

Un indicador de accesibilidad para evaluar la localización de proyectos de vivienda social

Ricardo Hurtubia,
Departamento de Urbanismo, Universidad de Chile, rhurtubia@fau.uchile.cl

ABSTRACT

Se propone un método para calcular medidas de acceso de manera simple, que puedan ser utilizadas en la evaluación de localizaciones para vivienda social en un área urbana completa. El instrumento propuesto permite calcular accesibilidades para distintas actividades o propósitos y modos de transporte, tomando en cuenta distintos límites para las distancias o tiempos de viaje máximos deseables. La intensidad de una actividad o número de oportunidades disponibles en todos los destinos posibles es considerada en el cálculo. Indicadores de accesibilidad se calculan para la ciudad de Santiago y se analizan las ventajas y limitaciones del método propuesto.

Palabras claves: Accesibilidad, vivienda social, localización

ABSTRACT

A method to compute a simple accessibility indicator that can be mapped for a complete city and used to evaluate the quality of different possible locations for social housing projects is proposed. The indicator can be computed for different modes and purposes or types of destinations, with different values of maximum acceptable travel time. The intensity or number of opportunities to perform an activity in each and every destination is also considered in the indicator. Access indicators are computed for the city of Santiago and the proposed method is analyzed in terms of its advantages and limitations

Keywords: Accesibility, housing, location

1 INTRODUCCIÓN

La accesibilidad es un indicador fundamental de la calidad del entorno urbano, pues explica la facilidad o dificultad con que los individuos habitando una localización particular pueden acceder a diferentes oportunidades de actividades que, potencialmente, producen utilidad al ser realizadas.

Existe evidencia de que la accesibilidad (o más bien la falta de ella) puede ser una variable explicativa relevante de fenómenos como la exclusión social o la segregación socioeconómica excesiva (Church et al., 2000; Unit S.E., 2002; Lucas, 2004). Esto viene dado por la dificultad para acceder a la oferta laboral o cultural para los individuos localizados en zonas de baja accesibilidad, los que generalmente pertenecen a segmentos socioeconómicos más vulnerables y de menores ingresos.

Producto de lo anterior, hace sentido considerar la accesibilidad de un lugar (barrio, manzana o predio) al momento de evaluarlo como posible localización de vivienda social. Si se persigue el objetivo de generar mejores condiciones de calidad de vida y disminuir la brecha socioeconómica, la vivienda social debería garantizar un nivel de acceso mínimo a ciertas fuentes de actividad y/o facilidades urbanas. De manera similar, ante la disyuntiva de construir entre diversos lotes candidatos a localización de vivienda social, se debería privilegiar, *ceteris paribus*, a aquellos que proporcionen mayor accesibilidad. La situación actual en Chile considera principalmente variables relacionadas con la factibilidad económica del proyecto (principalmente valor del suelo) junto a algunos indicadores de presencia de infraestructura o facilidades clave (colegios, consultorios, abastecimiento) a una distancia máxima, pero no se consideran medidas integrales de accesibilidad que distingan entre propósitos, modos de transporte involucrados y que tome en cuenta todas las oportunidades de actividad y beneficios distribuidos en el espacio urbano. Esto ha facilitado la decisión de construir conjuntos de vivienda social en localizaciones que están (tanto espacial como socialmente) segregadas, acentuando las dificultades típicas de este tipo de conjunto habitacional.

Adicionalmente, La sustentabilidad de un sistema urbano, tanto económica como ambiental o social, se encuentra también relacionada con los niveles de accesibilidad que se observan en él. Por ejemplo, ciudades más densas, y por lo tanto con mayor accesibilidad en modos no motorizados, son más sustentables desde el punto de vista del transporte de objetos o personas gracias a la posibilidad de realizar viajes más cortos que consumen menos recursos y generan menos externalidades. Sin embargo, la misma condición de alta densidad se puede ver asociada con mayor insatisfacción con los barrios por parte de los usuarios y con externalidades negativas como mayores tasas de criminalidad, suciedad, intrusión visual, etc. (Bramley y Power, 2009). Es por esto que la accesibilidad, como indicador de la calidad urbana, debe ser utilizada de manera cuidadosa e idealmente en conjunto con otros indicadores que se hagan cargo de los efectos ya mencionados.

Este artículo propone una métrica de accesibilidad que pueda ser utilizada para la evaluar la calidad de cualquier localización dentro de una ciudad, pero especialmente la localización de vivienda social. El indicador propuesto trata de ser fácil de implementar en el contexto chileno, donde muchas veces la información disponible es escasa o poco actualizada. Adicionalmente, el indicador trata de ajustarse a los criterios usualmente considerados por las autoridades a cargo de este tipo de decisiones.

El artículo está organizado de la siguiente forma: La Sección 2 revisa las definiciones conceptuales y operativas de accesibilidad que se encuentran en la literatura. La Sección 3 analiza el contexto Chileno y las medidas de acceso actualmente consideradas al evaluar la construcción de vivienda social. La sección 4 propone un método de cálculo de medidas de acceso que es aplicado a la ciudad de Santiago de Chile en la sección 5. Finalmente la Sección 6 concluye el artículo y discute los alcances y limitaciones de la metodología propuesta.

2 DEFINICIONES DE ACCESIBILIDAD

A pesar de ser un concepto ampliamente utilizado en diversas disciplinas, no existe un consenso sobre una definición única de accesibilidad. Este trabajo se aboca en parte a analizar las diferentes definiciones y métodos de cálculo existentes en la literatura, con el fin de identificar aquellos que se adecuan mejor a la realidad del contexto chileno, las bases de datos disponibles y a los objetivos del problema en cuestión.

La accesibilidad ha sido definida desde distintos enfoques conceptuales y técnicos en el contexto de diversas disciplinas. Una de las primeras definiciones viene dada por Hansen (1959) como “el potencial de oportunidades de interacción” entre individuos en un territorio. Dalvi y Martin (1976) la definieron como “la facilidad con que cualquier actividad o uso de suelo puede ser alcanzado desde una localización utilizando un sistema de transporte particular”. Utilizando un enfoque más cualitativo, Burns (1979) la define como “la libertad de los individuos de decidir participar o no en diferentes actividades”.

Desde la economía y la ingeniería de transporte aparecen definiciones más técnicas, pero al mismo tiempo más robustas y cuantitativas desde el punto de vista de las metodologías para la medición de las variables involucradas. Por ejemplo Ben-Akiva y Lerman (1979) definen accesibilidad como “el beneficio entregado por un sistema de transporte y uso de suelo”, entendiendo que el beneficio es medible a través de funciones de utilidad que explican las decisiones de los individuos desenvolviéndose en dichos sistemas. Siguiendo una lógica similar, Martínez (1995) la define como “el beneficio económico derivado de la interacción (contacto) entre dos actividades”, poniendo énfasis en que dicho beneficio debe considerar al menos dos componentes: el beneficio directo de realizar la actividad (o del contacto entre actividades) y el costo o des-utilidad producto de los costos de transporte asociados a dicho contacto. Una definición similar, que de cierta manera rescata aspectos de varias previamente citadas, viene dada por Geurs y van Wee (2004) que entienden accesibilidad como “la medida en que el sistema de transporte y uso de suelo permite a (grupos de) individuos o bienes llegar a actividades o destinos mediante un modo (o combinación de modos) de transporte”. Adicionalmente, Geurs y van Wee identifican cuatro componentes independientes que determinan a la accesibilidad. Estos son:

- a) El transporte: sistema de transporte o modos existentes en la región en cuestión y el nivel de servicio con el que operan.
- b) El uso del suelo: la cantidad, calidad y características de las (oportunidades de) actividades que se pueden encontrar en cada localización.
- c) El tiempo: como recurso necesario tanto para desarrollar las actividades como para llegar a ellas (tiempo de viaje)

- d) Los individuos: los agentes que desarrollan actividades y que viajan dentro de un sistema urbano o un territorio. En particular se caracterizan por sus necesidades, habilidades y oportunidades (además de sus atributos socioeconómicos)

La descomposición en componentes resulta útil para el análisis del presente estudio ya que permitirá identificar qué aspectos son más relevantes a considerar dado el problema que se analiza. Por ejemplo, el acceso a diferentes modos de transporte varía notablemente entre diversos grupos socioeconómicos. Hogares de menores ingresos tienen menor posibilidad de acceder a un automóvil y alta probabilidad de estar cautivos en el transporte público o en modos no motorizados como la bicicleta o la caminata. Es por esto que, si se busca evaluar la calidad de una localización donde se pretende construir vivienda social, es preferible descomponer las accesibilidades por modo y asignar distintas relevancias a cada uno.

De manera similar, los diferentes tipos de actividades que se pueden realizar en cada destino tendrán relevancias distintas según el nivel socioeconómico de los hogares o el tipo de problema que se esté analizando. En particular, se pueden identificar actividades de primera necesidad (salud, educación, abastecimiento y servicios básicos) y actividades de carácter secundario (retail de bienes durables, entretenimiento y algunos tipos de servicio).

Finalmente, es importante mencionar la posibilidad de incorporar la accesibilidad a las redes de contacto personales (Carrasco et al., 2009) como una variable fundamental en la toma de decisiones y el bienestar de los individuos, pero que es habitualmente ignorada en las definiciones de accesibilidad tradicionales.

2.1 Medición de la accesibilidad

La literatura reporta diversos mecanismos y dimensiones que pueden ser utilizados a la hora de construir una medida de acceso. Se distinguen principalmente el foco o sujeto de la medida de acceso, el nivel de agregación espacial y el tratamiento del tiempo de viaje.

Geurs y Van Wee (2004) distinguen entre distintas medidas de acceso según el **foco o sujeto** para el que se hace la medición. Por ejemplo existen medidas de acceso basadas en infraestructura, midiendo su rendimiento o nivel de servicio (por ejemplo tiempos de viaje promedio en una red). Otras medidas de acceso se basan en las actividades y como se distribuyen espacialmente mientras que otras se enfocan en agentes individuales, midiendo los límites y oportunidades que enfrenta cada individuo en su movilidad. Existen también medidas de acceso que se concentran exclusivamente en el beneficio económico del acceso a las actividades que se encuentran distribuidas en el espacio.

Morris (1979) distingue dos niveles posibles de **agregación espacial**. Por un lado las accesibilidades relativas miden el grado de conexión entre dos puntos específicos. Son un indicador del esfuerzo necesario para realizar un viaje y el beneficio específico asociado a la actividad desarrollada en el destino. Alternativamente, las accesibilidades integrales miden la relación o grado de interconexión entre un punto y un subconjunto de puntos aglomerados en una unidad espacial. Son un indicador agregado del costo y del total de oportunidades de realizar actividades.

El tratamiento del **tiempo de viaje** es quizás la dimensión donde más diversidad de mecanismos y enfoques de medición se observan. Por ejemplo, Handy y Niemeier (1997) distinguen entre las accesibilidades isócronas, que miden las destinaciones posibles de visitar en un tiempo fijo desde un origen y las accesibilidades basadas en gravedad, que consideran todas las destinaciones posibles pero con una accesibilidad inversamente proporcional a los tiempo (o costos generalizados) de viaje. Vandenbulcke et al. (2009) mencionan el posible uso de tiempos de viajes críticos como variables discretas que indican si una actividad específica (típicamente de primera necesidad) es alcanzable en un tiempo de viaje que se considera como el máximo aceptable. Un ejemplo de esto es el tiempo de viaje al hospital más cercano que, en caso de urgencias, debe poder ser realizado en un tiempo de viaje tal que la vida del paciente no esté en riesgo. Otra posibilidad es medir la accesibilidad a conjuntos de destinaciones específicas de relevancia crítica, como por ejemplo estaciones de tren o infraestructura de transporte público (ver Figura 1). Es también posible distinguir entre tiempos de viaje según modo de transporte o utilizar medidas que agreguen y de alguna forma promedien los tiempos de viaje de todos los modos disponibles. Este último aspecto es de particular relevancia si se pretende analizar la accesibilidad para distintos grupos socioeconómicos donde la disponibilidad o preferencias de modos de transporte son variables.

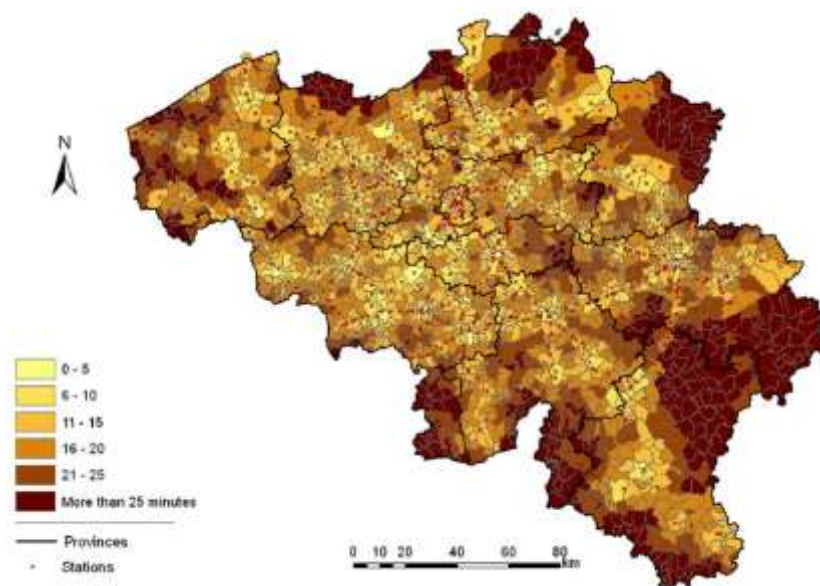


Figura 1. Promedio zonal del tiempo de viaje a la estación de trenes más cercana (Bélgica, 2001).
Fuente: (Vandenbulcke et al., 2009)

2.2 Modelos de transporte

A partir de modelos de transporte previamente implementados y calibrados, como por ejemplo ESTRAUS (de Cea et al., 2003), para el caso de Santiago, o MATSim (Rieser et al., 2007) se pueden construir medidas de acceso basadas en utilidades. Un ejemplo de esto se presenta en la Figura 2 para el caso de MATSim aplicado a una macroarea alrededor de la ciudad de Bruselas. En este caso las medidas de acceso son calculadas a partir de los tiempos de viaje en automóvil desde el hogar al lugar de trabajo de cada agente individual y agregadas por zona de análisis (Nicolai y Nagel, 2011). En la figura se presentan las medidas de acceso para todos los agentes pero es posible

desagregar por grupos socioeconómicos. La ventaja de este tipo de medida es que, al depender de los viajes realizados, se evita la sobreestimación de la accesibilidad cuando, por ejemplo, un tipo de actividad es altamente accesible en una región pero de baja relevancia para un subconjunto significativo de individuos localizados en ella.

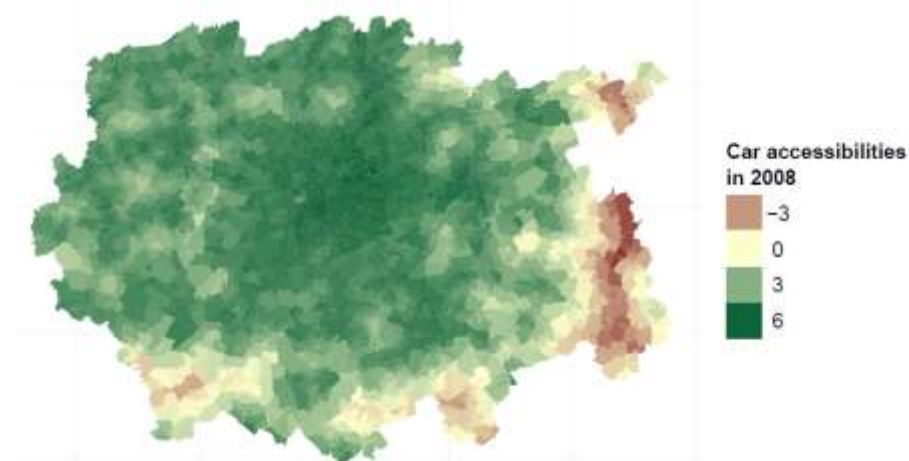


Figura 2: Accesibilidades obtenidas a partir de una micro-simulación del sistema de transporte de Bruselas (2008), utilizando el microsimulador MATSim.
Fuente: Resultados preliminares del proyecto SustainCity¹

Un caso similar son las medidas de acceso obtenidas a partir del modelo de transporte ESTRAUS, aplicado a Santiago y para el que se muestran las accesibilidades en la Figura 3. En este caso la accesibilidad es calculada como el beneficio a los usuarios del sistema de transporte a partir de los parámetros del sub-modelo de distribución de viajes y el número de viajes por modo, propósito y nivel de ingreso predicho por el modelo general². En la Figura 3 se muestran los resultados (agregados para todos los propósitos) para hogares de ingreso bajo sin acceso al automóvil (izquierda) y hogares de ingreso alto con automóvil (derecha), en ambas figuras el color azul indica una accesibilidad baja mientras el rojo indica alta accesibilidad.

En general las medidas de acceso provenientes de modelos de transporte presentan la ventaja de poseer un potencial carácter predictivo, lo que resulta fundamental si se quiere evaluar un proyecto de desarrollo urbano inexistente. Sin embargo, el cálculo de este tipo de medidas de acceso se ve restringido solo al pequeño subconjunto de ciudades donde un modelo de transporte se ha implementado y validado completamente. Adicionalmente, la calibración y ejecución de un modelo de transporte es costosa, por lo que no siempre se dispone de versiones actualizadas.

¹ Proyecto de investigación financiado por la Comunidad Europea para la modelación del sistema de transporte y uso de suelo en ciudades Europeas (www.sustaincity.org)

² Las medidas de acceso en este caso son calculadas de la manera propuesta por Martínez (1995)

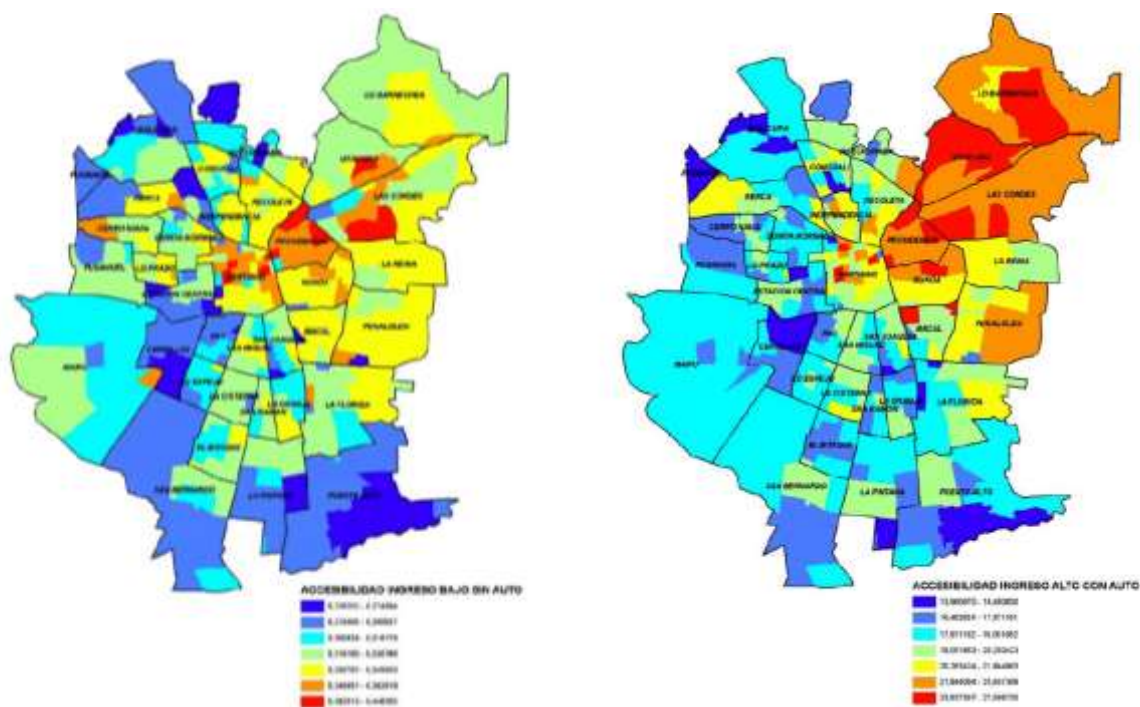


Figura 3: Accesibilidad en la ciudad de Santiago (2002) para hogares de ingreso bajo sin auto (izquierda) e ingreso alto con auto (derecha), calculadas a partir de una simulación ESTRAUS.
Fuente: MIDEPLAN-SECTRA (2008)

3 CONTEXTO CHILENO

El problema de la localización de vivienda social en Chile considera medidas isócronas a destinaciones específicas. En particular, los requerimientos actuales que debe tener un predio para recibir el subsidio a la localización son (MINVU, 2005):

- Contar con acceso a transporte público a una distancia recorrible peatonalmente no mayor a 500 metros, certificado por el Departamento de Tránsito Municipal.
- Estar ubicados a una distancia, recorrible peatonalmente no mayor de 1.000 m., de establecimientos de educación prebásica y básica, certificando cada establecimiento la disponibilidad de matrículas.
- Estar ubicados a una distancia, recorrible peatonalmente, no mayor de 2.500 m., de un establecimiento de salud primaria.

Los requisitos mínimos de accesibilidad actuales ignoran actividades relevantes como el abastecimiento o el uso de áreas verdes. Al mismo tiempo, sólo se toma en cuenta la presencia de establecimientos, ignorando el efecto del tamaño o cantidad de establecimientos o de la intensidad o calidad de la actividad. Adicionalmente, el uso de medidas isócronas fuerza a un tratamiento discreto del espacio que no es el más adecuado ya que, por ejemplo, ignora el potencial beneficio que producirían actividades localizadas más allá del tiempo de viaje límite definido. Muchas veces lo anterior se justifica por la escasez de información georreferenciada de la localización de

establecimientos por tipo, sin embargo la disponibilidad de herramientas SIG y repositorios de bases de datos espaciales mantenidas por organismo gubernamentales cambian este panorama.

A partir de lo anterior, y tomando en cuenta las definiciones de accesibilidad recogidas de la literatura se determina que una medida de acceso para evaluar la localización de vivienda social en el contexto chileno debería:

- Adaptarse a la información disponible.
- Distinguir entre modos de transporte
- Expandir los propósitos o tipos de actividad a considerar.
- Considerar el beneficio potencial de todos los destinos posibles donde realizar actividades
- Considerar las distancias máximas o deseables sin ignorar el efecto de actividades localizadas más allá de las mismas

4 METODOLOGÍA PROPUESTA

Se propone una formulación de medida de acceso basada en la probabilidad de realizar una actividad en un destino determinado, como función de la (des)utilidad percibida por realizarla en ese lugar. La utilidad se construye como una función de la distancia o tiempo de viaje entre el origen y el destino (d_{ij}), manejando como referencia una distancia optima o deseable (D). Asumiendo un error estocástico con distribución Gumbel ($0, \mu$) la probabilidad de realizar la actividad en el destino j , localizado a una distancia d_{ij} del origen i se puede interpretar como una probabilidad de elección discreta (Domencich y McFadden, 1975; Ben-Akiva y Lerman, 1984) que en su forma más habitual se expresa como un logit multinomial de la forma:

$$P_{j|i} = \frac{\exp(-\mu d_{ij})}{\exp(-\mu d_{ij}) + \exp(-\mu D)} \quad (1)$$

Que puede simplificarse en la expresión:

$$P_{j|i} = \frac{1}{1 + \exp(\mu(d_{ij} - D))} \quad (2)$$

A partir de la ecuación (2) y con el fin de generalizar para considerar distintos propósitos y todos los destinos posibles ajustados por la cantidad de oportunidades de actividad que ofrecen, se propone la siguiente ecuación para definir la accesibilidad de un punto i en el espacio con respecto a todos los posibles destinos (j) dentro del área de estudio:

$$ACC_{mpi} = \sum_j \frac{N_{pj}}{1 + \exp(\mu(d_{mij} - D_{pm})) \frac{1-\sigma}{\sigma}} \quad (3)$$

Donde

- i : punto de origen (normalmente la localización residencial)
- j : punto de destino
- m : modo de transporte
- p : propósito o tipo de actividad
- d_{mij} : distancia (o tiempo de viaje) entre origen i y destino j en el modo m
- D_{pm} : distancia o tiempo de viaje óptimo (deseable o de referencia), hasta donde la actividad tipo p es visitable sin pérdida de beneficio o utilidad cuando se accede a ella en el modo m
- σ : Es un parámetro de corrección que define el valor de la probabilidad de acceder (P_{ij}) cuando el destino esta exactamente a la distancia óptima ($d_{mij} = D_{pm}$)
- ω : factor de escala
- N_{pj} : Intensidad de oportunidades para el propósito o actividad p en el destino j (por ejemplo número de matrículas)

La formulación propuesta por la ecuación (3) es similar a la del modelo Constrained Multinomial Logit (Martínez et al., 2009) donde la utilidad de una alternativa se vuelve no compensatoria cuando un atributo supera un umbral de referencia. En ese sentido, la distancia óptima se puede interpretar como aquella para la que el destino se considera absolutamente accesible. Pasada la distancia optima la accesibilidad decae (con velocidad definida por el factor de escala ω). A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra la accesibilidad para un par origen-destino y propósito cualquiera, considerando una distancia óptima de 600 metros con factor de escala $\omega = 10$, $\sigma = 95\%$ y $N_{pj} = 1$.

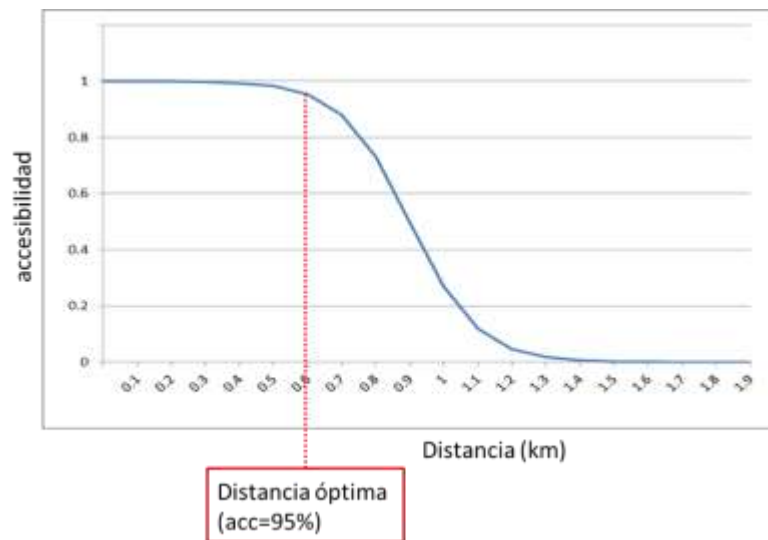


Figura 4: Decaimiento de la accesibilidad con la distancia
Fuente: elaboración propia

En la Figura 4, una vez superada la distancia óptima, la accesibilidad decae rápidamente hasta volverse (prácticamente) nula. El factor de escala fue seleccionado especialmente para dar un valor de accesibilidad relativamente bajo cuando la distancia alcanzara los 1200 metros, lo que se interpreta como la distancia máxima razonable para considerar el destino como un lugar factible para realizar la actividad.

La metodología propuesta tiene la ventaja de ser altamente flexible pues:

- Al definir medidas específicas por tipo de actividad permite calcular accesibilidades para aquellos propósitos para los que se posee información. Si una base de datos describiendo la presencia de un uso de suelo en particular no se encuentra disponible, de igual manera se podrán estimar medidas para aquellos que se encuentren disponibles. Esto asegura una portabilidad (al menos parcial) del instrumento a todas las ciudades del territorio para las que se disponga de algún nivel de información.
- Permite calcular accesibilidades que toman en cuenta la calidad o cantidad de las oportunidades en el destino (N_{pj}), dependiendo de la información disponible. Mejor información permite el cálculo de medidas de acceso más detalladas.
- Permite el uso de tiempos de viaje o de distancias con distintos niveles de verosimilitud. Si un modelo de transporte se encuentra disponible, los tiempos de viaje entre pares OD pueden ser estimados y alimentar directamente la ecuación. Si no hay modelo de transporte disponible se pueden asumir un tiempo de viaje promedio por modo y calcular los tiempos de viaje sobre la red. Incluso en el escenario más desfavorable (falta de información sobre la estructura de la red de transporte) la ecuación permite el uso de distancias euclidianas. Claramente a menor información peor la estimación de la accesibilidad, pero la flexibilidad de la herramienta asegura la factibilidad hasta en el peor de los casos. En el caso de ciudades con fuertes pendientes que afecten las velocidades (o el esfuerzo) del desplazamiento a pie, será necesario incorporar la información topográfica de las pendientes y asumir velocidades menores en función de mayores pendientes.
- Permite definir distancias (o tiempos de viaje) óptimas o tolerables para cada modo y cada propósito. Esto asegura que el analista pueda modificar los parámetros según lo que la normativa o la evidencia empírica determine como distancia o tiempo de viaje razonable. De igual manera el factor de escala (ω) permite determinar la distancia máxima siguiendo los lineamientos que el analista determine.

5 APLICACIÓN A SANTIAGO

La medida de acceso descrita por la ecuación (3) es calculada para la ciudad de Santiago de Chile para los modos de caminata y transporte público, ya que son los más relevantes al evaluar la localización de vivienda social. Dadas las bases de datos disponibles las medidas se calculan adicionalmente para las siguientes actividades o propósitos de viaje:

- Educación (establecimientos municipales y subvencionados)
- Salud (atención primaria, SAPUS)
- Abastecimiento (supermercados y ferias libres)
- Esparcimiento (áreas verdes)

Para cada uno de los propósitos se dispuso de una base de datos³ georreferenciada indicando localización de los establecimientos y un atributo descriptor de la intensidad del uso del suelo de la actividad (ver Tabla 1)

Tabla 1. Medidas de intensidad del uso del suelo utilizadas

Propósito del viaje	Medida de intensidad del uso del suelo (N_{pj})
Salud primaria	Número de establecimientos por celda
Abastecimiento (Supermercados y ferias)	Número de establecimientos por celda
Visita a área verde	Superficie destinada a área verde consolidada por celda
Educación	Número de matrículas por celda

Adicionalmente se recopilaron las redes de transporte público y la red de calles, avenidas y autopista de la ciudad, que fueron utilizadas para calcular las distancias en transporte público y caminata respectivamente.

Dado que las medidas de acceso deben ser calculadas para cada posible origen y considerando todos los posibles destinos, se considera una subdivisión del espacio en celdas y se calculan las distancias entre todos y cada uno de los centroides de las celdas, utilizando una herramienta SIG. Celdas más pequeñas permitirán un análisis más detallado pero, al mismo tiempo, producirán una matriz de distancia mucho más grande y compleja de calcular. En el presente caso de estudio, se optó por utilizar celdas de 500x500 metros para asegurar factibilidad del cálculo de la matriz de distancias OD. Esto genera un vector de más de 3800 distancias entre orígenes y destinos (d_{ij}). Las distancias son calculadas de manera independiente para cada modo pues se considera que el modo caminata puede utilizar la red vial completa mientras que el modo transporte público solo puede desplazarse por la red definida por sus recorridos.

³ Provista por el ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile (MINVU)

Las distancias óptimas y máximas son distintas entre modos y por propósito y pueden variar también según la geografía de la ciudad (no es lo mismo caminar en plano que con pendiente). Las siguientes tablas resumen las distancias consideradas en el caso de estudio de Santiago, que fueron determinadas de manera preliminar (para testear la herramienta) por un panel de expertos.

Tabla 2: Distancias óptimas y máximas por modo

Propósito del viaje	Caminata		Transporte público	
	Óptima (m)	Máxima (m)	Óptima (m)	Máxima (m)
Salud primaria	600	2500	800	8000
Abastecimiento (Supermercados y ferias)	600	1200	800	8000
Visita a área verde	600	1200	800	8000
Educación	600	1000	800	8000

5.1 Resultados

Los resultados de la aplicación de la metodología se observan, para algunos propósitos y modos seleccionados, en las siguientes figuras. Para facilitar la comparación, los valores de accesibilidad son normalizados por el máximo. Se debe entender entonces que las figuras muestran la variación relativa de accesibilidad dentro del espacio estudiado, siendo 1 el valor máximo y 0 el mínimo. En general se puede interpretar que colores fríos indican una buena accesibilidad relativa (o buen ranking de accesibilidad) mientras que colores cálidos indican lo contrario.

En la Figura 5 se observa una accesibilidad relativamente buena a establecimientos de salud primaria mediante caminata en toda el área de estudio. Sin embargo existen islas de bajo acceso, incluso en zonas céntricas mientras que, en general, las zonas periféricas presentan bajo acceso. Esto se debe a que el modo caminata considera distancias cortas, lo que deja a muchas celdas con accesibilidad nula o muy baja al no tener ningún establecimiento a menos de 2.5 km de distancia. El sector nor-oriente posee baja accesibilidad a salud pública primaria debido a la escasa presencia de consultorios y SAPUS en esas comunas. A diferencia del caso anterior, la accesibilidad a salud por transporte público es generalmente buena en toda el área de estudio. El incremento de la accesibilidad hacia el centro es producto tanto de la presencia de establecimientos cercanos pero principalmente por la mayor irrigación de redes de transporte público en dicha zona. La accesibilidad tiende a ser más alta al poniente y al sur-poniente.

La accesibilidad a áreas verdes (Figura 6) en modo caminata se encuentra fuertemente dominada por las zonas cercanas a los grandes parques metropolitanos. Esto es producto del uso de la superficie como indicador de la intensidad del uso, la cercanía a parques de mayor tamaño resulta un factor de alta significancia en el valor relativo final de la accesibilidad. La accesibilidad a áreas verdes en transporte público es más homogénea pero de todas maneras mayor en zonas centrales con una tendencia a ser mayor en el eje poniente-oriente. La zona de peor accesibilidad relativa es el sector sur-poniente de Santiago.

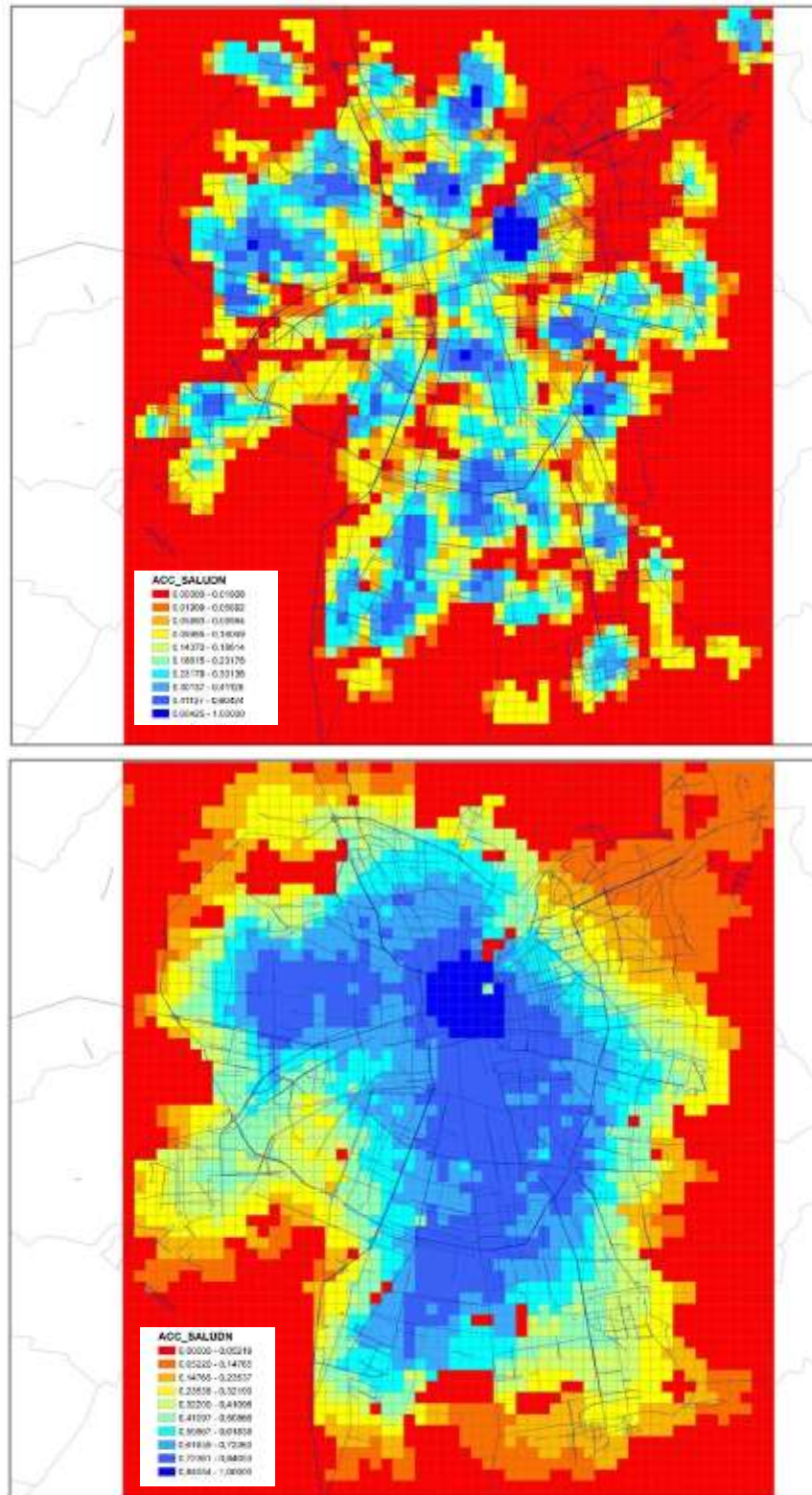


Figura 5: Accesibilidad a salud (consultorios) en modo caminata (arriba) y en transporte público (abajo)

Fuente: Elaboración propia.

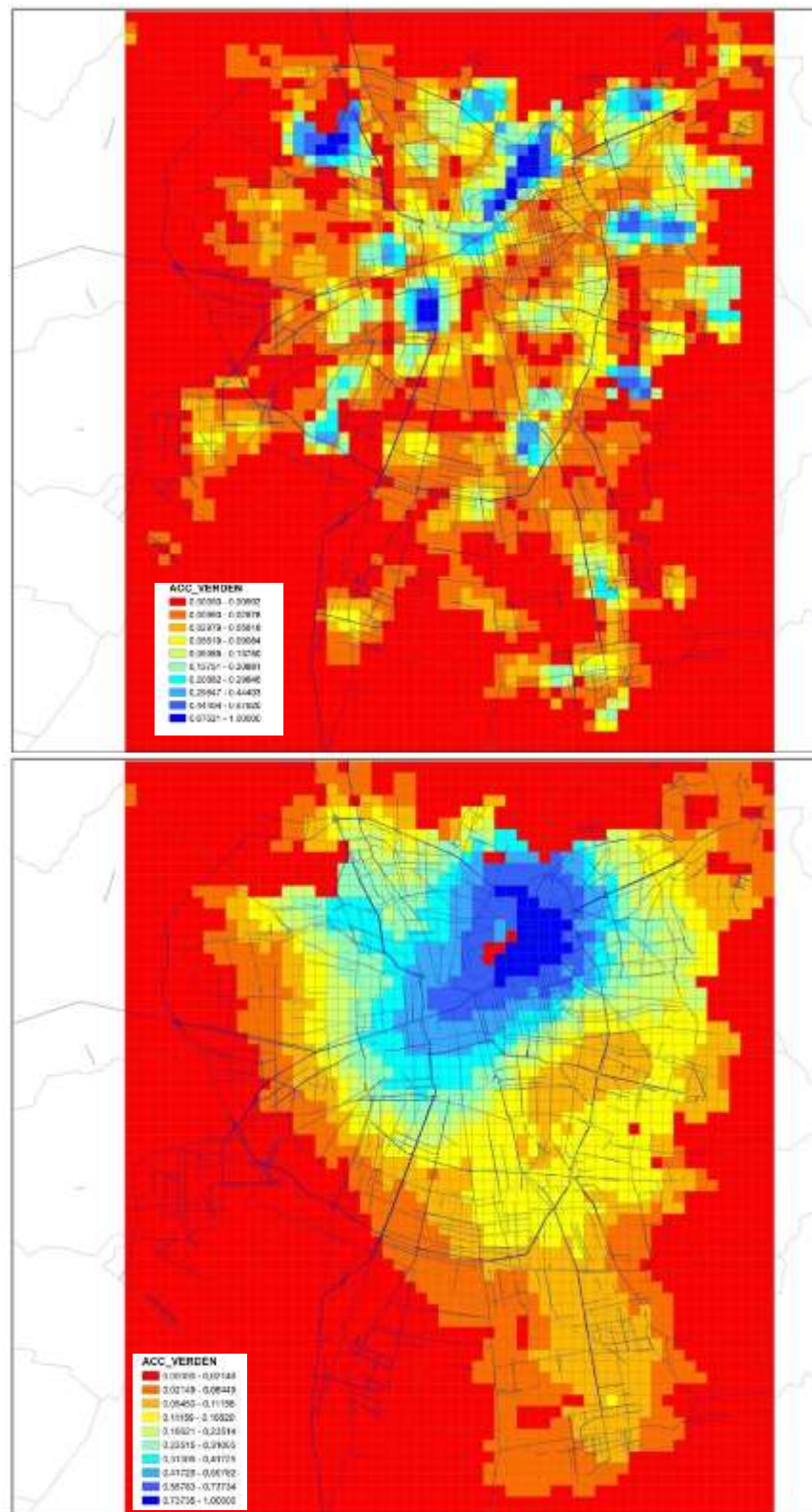


Figura 6: Accesibilidad áreas verdes en modo caminata (arriba) y en transporte público (abajo)
Fuente: Elaboración propia.

5.2 Generación del indicador agregado de accesibilidad

Evaluar cada potencial localización requiere de un valor único de accesibilidad para realizar una comparación. Dado que todos los indicadores de accesibilidad por modo y propósito presentados previamente se encuentran normalizados, es posible construir el indicador agregado como un promedio ponderado de todos ellos. De esta forma, la accesibilidad agregada para cada celda i , viene dada por:

$$ACC_i = \sum_{pm} \beta_{pm} \cdot ACC_{mpi} \quad (4)$$

Donde β_{pm} es la relevancia o peso relativo del propósito p y el modo m . Se debe asegurar que:

$$\sum_{pm} \beta_{pm} = 1 \quad (5)$$

A modo de ejemplo, en el caso de Santiago se asumió equi-proporcionalidad para cada una de los propósitos principales de la accesibilidad. Se usan estos pesos (los más simples posibles) solo para demostrar la forma de computar el indicador. Se asume que el analista determinará pesos específicos en función del objetivo de la evaluación o que se utilizarán métodos de análisis multi-criterio (Nijkamp, 1975; Hinloopen & Nijkamp, 1990) para determinar la relevancia relativa de cada combinación de propósito y modo. El resultado final del indicador agregado se muestra en la figura 7

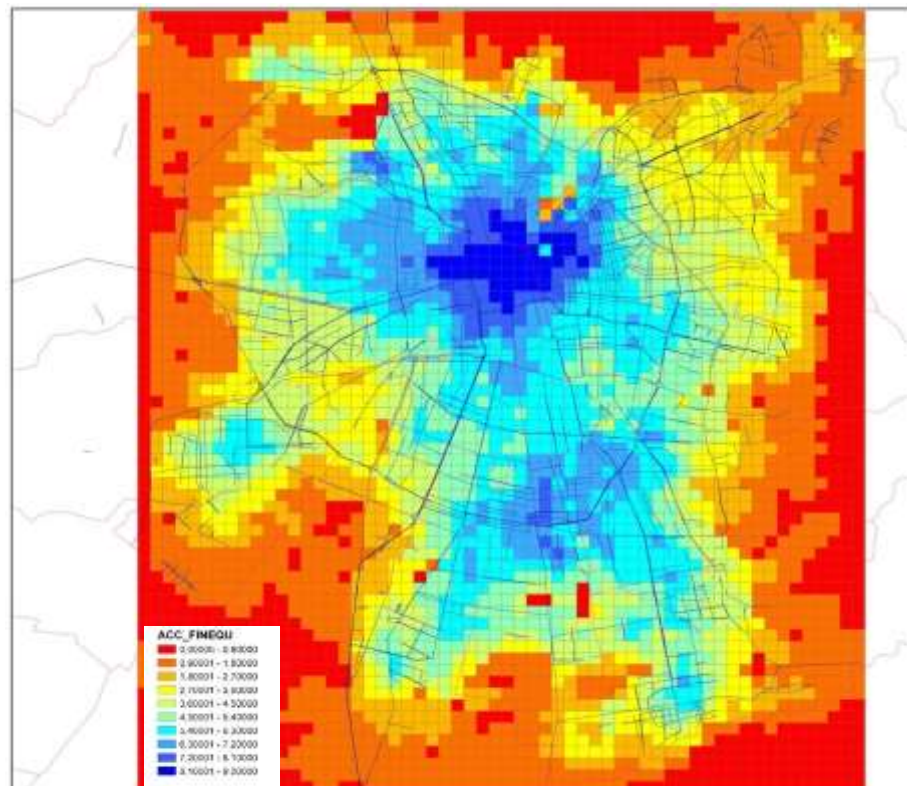


Figura 7. Indicador agregado de accesibilidad relativa para el gran Santiago

Se observa que las mejores medidas de acceso se concentran dos sub-centros, uno correspondiente al centro histórico de Santiago y sus alrededores y otro correspondiente a las comunas del sector peri-urbano sur (La Cisterna, San Ramón, La Granja y parte de La Florida). Sectores de buena accesibilidad se observan también en las comunas directamente al poniente de Santiago centro (Quinta Normal, Estación Central, Lo Prado, Cerro Navia) y en algunas zonas al interior de algunas comunas periféricas (Maipú, San Bernardo y Puente Alto)

6 DISCUSIÓN

La metodología propuesta permite construir medidas de acceso con la información habitualmente disponible para ciudades chilenas de tamaño medio y superior. El método se adapta a las definiciones actuales de distancias mínimas requeridas a establecimientos de educación y salud y las extiende a otros propósitos, distinguiendo además por modo de transporte. Esta característica es una ventaja del método pero al mismo tiempo es una limitación pues las medidas de acceso dependerán de lo que el analista determine como distancias máximas tolerables, las que podrían ser estimadas de manera errónea.

El método es aplicado a la ciudad de Santiago utilizando una subdivisión del territorio en celdas de 500 x 500 metros. Los resultados muestran que hay diferencias significativas en accesibilidad entre distintos sectores de la ciudad. Se observan sectores con accesibilidad relativamente alta al sur de Santiago, los que serían buenos candidatos para la localización de vivienda social al mismo tiempo que factibles económicamente dados los valores del suelo relativamente bajos en ese sector. El uso de celdas más pequeñas permitiría realizar el análisis a una mayor resolución, sin embargo esto implicaría un incremento en el costo computacional del cálculo del indicador.

Las medidas por propósito y modo deben agregarse en un indicador único para la evaluación de localizaciones. Se asume que el analista (o un panel de expertos) definirá la importancia relativa de cada una de estas medidas de acceso antes de combinarlas en el indicador agregado. Una forma alternativa de determinar los pesos relativos es combinar las medidas de acceso que se computen con información proveniente de encuestas a residentes, lo que permitiría estimar modelos de elección discreta donde las variables explicativas sean las medidas de acceso y la variable dependiente sea la localización de los hogares o la respuesta a alguna pregunta que mida niveles de confort o accesibilidad percibida con la situación en los lugares de residencia. Este mecanismo, que será analizado y probado en etapas futuras de esta investigación, permitiría obtener medidas econométricas del peso relativo de las distintas medidas de acceso

Agradecimientos

La investigación presentada en este artículo fue financiada por el Ministerio Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile y por el Instituto Milenio de Sistemas Complejos de Ingeniería (ICM: P-05-004-F, CONICYT:FBO16). Los mapas de accesibilidad fueron generados por Enrique Zarate, del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile.

Referencias

- Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1979). Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. *Behavioural travel modelling*, 654-679
- Ben-Akiva, M. E. & Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge, Ma.
- Bramley, G., & Power, S. (2009). Urban form and social sustainability: the role of density and housing type. *Environment and planning B, Planning & design*, 36(1), 30.
- Burns, L. D. (1980). *Transportation, temporal, and spatial components of accessibility*. Lexington Books, Lexington/Toronto.
- Carrasco, J. A., Hogan, B., Wellman, B., & Miller, E. J. (2009). Agency in social activity interactions: The role of social networks in time and space. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 99(5), 562-583.
- Church, A., Frost, M., & Sullivan, K. (2000). Transport and social exclusion in London. *Transport Policy*, 7(3), 195-205.
- Dalvi, M. Q., & Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation*, 5(1), 17-42.
- De Cea, J., Fernandez, J. E., Dekock, V., Soto, A., & Friesz, T. L. (2003). ESTRAUS: a computer package for solving supply-demand equilibrium problems on multimodal urban transportation networks with multiple user classes. In annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- Domencich, T. & McFadden, D. (1975). *Urban travel demand : a behavioral analysis*, Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- 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.
- Handy, S. L., & Niemeier, D. A. (1997). Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and planning A*, 29, 1175-1194.
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73-76.
- Hinloopen, E., & Nijkamp, P. (1990). Qualitative multiple criteria choice analysis. *Quality and quantity*, 24(1), 37-56.
- Lucas, K. (2004). Transport and social exclusion. *Running on empty: Transport, social exclusion and environmental justice*.

Martínez, F. J. (1995). Access: the transport-land use economic link. *Transportation Research Part B: Methodological*, 29(6), 457-470.

Martínez, F., Aguila, F., & Hurtubia, R. (2009). The constrained multinomial logit: A semi-compensatory choice model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(3), 365-377.

MIDEPLAN-SECTRA (2008). Análisis, Desarrollo y Evaluación de Proyectos Urbanos, III Etapa. Disponible en la Biblioteca de la Secretaría de Planificación de Transporte, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Gobierno de Chile

MINVU (2005). Reglamento Fondo Solidario de Vivienda, DECRETO SUPREMO N° 174, (V. y U.), de 2005 D.O. de 09.02.06. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.

Morris, J. M., Dumble, P. L., & Wigan, M. R. (1979). Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research Part A: General*, 13(2), 91-109.

Nicolai, T. W., & Nagel, K. (2011). Investigating accessibility indicators for feedback from a travel to a land use model. In ERSA conference papers. European Regional Science Association.

Nijkamp, P. (1975). A MULTICRITERIA ANALYSIS FOR PROJECT EVALUATION: Economic-Ecological Evaluation of a Land Reclamation Project. *Papers in Regional Science*, 35(1), 87-111.

Rieser, M., Nagel, K., Beuck, U., Balmer, M., & Rümenapp, J. (2007). Agent-oriented coupling of activity-based demand generation with multiagent traffic simulation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2021(-1), 10-17.

Unit, S. E. (2002). Making the connections: Transport and social exclusion. London, UK Government Social Exclusion Unit.

Vandenbulcke, G., Steenberghen, T., & Thomas, I. (2009). Mapping accessibility in Belgium: a tool for land-use and transport planning?. *Journal of Transport Geography*, 17(1), 39-53.