entorno urbano, nivel de servicio del transporte público y concentración de actividades. Los resultados para Santiago muestran una inequidad que se acentúa al considerar la percepción del usuario del entorno urbano y el nivel de servicio, por lo que es crucial considerarla para toma de decisiones dentro de la ciudad.

Palabras clave: accesibilidad, equidad, transporte público

ABSTRACT

This paper aims to study how equitable distributed is access to opportunities through the public transport system considering how the perceived level of service decreases or increases the existing gaps. The proposed methodology considers the definition of four indicators: access to public transport stops, quality of the urban environment, level of service of public transport and activity concentration. The results for Santiago show that inequity gap increases when the user's perception of the urban environment and the level of service is considered, so it is crucial to consider it for decision making within the city.

Keywords: accessibility, equity, public transport

1. INTRODUCCIÓN

La planificación tradicional de transporte ha estado focalizada en la movilidad, la velocidad y las facilidades para automóviles privados (Banister, 2006; 2008). En los últimos años, diversas ciudades han adoptado un enfoque de planificación basado en la accesibilidad, que hace hincapié en que el principal objetivo de los sistemas de transporte es proporcionar acceso a las oportunidades distribuidas en la ciudad (Martens, 2016). Esto es de particular importancia si consideramos que una falta de accesibilidad al transporte puede significar una falta de oportunidades de trabajo, estudio, recreación e interacción social, lo que puede impactar profundamente el desarrollo de las personas (Lucas, 2006).

Por lo mismo, Litman (2003) y Banister (2008) plantean que el objetivo principal de las ciudades debe ser el crecimiento inteligente y sustentable, con énfasis en la persona, la equidad, los modos no motorizados y el rol del transporte público, sobre todo si se considera que gran parte de la población con mayores necesidades es cautivo de este sistema al no tener disponible un automóvil. En el caso particular de Santiago de Chile, el transporte público puede ser la única alternativa disponible para acceder a oportunidades para el 60% de los hogares que no posee automóvil (SECTRA, 2015).

A pesar de su importancia, Mavoa et al. (2012) y Mamun et al. (2013) señalan que existe escasa investigación en accesibilidad usando el transporte público, en parte por la complejidad de los viajes realizados en este modo. Además, Lei & Church (2010) muestran que la mayoría de los estudios en este tema se centran sólo en la proximidad a paradas de transporte público, independiente de la calidad del entorno urbano al caminar hacia paradas o estaciones (Cheng & Chen, 2015) y del nivel de servicio que proporciona el transporte público desde la perspectiva del usuario (Lucas et al., 2016).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación consiste en estudiar cuan equitativa es la distribución del acceso a oportunidades y servicios básicos a través del sistema de transporte público y cómo la percepción relativa de los diferentes atributos que influyen en el nivel de servicio disminuye o acentúa las brechas existentes. En la sección 2 se detalla la metodología de la investigación, compuesta por 4 indicadores aplicados al caso de Santiago de Chile. En la sección 3 se muestran los resultados del estudio y una breve discusión sobre la relevancia de los mismos en términos de prioridades de inversión y políticas de transporte. Por último, en la sección 4, se muestran posibles extensiones de la investigación.

2. METODOLOGÍA

Tal como se mencionó previamente, la metodología está compuesta por el cálculo de 4 indicadores. El primero de ellos consiste en la accesibilidad física, entendida como la proximidad hacia paradas de transporte público y cómo estas son alcanzables mediante la caminata desde diversas zonas geográficas. El segundo indicador ayuda a analizar esta accesibilidad física de manera integral, tomando en cuenta la calidad del entorno urbano que las personas deben experimentar para acceder al transporte público, considerando elementos como la infraestructura, seguridad y la limpieza.

Por su parte, el tercer indicador consiste en el cálculo de una medida de accesibilidad mediante transporte público que logre considerar la percepción relativa de los usuarios de los atributos del

nivel de servicio, como por ejemplo el hacinamiento y el tiempo de espera. El último indicador está relacionado al uso de suelo de la ciudad y cómo se concentran actividades y servicios básicos en determinadas zonas geográficas. Con estos 4 indicadores (Figura 1) se busca realizar un análisis multidimensional de la accesibilidad mediante transporte público, que tradicionalmente ha estado focalizado en la accesibilidad física y el cálculo de medidas agregadas del nivel de servicio.



Figura 1. Indicadores para el análisis de accesibilidad mediante transporte público (Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presenta en detalle la formulación de cada uno de estos indicadores. Cabe destacar que la metodología propuesta es genérica y pretende ser un insumo relevante a futuro para la comparación entre ciudades. En este artículo en particular, la metodología se aplica al caso de Santiago de Chile, entendido como las 32 comunas de la provincia de Santiago además de San Bernardo y Puente Alto, donde tiene cobertura el sistema de transporte público de la capital (Transantiago). Así, además de la formulación, en las siguientes secciones se detallará la información utilizada para el cálculo de cada indicador en el contexto de esta ciudad.

2.1 Accesibilidad física

Este indicador ha sido la forma más utilizada en la literatura para abordar el acceso mediante transporte público. Esta se relaciona generalmente con tiempos de caminata (por ejemplo, Lovett et al. (2002) y Kimpel et al. (2007)) o bien distancias y umbrales deseables (por ejemplo, Zhao et al. (2003) y García-Palomares et al. (2013)) para alcanzar paradas de transporte público. En este trabajo se propone el uso del primer enfoque, relacionado a los tiempos de caminata para alcanzar paradas de transporte público.

Para calcular este indicador se utilizó una medida basada en la localización, específicamente la potencial o basada en la gravedad (Ecuación 1), que ha sido estudiada desde hace más de 50 años en la literatura (Hansen, 1959; Ingram, 1971). En la ecuación se muestra la accesibilidad física de cada localidad i (AF_i) considerando una función de decaimiento de la misma $F(\cdot)$ y una normalización del valor obtenido. El uso de este tipo de medidas tiene ventajas por sobre aquellas basadas en la utilidad y en las restricciones de espacio-tiempo de las personas, principalmente en términos de interpretación y comunicación. Esto es de vital importancia considerando su transición hacia políticas públicas (Geurs & van Wee, 2004), lo que es de particular interés en este trabajo.

$$AF_i = \frac{\sum_{j \in \varphi} F\left(\frac{d_{ij}}{v}\right)}{\max(AF_i \forall i \in \omega)} \quad \forall i \in \omega \quad (1)$$

Estas medidas utilizan el decaimiento del nivel de accesibilidad $F(\cdot)$ en función de algún parámetro de resistencia. En este caso, a mayor distancia entre el origen i y la parada j (d_{ij}) o menor velocidad de caminata v , menor nivel de accesibilidad. Esto permite superar la arbitrariedad de las medidas isócronas, donde no existen convenciones objetivas para definir los umbrales a considerar (por ejemplo, cantidad de paradas alcanzables en 5, 10 o 15 minutos de caminata) ni la capacidad de valorar las oportunidades en base a su cercanía, ya que todas aquellas dentro del umbral definido se contabilizan de igual manera.

Para obtener los tiempos de caminata en Santiago se utilizó la plataforma OpenTripPlanner (OTP). Para tener un análisis preciso de la accesibilidad en las distintas localizaciones geográficas, se dividió la ciudad en más de 35 mil zonas (ω en la Ecuación 1) y se utilizaron sus centroides como orígenes. Como destinos, se definió como conjunto de paradas de transporte público a aquellas que estuvieran dentro de un radio de 1000 metros desde cada localización (φ en la Ecuación 1). Este umbral se seleccionó en base a un estudio realizado por BRT (2013), donde el 95% de usuarios de buses y el 100% de usuarios de Metro reportan haber caminado un tiempo menor a este para acceder al transporte público.

Es importante destacar que en este trabajo se utilizó un enfoque positivo en lugar de uno normativo de la accesibilidad (Páez et al., 2012). Esto significa en la práctica que el análisis está focalizado en el comportamiento observado de los usuarios y no en lo que es razonable o deseable para las personas en términos del viaje. Esto implica, en el caso del cálculo de este indicador, que la función de impedancia utilizada $F(\cdot)$ está calibrada en base a tiempos reales de caminata hacia el transporte público de las personas en base a datos de SECTRA (2015).

Así, utilizando el método propuesto por Mamun et al. (2013) para calibrar la función $F(\cdot)$, se observa que el 95% de los usuarios de Transantiago caminan 15 minutos o menos para acceder a su parada inicial, por lo tanto se define un valor equivalente a 0.05 de accesibilidad para tal tiempo de caminata. Utilizando el mismo principio, se definió un valor de 0.2 y 0.7 para caminatas de 10 y 5 minutos, respectivamente.

La Figura 2 muestra la función calibrada para este trabajo (Richards) versus la que típicamente se utiliza en la literatura (Exponencial), calibrada con los valores de accesibilidad de 15 minutos (accesibilidad igual a 0.05) y 1 minuto (accesibilidad igual a 1). Basado en el trabajo de Martínez y Viegas (2013), la función de Richards representa mejor la percepción de accesibilidad de las personas con un decaimiento más suave para tiempos de viaje bajos, a diferencia de la función exponencial.

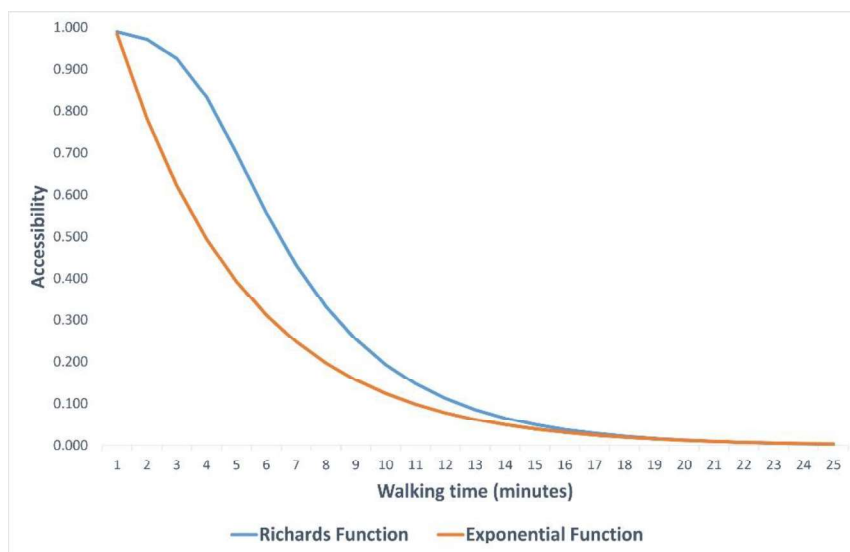


Figura 2. Comparación de curvas de accesibilidad física para el caso de Santiago (Fuente: Elaboración propia)

En total se realizaron 250.000 consultas a la plataforma OTP, obteniendo tiempos de caminata desde cada localización basados en distancias por red y la velocidad promedio utilizada por OTP (4.8 km/hr). Luego estos valores se agregaron a una escala zonal, consistente en 804 zonas que utiliza la Dirección de Transporte Público Metropolitano (DTPM) para dividir Santiago, con el objetivo de que la escala de análisis sea comparable en los 4 indicadores propuestos.

2.2 Calidad del entorno urbano

El análisis del acceso hacia paradas de transporte público se considera incompleto si es que no se toma en cuenta el entorno en el cual las personas realizan la caminata. Como cualquier modo de transporte, la caminata tiene un cierto nivel de servicio que depende de este entorno. Por lo mismo, en este trabajo se propone medir la presencia de diversos elementos relacionados al mobiliario urbano, la infraestructura disponible y aspectos del entorno que sean relevantes para el peatón. Esto permite tener una noción de lo que experimentan las personas cuando caminan desde sus hogares hasta las paradas de transporte público.

La literatura de caminabilidad se sugiere analizar características como la calidad del entorno, la calidad de la red de peatones, el atractivo del entorno y percepciones de seguridad y comodidad (Khisty, 1994; Landis et al., 2001; Krambeck & Shah, 2006) a través de indicadores específicos, mientras que la literatura de entorno construido se preocupa de cómo medir elementos como la densidad, el uso mixto de suelo y ambientes amigables con el peatón (Cervero & Kockelman, 1997; Ewing & Cervero, 2001), así como su influencia en la elección de modos como el transporte privado en lugar de la caminata o la bicicleta (Tilahun & Li, 2015).

En base a lo expuesto y dado que la construcción de este indicador depende fuertemente de la disponibilidad de datos y de la calidad de los mismos, no se busca proponer un indicador rígido, sino uno que se pueda adaptar a diversos contextos utilizando una estructura básica que permita agrupar elementos del entorno urbano, como la que se muestra en la Ecuación 2. En ella se definen

las categorías k que clasificarán cada localización i (seguridad, comodidad, infraestructura, mobiliario, limpieza, entre otros), donde $P_k(s)$ es un indicador de cada una de ellas y que puede variar en base a una determinada escala s , por ejemplo, binaria o Likert.

$$U_i = \sum_{k \in \vartheta} P_k(s) \quad \forall i \in \omega \quad (2)$$

Tomando en cuenta la información disponible para el caso de Santiago, se utilizó información georreferenciada del pre-censo del año 2011 (INE, 2011). En esta instancia se pidió a cada encuestador que evaluara algunos elementos del entorno en el que debían encuestar, lo que permitió realizar un catastro a nivel de manzanas dentro de Chile. Para efectos de esta investigación, estos elementos fueron categorizados agrupándolos según su similaridad y dieron origen a los 4 sub-indicadores que se muestran en la Tabla 1.

*Tabla 1. Indicadores que componen el análisis de calidad de entorno urbano en Santiago
(Fuente: Elaboración propia en base a INE (2011))*

Indicador	Componentes	Rango de valores
Seguridad	Luminaria, señalética de tránsito y paraderos techados	0 a 3
Amenidades	Jardines, asientos, canchas deportivas y juegos infantiles	0 a 4
Limpieza	Basureros y escombros	0 a 2
Infraestructura	Calidad de calles y veredas	0 a 10

Así, se puede observar que el indicador global que agrupa todos estos elementos varía entre 0 y 19. Además, es posible observar que la mayoría de los elementos que componen este indicador global son binarios, ya que evalúan la presencia o ausencia de tales elementos. El único caso en el que se utiliza una escala considerando calidad es la infraestructura peatonal, relacionado a calles y veredas (escala desde 0 a 4, donde 0 corresponde a una evaluación muy mala y 4 una muy buena). A pesar de que la información no considera todos los atributos relevantes del entorno urbano, es el mejor proxy disponible que permite tener un diagnóstico de toda la ciudad de Santiago.

2.3 Accesibilidad en transporte público considerando el nivel de servicio

Para calcular este indicador, se propone un cambio en la forma tradicional de abordar las medidas de accesibilidad. Generalmente, las medidas que buscan incorporar elementos del nivel del servicio del transporte público lo hacen a través de atributos agregados. Ejemplo de ello son la frecuencia promedio en paradas (Sánchez et al., 2004), largo de viaje (Weber, 2003) y otros elementos como tiempos de viaje promedios, cobertura espacial y temporal agregada (para mayor detalle, ver Fu & Xin (2007) y Mamun & Lownes (2011)).

En este trabajo se propone considerar una medida del tiempo percibido por el usuario desde su parada inicial hasta la final, utilizando la misma forma funcional y tipo de medida propuesta para el primer indicador de acceso al transporte público. La idea es poder considerar diferentes atributos del nivel de servicio (tiempos de viaje considerando confiabilidad del sistema, tiempos de espera,

transbordos y comodidad) transformando cada uno de ellos a una unidad común equivalente de tiempo en vehículo (TEV) (Wardman, 2001). Esto implica, a modo de ejemplo, que un minuto de tiempo de espera puede equivaler a dos minutos de tiempo en vehículo y que una mayor densidad de pasajeros al interior del bus o tren puede aumentar la percepción del tiempo al interior del vehículo.

Esto se ha estudiado en profundidad en la literatura del valor del tiempo (para un review detallado, ver Wardman (1998)), donde además de obtener un valor monetario, es posible derivar una equivalencia de diversos atributos del viaje en unidades de tiempo. De esta forma, cada componente tiene un peso diferente en este “tiempo generalizado” ya que depende de la percepción del usuario de cada atributo. La formulación propuesta es la siguiente:

$$PTA_i = \frac{\sum_{d \in \aleph} \sum_{l \in \emptyset} f(t_{id}) \cdot C_{idl}}{\max(PTA_i \forall i \in \omega)} \quad \forall i \in \omega \quad (3)$$

Donde id corresponde a cada par origen-destino considerando las 804 zonas de la ciudad, \aleph es el conjunto de todos los destinos geográficos, \emptyset es el conjunto de todos los servicios de transporte público y sus combinaciones, $f(t_{id})$ corresponde a una función de impedancia calibrada en base a comportamiento actual de los usuarios de transporte público y C_{idl} es un factor binario que toma un valor de 1 cuando existe algún servicio de transporte público o combinación l que permite conectar i con d y 0 en otro caso.

Por último, t_{id} corresponde al “tiempo generalizado” que percibe el usuario en horario punta (6 a 9 AM) para viajar desde i a d , compuesto por la suma de 3 elementos:

- (1) $\alpha \cdot t_e$, que corresponde al parámetro que transforma el tiempo de espera en una unidad de TEV, multiplicado por el tiempo de espera,
- (2) $\varepsilon_c \cdot t_v$, que corresponde al parámetro que transforma el TEV base a las condiciones de hacinamiento al interior del vehículo de transporte público, multiplicado por el TEV y
- (3) t_t , que corresponde a la penalidad por realizar transbordos en términos de TEV.

Para calcular t_{id} se utilizan los siguientes parámetros y penalidades para el caso de Santiago:

- α_w : Muchos estudios se han enfocado en el valor del tiempo de viaje. Wardman (2001) muestra que los estudios que han utilizado la equivalencia TEV en UK llevan a un valor promedio de 1.47, con un percentil 90 equivalente a 2.19. Este último valor es consistente con el modelo propuesto por Batarce et al. (2016) y con los valores reportados por Steer Davies Gleave (1997) entre 1.8 y 2.4. Este último estudio recomienda el uso de un factor de 2 por simplicidad, que en la práctica es el que regularmente se utiliza y el que se emplea en este trabajo.
- p_t : Raveau et al. (2014) condujo un estudio focalizado en el Metro de Santiago que sugiere que la penalidad de los trasbordos en términos de TEV depende del tipo de transbordo. Estos valores pueden fluctuar entre 4.93 y 13.36 minutos, dependiendo de factores como la pendiente y la presencia de escaleras. Por simplicidad y dada la incapacidad de distinguir entre los tipos de transbordos que realiza cada usuario, en este trabajo se utiliza el tiempo promedio reportado, equivalente a 10.2 minutos.

- ε_c : Estudios recientes que han obtenido multiplicadores por hacinamiento en Santiago son consistentes entre sí (Tirachini et al., 2013; Batarce et al., 2016). En este trabajo se utiliza un enfoque lineal basado en un modelo de preferencias declaradas y reveladas, donde la desutilidad marginal aumenta un 25% por cada aumento de una persona de pie por metro cuadrado (Batarce et al., 2016). Los valores utilizados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Multiplicadores de tiempo en base a densidad de pasajeros en transporte público
(Fuente: Batarce et al., 2016)

Densidad de pasajeros (pasajeros de pie/m ²)	Multiplicador TEV
0	1
1	1.25
2	1.50
3	1.76
4	2.01
5	2.26
6	2.51

Como se mencionó previamente, el análisis se realiza utilizando la zonificación empleada por DTPM. Así, utilizando la información de las validaciones de tarjeta BIP, información GPS y la metodología propuesta por Munizaga & Palma (2012), se logra obtener cerca del 80% de los destinos de cada para cada viaje realizado en transporte público, con una estimación del tiempo de viaje, el tiempo de espera y el número de trasbordos. Utilizando tales viajes, es posible obtener una medida de la mayoría de las variables del nivel de servicio a nivel de la zonificación de DTPM que permiten calcular el tiempo t_{id} .

A partir de esta misma información, es posible construir un proxy de la comodidad de cada viaje. Aquellos que involucran alguna etapa realizada en bus, se calculan los perfiles de carga promedio para cada servicio de buses desagregado por hora del día. Cabe destacar que esta información no considera la evasión y por lo mismo el proxy de comodidad se corrige en base a estimaciones de STEP (Raveau et al., 2017) y valores promedio de evasión (DTPM, 2017). Para el caso de los viajes que tienen alguna etapa en Metro, se utiliza información del software CALDAS, que permite estimar la cantidad de personas al interior de los trenes de Metro para diferentes horas del día (Metro S.A., 2015a).

Todos los datos previamente mencionados permiten medir los atributos del viaje desde la primera validación, pero no brindan información sobre el tiempo de espera en la primera etapa de viaje. Para obtener una estimación de esto, se utilizó información de intervalos de pasada de Metro (Metro S.A., 2015b) y Transantiago (DTPM, 2015). En el caso de Metro, se obtienen frecuencias por cada estación, mientras que para buses se tiene 3 puntos de medición o puntos de control: al inicio, un punto medio y al final.

Con esta información, se calcula el tiempo de espera basado en la Ecuación 4 propuesta por Marguier & Ceder (1984):

$$t_{esp_i} = \frac{h_i}{2}(1 + CV^2) \quad (4)$$

$$CV = \frac{\sigma_i}{\mu_i}, \quad \text{donde } \sigma_i = \text{desviación estándar del intervalo}$$

$$\mu_i = \text{intervalo promedio}$$

$$h_i = \text{Intervalo de Metro o buses en la parada } i$$

Finalmente, con la información de todos los atributos de viaje desde cada zona de origen, se calcula el percentil 90 de todas las variables con el objetivo de considerar el peor escenario, dado que las personas por lo general evalúan sus viajes en transporte público reportando sus peores experiencias (ver por ejemplo Guiver (2007) para las construcciones sociales de usuarios de buses).

2.4 Concentración de actividades y servicios básicos

Finalmente, con el objetivo de identificar las oportunidades y servicios básicos que se pueden alcanzar desde una determinada localización, interesa estudiar la concentración geográfica de las actividades. En este trabajo el enfoque que se adopta es el de analizar un solo tipo de servicio básico (por ejemplo, trabajo (Benenson et al., 2011), educación (Pacione, 1989) o salud (Yang et al., 2006)) tomando en cuenta no solo la cantidad de oportunidades, sino la calidad de estas. El objetivo de realizar esto es centrar el análisis a un nivel más detallado y valioso para tomadores de decisiones.

Para el caso particular de este trabajo, se analiza el acceso a la educación. El escenario ideal es que considerara no solo la cantidad de establecimientos educacionales, sino por ejemplo la efectividad de la enseñanza, la integración de alumnos en el proyecto educativo y la calidad en base a pruebas estandarizadas. Para lograr esto, se analiza la distribución de establecimientos primarios subsidiados en Santiago. Las fuentes de datos utilizadas corresponden al directorio de colegios (MINEDUC, 2015) que permite georreferenciar dichos establecimientos y el Sistema Nacional de Evaluación de Desempeño (SNED) aplicado por el Ministerio de Educación para evaluar el subsidio a estos establecimientos educacionales.

De acuerdo a la evaluación actual, existen 6 factores que influyen en la calificación final del SNED (MINEDUC, 2017): efectividad, superación, iniciativa, mejora, igualdad de oportunidades, integración y participación. En base a estos criterios y su evaluación, se pudo observar que las evaluaciones fluctúan entre un 47% y un 88% para los establecimientos estudiados. A partir de esto, se categorizaron las escuelas en base a un proxy de calidad asignando una puntuación diferente a cada uno (Tabla 3).

Tabla 3. Proxy de calidad de establecimientos educacionales en base a SNED (Fuente: Elaboración propia)

Valor SNED (%)	Puntuación (I)
45 - 60	1
61 - 75	2
76 - 90	3

Esto permite realizar el análisis de cantidad y calidad de oportunidades expuesto previamente, a través de la Ecuación 5. Así, para cada localización i , se obtiene una puntuación CE que corresponde a la suma de la calidad I de todos los establecimientos del conjunto ϑ (establecimientos primarios subsidiados en Santiago) localizados en i . Es importante destacar que este indicador se puede utilizar de manera conjunta con el tercer indicador de accesibilidad mediante transporte público, de modo de poder realizar un análisis integral donde se considere tanto la calidad del servicio del transporte público como la calidad de las oportunidades a las que se accede.

$$CE_i = \sum_{i \in \vartheta} I_i \quad \forall i \in \vartheta \quad (5)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, Santiago posee una buena accesibilidad a paradas del transporte público, especialmente en las zonas centrales (Figura 3). Más de 11.000 paradas de transporte público son elementos clave de una extensa red que ha alcanzado una amplia cobertura y ha crecido significativamente en los últimos años. Esto es coherente con la percepción de proximidad al transporte público que tiene más del 85% de la población de las 35 comunas estudiadas (MINVU, 2010).

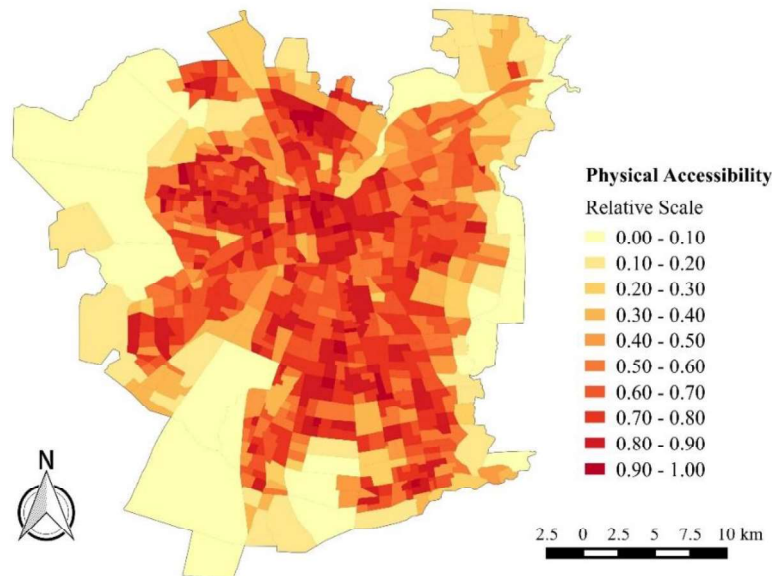


Figura 3. Accesibilidad física en Santiago (Fuente: Elaboración propia)

Sin embargo, como se observa en la Figura 3, la periferia tiene menores niveles de accesibilidad en comparación con las áreas más centrales y productivas de la ciudad. En los sectores norponiente y surponiente de Santiago, existe un escaso acceso al transporte público. Comunas como Pudahuel, Lo Barnechea, Peñalolén y San Bernardo tienen áreas con una diferencia significativa en términos de acceso respecto de comunas como Santiago, Quinta Normal o Independencia. Para ilustrar esto, mientras que las áreas con mayor accesibilidad tienen 10 paradas de transporte público a 4 minutos en promedio, otras menos beneficiadas pueden acceder a un número menor de paradas en más de 20 minutos en promedio.

Por lo tanto, resulta importante que la implementación de nuevas paradas de transporte público se centre en las zonas más desfavorecidas. En algunos casos estas zonas coinciden con comunas de bajos ingresos como San Bernardo, Pudahuel o La Pintana. Estas zonas tienen una partición modal de transporte público importante, por lo que mejorar la proximidad a paradas es un factor clave. Por otro lado, comunas más ricas como Vitacura o Lo Barnechea tienen la partición modal más alta del automóvil. Si a las autoridades les preocupa promover medios de transporte más sustentables y eficientes como el transporte público, la mejora de la accesibilidad física podría ser el primer paso.

Sin embargo, sabemos que la elección de usar el transporte público depende no sólo de la proximidad, sino también de la calidad de la experiencia de viaje, como los entornos amigables con los peatones y la disponibilidad de infraestructura (Cervero et al., 1995; Tilahun & Li, 2015). La Figura 4 muestra que el mejor entorno y calidad urbana se concentra principalmente en el sector nororiente de la ciudad, compuesto por 6 comunas: Vitacura, Las Condes, Lo Barnechea, Ñuñoa, Providencia y La Reina. En esas comunas vive el 17% de los habitantes de la ciudad, pero concentran el 62% de la población socioeconómica llamada ABC1 (Gfk Adimark, 2015).

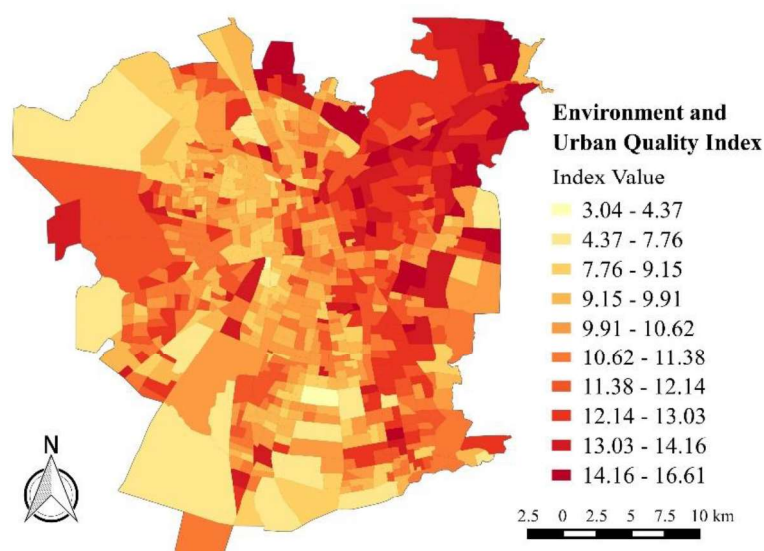


Figura 4. Indicador de calidad del entorno urbano en Santiago (Fuente: Elaboración propia)

Además, se observa que las zonas centrales, con mejor accesibilidad física como se muestra en la Figura 3, no tienen valores altos del indicador de entorno urbano como Vitacura y Lo Barnechea, que tienen niveles de accesibilidad más bajos. Una posible explicación de esta situación es que cada una de las 35 comunas tiene su propio alcalde, presupuesto y regulaciones. Así, los altos ingresos pueden proporcionar mejor infraestructura y espacios públicos dado su presupuesto, creando diferencias en términos de entorno urbano dentro de la ciudad.

Este escenario crea la necesidad de asegurar un estándar mínimo para enfrentar la insatisfacción que existe en la población, donde más del 40% de los santiaguinos evalúan mal las calles, aceras y parques (MINVU, 2010). Para ello, el apoyo de la política, es decir, la mejora de la infraestructura y los servicios del peatón con la planificación y las guías de diseño desempeña un rol clave (Khisty, 1994; Krambeck & Shah, 2006). Estas mejoras podrían marcar la diferencia. Por ejemplo, un

estudio reciente de Fan et al. (2016) muestra que amenidades básicas, como asientos y techos en paradas de transporte público, disminuyen el tiempo de espera percibido.

Con respecto al tercer indicador propuesto, relacionado a la accesibilidad mediante transporte público considerando el nivel de servicio, se analizó la diferencia entre el tiempo generalizado percibido y el tiempo total de viaje objetivo. Esto permite observar el nivel de servicio que enfrenta una determinada zona: una mayor diferencia implica que la calidad de los atributos considerados en el viaje (tiempo de viaje, confiabilidad, tiempo de espera, comodidad y número de trasbordos) es peor, ya que cualquiera de estos elementos que no cumpla con lo esperado por el usuario aumenta su tiempo percibido.

En la Figura 5 es posible observar esta diferencia. El mapa muestra un bajo nivel de servicio principalmente en zonas periféricas, las que como se mencionó anteriormente, no poseen una buena conexión a paradas de transporte público y viven lejos del centro de actividades, enfrentando mayores tiempos de viaje. El mejor nivel de servicio se puede observar en torno a localidades que poseen estaciones de Metro cerca. En la Figura 5 se superponen las estaciones actuales de la red en Santiago en color azul y las proyectadas de las líneas 3 y 6 en verde, de modo de visualizar zonas que probablemente mejorarán su nivel de servicio en el corto plazo.

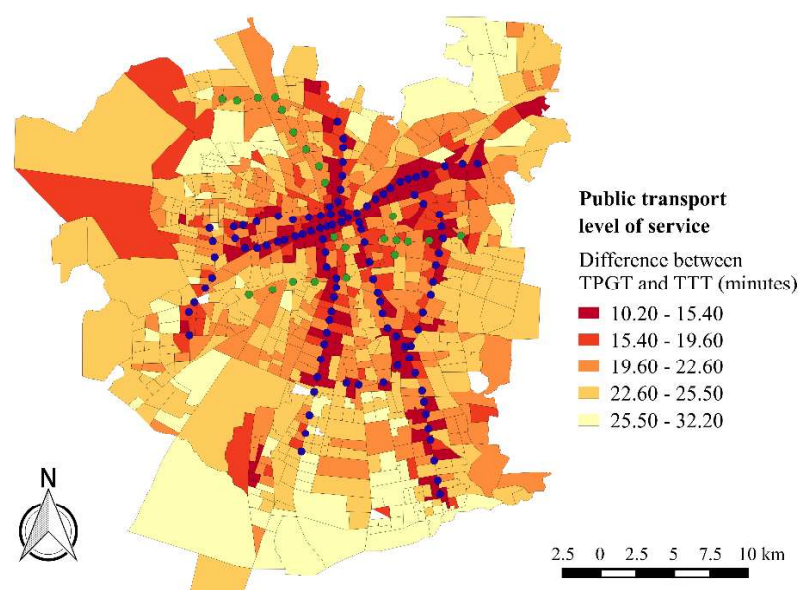


Figura 5. Diferencia entre el tiempo de viaje total y el tiempo generalizado percibido en minutos en Santiago (Fuente: Elaboración propia)

A pesar de esto, esta figura debe analizarse con cautela. Este mapa considera el efecto de todas las variables mencionadas en la sección 2.3 salvo el de la comodidad. Por lo mismo, se espera que a futuro que todas las zonas de la ciudad varíen su nivel de accesibilidad. En particular, se espera que las zonas con una buena conectividad a la línea 1 de Metro (color rojo oscuro) disminuyan su nivel de servicio por las condiciones de hacinamiento experimentadas durante la hora punta mañana. A modo de ejemplo, la Tabla 4 muestra la comodidad calculada para algunas de las estaciones de Metro críticas en términos de comodidad, lo que al incluirlo de manera definitiva dentro del tercer indicador, disminuirá el nivel de accesibilidad percibido por las personas.

Tabla 4. Densidad de pasajeros por metro cuadrado de la estación crítica de cada línea del sistema en horario punta mañana (7 a 9 horas) (Fuente: Elaboración propia en base a Metro S.A. (2015a))

Línea	Tramo	Densidad promedio (pax/m ²)
1	Los Héroes – La Moneda	5.95
2	Rondizzonni – Parque O’Higgins	5.64
4	Los Presidentes - Grecia	6.31
4A	Santa Julia – Vicuña Mackenna	5.04
5	Santa Isabel – Parque Bustamante	5.1

Por último, el análisis, luego de realizar una intersección entre los establecimientos educacionales y cada zona de Transantiago, se generó un mapa para ver la concentración y calidad de oportunidades educativas (Figura 6). No es posible observar un patrón en la ciudad claro ya que existen zonas que no poseen establecimientos educacionales y comunas con una heterogeneidad importante en su composición. Por lo mismo, será necesario vincular este indicador con el nivel de servicio que entrega el transporte público para acceder a los diversos establecimientos.

Lo que sí resulta claro es que el sector oriente de la ciudad no posee cobertura de este tipo de establecimientos. A pesar de ello, la Asociación de Municipalidades de Chile (AMUCH, 2016) reveló que Vitacura, Providencia, Lo Barnechea, Las Condes y La Reina (5 de las 6 comunas más ricas de Santiago) tienen la mejor calidad educativa considerando las pruebas estandarizadas SIMCE y PSU. Una de las razones principales es que el 54% de los estudiantes lo hace en escuelas privadas. Esta tipología escolar se asocia regularmente con una mejor calidad que los establecimientos subvencionados, que son el foco de este trabajo. La decisión de estudiar este tipo de establecimientos obedece al mismo criterio señalado en el primer indicador de accesibilidad: focalizarse en los sectores más vulnerables de la ciudad, que por lo general tienen menores oportunidades y en efecto estudian en colegios que no son de índole privada por la carga económica que esto implica.

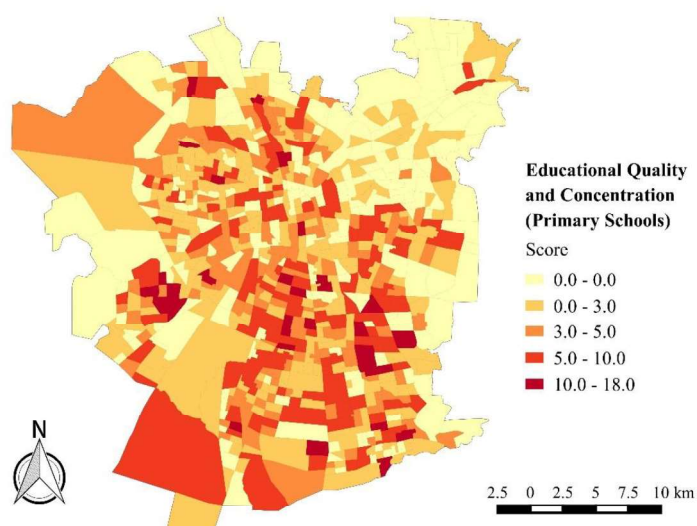


Figura 6. Concentración y calidad de los establecimientos educacionales primarios de Santiago (Fuente: Elaboración propia)

4. TRABAJO FUTURO

En primer lugar, la inclusión del elemento de comodidad en el tercer indicador será un aspecto clave para observar las reales diferencias en cuanto a nivel de servicio en la ciudad, ya que por ahora solo existe una intuición de que el mapa expuesto cambiará al observar la densidad de pasajeros que poseen estaciones críticas de Metro en horario punta mañana.

En segundo lugar, se debe completar el análisis del cuarto indicador relacionado a la concentración de actividades. Tal como se mencionó en la sección de metodología, la aplicación será sobre el caso educacional en Santiago y este indicador debe analizarse de manera combinada con el tercero, correspondiente al nivel de servicio de transporte público, de modo de analizar la facilidad con que es posible acceder a estas oportunidades educacionales.

En tercer lugar, interesa estudiar qué tipo de medidas tienen el mayor impacto en términos de costo y beneficio. Dado que el análisis de accesibilidad que se realiza en este trabajo cubre diversas dimensiones, se debe considerar además la factibilidad de determinadas intervenciones para mejorar la accesibilidad en zonas desaventajadas de Santiago. En esta línea, será posible determinar objetivos operacionales a las empresas operadoras de Transantiago con el objetivo de mejorar las condiciones de grupos específicos de población.

Por último, interesa poder considerar a futuro diversos tipos de usuarios en este tipo de medidas. La percepción de los atributos del nivel de servicio y las capacidades físicas de las personas pueden ser muy distintas, lo que puede cambiar profundamente los resultados obtenidos y expuestos en este trabajo. Así, será posible adaptar este análisis a grupos de población en particular, dimensionando la importancia de determinados atributos y focalizando la inversión en la ciudad.

5. AGRACEDIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de Bus Rapid Transit Centre of Excellence fundado por Volvo Research and Educational Foundations, el Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CONICYT/FONDAP 15110020) y el proyecto “AccesoBarrio” (Fondecyt 1150239).

6. REFERENCIAS

- AMUCH (2016). Calidad de la educación en las comunas de Chile. Disponible en: http://www.amuch.cl/pdf/estudio_calidad_de_la_educacion_2015.pdf
- Banister, D. (2006). Transport, urban form and economic growth. *Paper presented at the ECMT Regional Round Table 137*, Berkeley.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2), 73-80.
- Batarce, M., Muñoz, J. C., & de Dios Ortúzar, J. (2016). Valuing crowding in public transport: Implications for cost-benefit analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 358-378.
- Benenson, I., Martens, K., Rofé, Y., & Kwartler, A. (2011). Public transport versus private car GIS-based estimation of accessibility applied to the Tel Aviv metropolitan area. *The Annals of Regional Science*, 47(3), 499-515.
- BRT (2013). Benchmark Report that Compares Six Latin American Public Transport Systems. Database from Walking Distances. Full study report available at: <http://brt.cl/wp->

<content/uploads/2013/02/Estudio-comparativo-ciudades-latinoamericanas-Informe-Final-Anexo-2013-02-06.pdf>

- Cervero, R. & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199-219.
- Cervero, R., Round, A., Goldman, T., & Wu, K. L. (1995). Rail access modes and catchment areas for the BART system. University of California Transportation Center.
- Cheng, Y. H., & Chen, S. Y. (2015). Perceived accessibility, mobility, and connectivity of public transportation systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 386-403.
- Cooper, S., Wright, P., & Ball, R. (2009). Measuring the accessibility of opportunities and services in dense urban environments: Experiences from London. In European Transport Conference, 2009.
- Dalvi, M. Q., & Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation*, 5(1), 17-42.
- DTPM (2015). Intervalos de pasada de servicios de buses por puntos de control. Primer semestre, 2015.
- Ewing, R. & Cervero, R. (2001). Travel and the built environment: a synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1780, 87-114.
- Fan, Y., Guthrie, A., & Levinson, D. (2016). Waiting time perceptions at transit stops and stations: Effects of basic amenities, gender, and security. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 251-264.
- Fu, L., & Xin, Y. (2007). A new performance index for evaluating transit quality of service. *Journal of public transportation*, 10(3), 4.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., & Cardozo, O. D. (2013). Walking accessibility to public transport: an analysis based on microdata and GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(6), 1087-1102.
- Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport geography*, 12(2), 127-140.
- Gfk Adimark (2015). Segregation study in Santiago, Chile. Main results available at: <http://www.latercera.com/noticia/historia-de-dos-ciudades/>
- Guiver, J. W. (2007). Modal talk: discourse analysis of how people talk about bus and car travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 233-248.
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73-76.
- INE (2011). Precenso Nacional. Gobierno de Chile.
- Ingram, D.R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies* 5, 101-107.
- Khisty C. (1994). Evaluation of pedestrian facilities: beyond the level-of-service concept. *Transportation Research Record* 1438, 45-50.
- Kimpel, T. J., Dueker, K. J., & El-Geneidy, A. M. (2007). Using GIS to measure the effect of overlapping service areas on passenger boardings at bus stops. *Urban and Regional Information Systems Association Journal*, 19(1).
- Krambeck, H., & Shah, J. (2006). The global walkability index: talk the walk and walk the talk. *Better Air Quality Conference (BAQ)*.
- Landis, B., Vattikuti, V., Ottenburg, R., McLeod, D. & Guttenplan, M. (2001). Modeling the roadside environment: A pedestrian level of service. *Transp. Res. Record* 1773, pp 82-88.
- Lei, T.L., Church, R.L. (2010). Mapping transit-based access: integrating GIS, routes and schedules. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 24, 283-304.

- Litman, T. (2003). Measuring transportation: Traffic, mobility and accessibility. *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 73(10), 28.
- Lovett, A., Haynes, R., Sünnerberg, G., & Gale, S. (2002). Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS. *Social science & medicine*, 55(1), 97-111.
- Lucas, K. (2006). Providing transport for social inclusion within a framework for environmental justice in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(10), 801-809.
- Lucas, K., Mattioli, G., Verlinghieri, E., & Guzman, A. (2016). Transport poverty and its adverse social consequences. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (Vol. 169, No. 6, pp. 353-365). Thomas Telford (ICE Publishing).
- Mamun, M., & Lownes, N. E. (2011). A composite index of public transit accessibility. *Journal of Public Transportation*, 14(2), 4.
- Mamun, S. A., Lownes, N. E., Osleeb, J. P., & Bertolaccini, K. (2013). A method to define public transit opportunity space. *Journal of Transport Geography*, 28, 144-154.
- Marguier, P. H., & Ceder, A. (1984). Passenger waiting strategies for overlapping bus routes. *Transportation Science*, 18(3), 207-230.
- Martellato, D. & Nijkamp, P. (1998). The concept of accessibility revisited. In: *Reggiani, A. (Ed.), Accessibility, Trade and Locational Behaviour*. Ashgate, Brookfield.
- Martens, K. (2016). Transport justice: Designing fair transportation systems. Routledge.
- Martínez, L. M., & Viegas, J. M. (2013). A new approach to modelling distance-decay functions for accessibility assessment in transport studies. *Journal of Transport Geography*, 26, 87-96.
- Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T., & O'Sullivan, D. (2012). GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. *Journal of Transport Geography*, 20(1), 15-22.
- Metro S.A. (2015a). Resultados de CALDAS (Software interno de Metro para estimar carga de trenes). Abril, 2015.
- Metro S.A. (2015b). Intervalos de pasada de trenes durante Abril, 2015.
- MINEDUC (2015). Studies Center MINEDUC. Available at: <http://centroestudios.mineduc.cl/index.php?t=96&i=2&cc=2036&tm=2>
- MINEDUC (2017). SNED General Description. Available at: <https://www.ayudamineduc.cl/ficha/descripcion-general-sned>
- MINVU (2010). Encuesta de Percepción de Calidad de Vida Urbana. Adimark GfK y Comisión Asesora de Estudios Habitacionales y Urbanos. Gobierno de Chile.
- Munizaga, M. A., & Palma, C. (2012). Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin-Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, 9-18.
- Pacione, M. (1989). Access to urban services—the case of secondary schools in Glasgow. *The Scottish Geographical Magazine*, 105(1), 12-18.
- Páez, A., Scott, D. & Morency, C. (2012). Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators. *Journal of Transp. Geography* 25, 141-153.
- Raveau, S., Guo, Z., Muñoz, J. C., & Wilson, N. H. (2014). A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 66, 185-195.
- Raveau, S., Prato, C., Soto, A., Tamblay, S. & Iglesias, P. (2017) A Behavioural Planning Tool for Modelling Public Transport Systems. TransitData 2017, Santiago, Chile.
- Sánchez, T.W., Shen, Q., Peng, Z.-R. (2004). Transit mobility, jobs access and low income labour participation in US metropolitan areas. *Urban Studies* 41, 1313–1331.

- SECTRA (2015). Encuesta Origen – Destino de Santiago. Coordinación de Planificación y Desarrollo, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Gobierno de Chile.
- Steer Davies Gleave (1997). Transport Quality and Values of Travel Time. Prepared for TRENEN II STRAN, Trinity College Dublin.
- Tilahun, N., & Li, M. (2015). Walking Access to Transit Stations: Evaluating Barriers Using Stated Preference. In Transportation Research Board 94th Annual Meeting (No. 15-5667).
- Tilahun, N., & Li, M. (2015). Walking access to transit stations: evaluating barriers with stated preference. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2534, 16-23.
- Tirachini, A., Hensher, D. A., & Rose, J. M. (2013). Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transportation research part A: policy and practice*, 53, 36-52.
- Wardman, M. (1998). The value of travel time: a review of British evidence. *Journal of transport economics and policy*, 285-316.
- Wardman, M. (2001). A review of British evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2), 107-128.
- Weber, J. (2003). Individual accessibility and distance from major employment centers: an examination using space–time measures. *Journal of Geographical Systems* 5, 51–70.
- Yang, D. H., Goerge, R., & Mullner, R. (2006). Comparing GIS-based methods of measuring spatial accessibility to health services. *Journal of medical systems*, 30(1), 23-32.
- Zhao, F., Chow, L., Li, M., Ubaka, I., Gan, A., 2003. Forecasting transit walk accessibility: regression model alternative to the buffer method. *Transp. Research Record* 1835, 34–41.