

EVALUACIÓN DE LA ACCESIBILIDAD PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE SUBTERRÁNEO: ANÁLISIS DEL METRO DE SANTIAGO - CHILE

EVALUATING ACCESSIBILITY TO UNDERGROUND TRANSPORT SYSTEMS: ANALYSIS OF THE SANTIAGO - CHILE METRO

AVALIAÇÃO DE ACESSIBILIDADE PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE SUBTERRÂNEO: ANÁLISE DO METRÔ DE SANTIAGO DO CHILE

Liborio Navas

Magíster en Construcción
Estudiante, Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
<https://orcid.org/0009-0002-0462-792X>
lwnavas@uc.cl

Claudia Valderrama-Ulloa

Doctora en Mecánica
Investigadora Asociado, Centro de Investigación en Tecnologías para la Sociedad, Facultad de Ingeniería
Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-1603-9714>
claudia.valderrama@udd.cl

Ximena Ferrada

Doctora en Ciencias de la Ingeniería
Directora de Carrera Ingeniería Civil en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería,
Centro de Investigación en Tecnologías para la Sociedad, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-7774-8354>
ximeneferrada@udd.cl

Jorge Contreras

Magíster en Educación en Ciencias de la Salud
Investigador, Centro de Investigación en Tecnologías para la Sociedad, Facultad de Ingeniería,
Académico Facultad de Medicina, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0003-0925-9548>
jgcontreras@udd.cl

Zulay Gimenez

Doctora en Ciencias de la Ingeniería
Académica, Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0001-9051-1434>
zmgimenez@uc.cl



RESUMEN

Considerando que una parte importante de la población mundial vive con algún tipo de discapacidad y que la esperanza de vida aumenta, el hecho de tener un transporte accesible permitiría que las personas mejoraran su calidad de vida, accediendo a más oportunidades socioeconómicas. A partir de un diseño descriptivo mixto (cualitativo etnográfico y cuantitativo), este artículo presenta una herramienta de evaluación del nivel de accesibilidad en el uso del tren subterráneo para personas con discapacidad visual, física, cognitiva y auditiva. Se analizaron los datos de 30 estaciones del Metro de Santiago de Chile, estudiando el desplazamiento desde el exterior a la estación, la permanencia en zona de pagos y el desplazamiento hacia andenes y combinaciones. De los indicadores evaluados, los que tienen relación con el desplazamiento hacia el andén son los que presentan menores niveles de accesibilidad, ya que no responden a todas las necesidades para los distintos tipos de discapacidad analizados.

Palabras clave

discapacidad sensorial, discapacidad física, discapacidad cognitiva, metro, accesibilidad

ABSTRACT

Considering that a significant part of the world's population lives with some disability and life expectancy is increasing, accessible transportation would allow people to improve their quality of life and access more socioeconomic opportunities. Based on a mixed descriptive design (qualitative, ethnographic, and quantitative), this article presents a tool for evaluating the level of accessibility to subway trains for people with visual, physical, cognitive, and hearing disabilities. Data from 30 Metro stations in Santiago de Chile were analyzed, studying movements into the station, permanence in the payment area, and movements toward platforms and connecting lines. Among the indicators evaluated, those related to getting to the platform have the lowest levels of accessibility, as they do not meet all the needs of the different types of disabilities analyzed.

Keywords

sensory impairment, physical disability, intellectual disability, subway, accessibility

RESUMO

Considerando que uma parte significativa da população mundial vive com algum tipo de deficiência e que a expectativa de vida está aumentando, dispor de um transporte acessível permitiria que as pessoas melhorassem sua qualidade de vida, tendo acesso a mais oportunidades socioeconômicas. Com base em um projeto descritivo misto (qualitativo, etnográfico e quantitativo), este artigo apresenta uma ferramenta de avaliação do nível de acessibilidade no uso do metrô para pessoas com deficiências visuais, físicas, cognitivas e auditivas. Foram analisados dados de 30 estações de metrô de Santiago do Chile, estudando o deslocamento do exterior ao interior da estação, o tempo de permanência na área de pagamento e o deslocamento para as plataformas e combinações. Dos indicadores avaliados, os relacionados ao deslocamento até a plataforma são os que apresentam os níveis mais baixos de acessibilidade, pois não atendem a todas as necessidades dos diferentes tipos de deficiência analisados.

Palavras-chave:

deficiência sensorial, deficiência física, deficiência cognitiva, metrô, acessibilidade.

INTRODUCCIÓN

Según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS o WHO, según sus siglas en inglés) el 16% de la población mundial vive con algún tipo de discapacidad (Organización Mundial de la Salud, 2023). De esta cifra, alrededor de 85 millones de personas están en Latinoamérica. En 2022, los mayores de 60 años en la región representan el 13,4% y las proyecciones indican que este número podría incrementarse hasta el 25,1% en 2050 (CEPAL, 2022). La relación entre ambas estadísticas es relevante debido a que la prevalencia de la discapacidad aumenta a medida que se incrementa la edad.

Asimismo, lo anterior impacta en el desarrollo urbano y, más específicamente, en el transporte, puesto que tanto las personas mayores con dificultades para desplazarse como las personas con discapacidad (en adelante, PcD), muchas veces únicamente cuentan con acceso al transporte público para movilizarse o bien, o este es su opción preferida. Es por esta razón que se hace fundamental evaluar tanto las necesidades de la población con respecto a la infraestructura en cada país como la importancia de la posición espacial entre la infraestructura pública y las viviendas, ya que esto conlleva al desarrollo de las oportunidades socioeconómicas de las PcD (Lima et al., 2019; Sze & Christensen, 2017).

Existen distintas investigaciones sobre el fenómeno de la accesibilidad en zonas urbanas. Algunas analizan la accesibilidad hacia un lugar, en tanto la manera efectiva de ayudar a las personas a llegar a su destino (Jiron & Mancilla, 2013), otras han estudiado la satisfacción con los viajes (Lättman et al., 2019; Grisé et al. 2019; Wong, 2018) o con las distintas formas de transporte (Wong et al., 2017; Bascom & Christensen, 2017).

Por otro lado, y en relación con el tema de estudio de este trabajo, se encuentran las investigaciones de Srichuae et al. (2016), las cuales indagan en los factores que afectan la movilidad de personas mayores, como por ejemplo, la distribución de espacios públicos con servicios de transporte accesibles y la capacidad de viajar sin asistencia, donde se destaca la necesidad de incluir principios de diseño universal. Por su parte, Cochran (2020) analiza las experiencias de PcD al usar el transporte, señalando que falta análisis del comportamiento de viaje, ya que representa una de las barreras en el uso de transporte. Además, Sze y Christensen (2017) revisan pautas de diseño de transporte accesible en EU, Reino Unido y Hong Kong que podrían influir en el comportamiento de viaje, el patrón de actividad y la elección del modo de transporte de PcD, haciendo hincapié que el diseño accesible debería implementarse en un enfoque de red de transporte más integrada.

En Chile, distintos autores (Jirón & Mancilla, 2013; Vecchio et al., 2020) han tenido una aproximación desde diversos enfoques de investigación hacia la comprensión de la exclusión social desde la movilidad cotidiana urbana. Dentro de estos enfoques se encuentra el estudio de la accesibilidad, en donde se incluyen las condiciones físico-espaciales o cómo las barreras pueden ser comprendidas desde su espacialidad como aquellas limitaciones que los sujetos encuentran cotidianamente en sus movimientos a través de la ciudad.

En relación con accesibilidad y movilidad, el trabajo de Kaufmann et al. (2004) redefine la accesibilidad como una dimensión estructurante de la vida social, lejos de ser simplemente una conexión entre puntos. La "motilidad", que abarca la movilidad socioespacial, se presenta como un activo que varía entre individuos, grupos e instituciones en acceso, competencia y apropiación. Este enfoque destaca la complejidad de las relaciones entre estructuras sociales y territoriales, conectando la accesibilidad con la capacidad de acceder y apropiarse de bienes, información y personas en diferentes contextos locales y geopolíticos.

De esta manera, la accesibilidad, dentro del marco de la motilidad, se convierte en un componente clave para comprender las dinámicas de sociedades altamente móviles. En el caso de Cass et al. (2005), se destaca que la noción de accesibilidad es compleja y va más allá de describir la exclusión de grupos sociales de ciertos servicios, ya que se enfoca en la conciencia espacial y relacionada con la movilidad de la ciudadanía. Al vincular la sociedad interconectada con la dispersión de la vida cotidiana, el autor identifica la creciente "carga de movilidad" en la sociedad. Además, subraya la importancia de considerar no solo las dimensiones espaciales y temporales de la provisión de transporte, sino también la conexión con las redes sociales de las que las personas desean formar parte, destacando la dinámica y la importancia de las redes en la inclusión social.

Siguiendo con la búsqueda de análisis de la accesibilidad, Lucas et al. (2016) proponen utilizar las teorías éticas de igualitarismo y suficienarismo como marco teórico para evaluar los Índices de Accesibilidad Espacial, destacando la necesidad de identificar indicadores y umbrales en colaboración con las partes involucradas, especialmente con personas más rezagadas en relación con este índice.

En otro aspecto, el tren subterráneo o metro es un medio de transporte sumamente importante para la movilidad urbana y, por lo mismo, es necesario revisar cómo ocurre la accesibilidad en este. , la mayoría de las publicaciones centran la revisión y análisis de sus características en función a la capacidad de un

individuo para cubrir la distancia entre el origen y el destino (Bascom & Christensen, 2017), en las que se analiza la cantidad de tiempo para viajar (Márquez et al., 2019; Park et al., 2022; Wong, 2018), tiempo de esperas (Vandenbulcke et al., 2009) o distancias caminables (Yun, 2019). Si bien Prasertsubpakij y Nitivattananon (2012) proponen un método de evaluación del metro de Bangkok con 24 indicadores, el estudio se centra en entrevistas que evalúan la satisfacción de un grupo amplio de usuarios y no incluye discapacidad sensorial ni cognitiva. Así, se evidencia la necesidad de un análisis exhaustivo del lugar y de los componentes que permiten un acceso y uso equiparable para personas con diversas capacidades (Shen et al., 2023; WHO, 2023).

De acuerdo con la OMS, la discapacidad existe cuando no hay una adecuada relación del entorno con las capacidades funcionales de una persona y, por ende, existe una limitación en actividades o restricciones en la participación social (Organización Mundial de la Salud, 2023). Por lo tanto, las barreras del entorno construido harán que una PcD experimente una capacidad funcional reducida. A este grupo de personas se le presentan más barreras al momento de viajar debido a sus limitaciones físicas, sensoriales y cognitivas, lo que se traduce en menores números de viajes, recorridos más cortos y tiempos de viajes más largos (Shen et al., 2023). Debido a esto, en América más del 33% de las PcD eligen no viajar (Brumbaugh, 2018). Considerando que las PcD realizan viajes mayoritariamente por razones médicas (Krahn et al., 2015) y que la población envejece, es necesario disminuir estas barreras en la infraestructura y en el transporte para que una PcD pueda transportarse libre e independientemente a cualquier espacio, sea público o privado.

De este modo, al enfocarnos en barreras físicas espaciales en el transporte, se espera que este posea un diseño universal que pueda ser utilizado por todas las personas, en la mayor medida posible, sin necesidad de ninguna adaptación o diseño especializado (Iwarsson & Stahl, 2003). Para ello, el diseño universal se basa en siete principios: uso equitativo, flexibilidad de uso, uso sencillo e intuitivo, información perceptible, tolerancia al error, bajo esfuerzo físico y tamaño y espacio de aproximación y uso (Iwarsson & Stahl, 2003). Para aplicar estos principios, un diseño universal, a diferencia de un diseño accesible en el que se busca diseñar solo para el grupo específico con discapacidad y de esa forma genera exclusión (ISO, 2001), debe integrar características de accesibilidad y usabilidad desde el principio, eliminando todas las ideas preconcebidas y dando lugar a la inclusión social del mayor número posible de usuarios, independientemente de su condición.

Dado lo anterior, este artículo presenta una herramienta de evaluación del nivel de accesibilidad en el uso del tren subterráneo para PcD visual, física, cognitiva y auditiva.

A través de esta herramienta se analizaron los datos recopilados de 30 estaciones del Sistema de Metro de Santiago de Chile (SMS), estudiando el desplazamiento desde el exterior a la línea de metro, la permanencia en la zona de pagos y el desplazamiento hacia el andén.

METODOLOGÍA

El presente estudio tiene un enfoque mixto cualitativo-cuantitativo. Desde el punto de vista de su diseño, este corresponde a un tipo descriptivo secuencial (Hernández Sampieri et al., 1997), con una primera fase cualitativa etnográfica (Hammersley & Atkinson, 2007) que explora las necesidades de accesibilidad en el Sistema de Metro de Santiago de Chile para PcD, y una segunda fase cuantitativa que consiste en determinar un sistema de evaluación para informar sobre el nivel de accesibilidad en las estaciones de metro.

En la fase etnográfica se obtuvo el consentimiento de PcD que utilizan el Sistema de Metro de Santiago de Chile a fin de recopilar datos a través de observaciones participantes de campo, conversaciones informales y entrevistas semiestructuradas (a personas en sillas de ruedas, persona mayor con problemas de desplazamiento, persona ciega, cuidador de persona mayor con problemas cognitivos). Dicho proceso se realizó durante 64,5 horas entre agosto y septiembre del año 2021, tiempo en el cual se visitaron distintas estaciones de varias líneas del Sistema de Metro de Santiago de Chile para obtener una perspectiva amplia y representativa, se tomaron registros audiovisuales de las estaciones y se midieron elementos arquitectónicos relevantes, realizando recorridos con PcD. Los datos recopilados fueron sistematizados mediante tablas de indicadores cualitativos y cuantitativos.

Para asegurar la naturalidad de los comportamientos observados, se siguió un enfoque etnográfico basado en el modelo comprimido propuesto por Jeffrey y Troman (2004). El análisis de los datos en esta fase se basó en los principios de la *Grounded Theory* (Glaser & Strauss, 1967), lo que permitió organizar y analizar la información rigurosamente a través de la aplicación de técnicas de codificación, lo que derivó en la generación de categorías y subcategorías interrelacionadas. La triangulación de la información obtenida involucró comparar datos de varias fuentes, revisar la información de otros investigadores y contrastar las observaciones del investigador, lo cual permitió determinar la validez de la información recopilada.

En la etapa cuantitativa, se diseñó una metodología de evaluación basada en la revisión sistemática de la literatura y en los hallazgos cualitativos previos. Se identificaron indicadores de evaluación (enfocados principalmente en las barreras físicas espaciales) y se asignaron los parámetros para determinar el nivel de accesibilidad. Para

validar la metodología, se analizaron las estaciones de la Línea 5 del sistema del metro de Santiago, considerando las siguientes características:

- Es una de las 3 líneas más antiguas del sistema, por lo que hay criterios de accesibilidad no resueltos.
- Línea más extensa y con más estaciones del sistema (30 estaciones).
- Es la línea que recorre más comunas (10), con estratos socioeconómicos diferentes.
- Presenta tres tipos de sistemas constructivos: estaciones elevadas, nivel suelo y subterráneas,
- Tiene el mayor número de combinaciones con otras líneas y estaciones intermodales.
- Recorre puntos estratégicos, tales como universidades, clínicas y hospitales, espacios públicos, centro históricos y comerciales.

CASO DE ESTUDIO

El sistema de transporte público de Santiago incorpora a todos los buses de transporte público de la capital, Metro-Tren Nos (línea de servicio de trenes) y al Sistema de Metro de Santiago de Chile. Este último es el eje del sistema, siendo uno de los medios de transporte público más importantes en la ciudad. El sistema del metro de Santiago de Chile comenzó a estructurarse durante la década del sesenta y, actualmente, posee seis líneas que abarcan 142,4 km (Figura 1). En noviembre 2017, cuando comenzó a operar la línea 6, se transportaron en promedio más de 85 mil personas por hora (Metro de Santiago, 2020).



Figura 1. Configuración espacial y descriptiva con datos de longitud, número de estaciones, número de comunas a las que sirve y % de afluencia de las líneas del Sistema de metro de Santiago de Chile y ubicación de las estaciones analizadas. Fuente: Elaboración de los autores

Desde el 2012, la empresa Metro S.A. ha llevado a cabo el plan de accesibilidad para adaptarse a los requerimientos actuales, donde uno de sus objetivos era dotar de ascensores a todas las estaciones de la red, lo cual fue cumplido en 2019 (Metro de Santiago, 2020). Además, la remodelación incluye la habilitación en estaciones de puertas bidireccionales configurables, de espacios preferenciales en los vagones para personas en silla de ruedas, dispositivos de comunicación entre pasajeros y conductor, mapa LED para indicar próximas estaciones y cámaras al interior de los trenes. Este plan permitirá que los PcD que circulan en la red cuenten con mayor accesibilidad desde su ingreso a la estación hasta su salida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LEVANTAMIENTO DE BARRERAS Y NECESIDADES

Las PcD acompañadas en sus diferentes recorridos por el Metro de Santiago tenían los siguientes tipos de discapacidad:

1. visual, entendidas como aquellas deficiencias, limitaciones y restricciones a las que se enfrenta una persona que tiene una enfermedad ocular al interactuar con su entorno físico, social o actitudinal, (Espinosa-Muñoz, 2016; Alarcón & Vizcarra, 2016; Shen et al., 2023);
2. física, en cuanto a personas que por distintas razones tienen dificultad para desplazarse, ya sea temporal o permanentemente (Saéz-González, 2020; Olivares-Medina et al., 2019; Shen et al., 2023),
3. cognitiva, que involucra limitaciones del funcionamiento intelectual, así como también del comportamiento adaptativo en los dominios conceptual, social y práctico (Brusilovsky, 2014; CEAPAT, 2018) y
4. auditiva, en tanto personas que en la interacción con el entorno se enfrentan a barreras que impiden su acceso a la información y comunicación auditiva-oral dadas por la lengua (Espínola-Jiménez, 2015; Agudelo-Zapata & Cadavid-Ospina, 2016).

A través de una revisión bibliográfica y recorridos vivenciales en los que los entrevistados informaron sobre sus apreciaciones, se procedió a describir las barreras y necesidades encontradas, las que posteriormente fueron categorizadas de acuerdo con el tipo de discapacidad (Tabla 1). Algunas de estas apreciaciones sirvieron como base para la creación de los indicadores de evaluación.

Tabla 1. Discapacidades - Barreras. Fuente: Elaboración de los autores

Discapacidad visual	Discapacidad física	Discapacidad cognitiva	Discapacidad auditiva
Falta de guías podotáctiles	Falta de escaleras mecánicas o inhabilitación de estas.	Falta de contraste en los botones de los ascensores.	Falta de información visual dentro de los trenes respecto de la ubicación y próximas estaciones
Falta de advertencia podotáctil en inicio y fin de escaleras y andén	Diferencia de altura y diámetro en pasamanos	Personas de apoyo al usuario sin formación en discapacidad	Falta de información por medio de pantallas en los ascensores
Diferencia horizontal entre el vagón y el andén	Falta de ventanilla preferencial.	Falta de información adecuada para PcD cognitiva cuando se presenten fallas en el metro.	Falta de información lumínica en algunos trenes cuando hay cortes de servicio o cierre de estaciones.
Falta de información auditiva en los ascensores.	Falta de puertas bidireccionales configurables	Señalizaciones mal ubicadas, con poca o sin iluminación.	Falta de información oportuna en los andenes debido a fallas en los monitores de información.
Falta de iluminación adecuada en algunos puntos.	Altura de los botones de los ascensores fuera de rango para Personas en Sillas de Ruedas (PeSR)	Mural de información con simbologías inentendibles por PcD cognitiva	Falta de información en los trenes sobre el estado de ascensores de ciertas estaciones
Falta de guía podotáctil en entrada, boletería, ascensores y escaleras.	Altura de murales de información no accesibles para PeSR	Información digital confusa (Línea de metro- tiempo y publicidad)- algunas apagadas.	
Falta de guía podotáctil en entrada, boletería, ascensores y escaleras.	Diferencia vertical entre el vagón y andén.		
Falta de máquinas vendedoras o de recargas de tarjeta de pago con sistema Braille o con audio	Asientos en el andén fuera de altura. Rampas con pendientes pronunciadas		

DEFINICIÓN DE INDICADORES

Para una mayor comprensión del viaje desde la perspectiva del usuario, se separaron las áreas que comprende un trayecto. A dichas áreas se les denominará "Momentos de Trayecto" y serán definidos como:

- Momento 1: ENTRADA-E: Comprende todos los espacios desde la entrada exterior y accesos principales hasta la zona de boletería, los cuales son: accesos en escaleras fijas, escaleras mecánicas o ascensores, incluyendo sus conexiones con las distintas áreas que la componen, ya sea zona de máquinas dispensadoras y recarga de tarjetas de pago, ventanillas, conexión con el torniquete y ascensores que van hacia el andén, entre otros.
- Momento 2: HACIA ANDÉN-A: Comprende el trayecto desde el torniquete hasta la zona del andén.

Incluye escaleras internas, escaleras mecánicas, ascensores y el andén propiamente tal.

- Momento 3: COMBINACIÓN-C: Involucra todos los parámetros detectados desde que un usuario abandona el tren hasta su combinación hacia otra línea o estación intermodal. Este parámetro solo es aplicable a estaciones con combinación a otras líneas o conexión con algún intermodal.

Para analizar el nivel de accesibilidad de cada uno de los momentos de trayecto, se evaluaron distintos indicadores relacionados principalmente a barreras físicas espaciales, los que sumados entregaron un puntaje. Los puntajes de cada indicador se promediaron según la configuración de la estación y, con base en el puntaje final obtenido, se entregó el nivel de accesibilidad. La escala para evaluar los criterios es: MB (muy bueno), 2 puntos; B (bueno), 1 punto; M (malo), 0 punto.

A continuación, en la Tabla 2 se detalla la cantidad de indicadores encontrados y, en relación con ellos, los puntajes máximos ideales a alcanzar en cada momento de un trayecto. Luego, la Tabla 3 presenta cada uno de los indicadores asociados a los momentos E, A o C, según corresponda, con su respectiva escala de evaluación y puntajes asociados.

Tabla 2. Cantidad de indicadores y puntajes ideales asociados a los momentos. Fuente: Elaboración de los autores

Momentos	Cantidad de indicadores	Puntaje Ideal
Entrada (E)	24	48
Andén (A)	9	18
Combinación (C)	15	30

Tabla 3. Indicadores de evaluación. Fuente: Elaboración de los autores

Momento	Indicador	Escala de evaluación		
		Muy Bueno (2p)	Bueno (1p)	Malo (0p)
E	Pantalla acceso principal	Existe con información del estado del metro	Existe, con información no actualizada	Inexistente
E/A/C	Pasamanos escaleras	Presenta dos pasamanos. Uno a 90 cm del NPT y el segundo a 60 cm del NPT. Y un diámetro entre 3,5 a 5,0 cm (Figura 2a)	Presenta un pasamanos a una altura de 90 cm del NPT y un diámetro: 3,5 a 5,0 cm	Hay pasamanos, pero con altura y diámetros diferentes a los establecidos. (Figura 2b)
E/A/C	Escaleras mecánicas	Son de doble sentido	Son en un sentido	Inexistente
E/A	Ascensor y salvaescalera	Existen. Ambos funcionan	Existen. Uno no funciona	Inexistentes o ninguno funciona
E/A	Advertencia podotáctil	Contraste de color al inicio y término de todas las escaleras y acceso a vagones (límite andén)	Contraste de color en algunos accesos a vagones y escaleras	Inexistente
E/A	Tramo de escalera	Tramos de 15 escalones separados por descanso de mínimo 120 cm de huella	Tramos entre 16 a 18 escalones separados con descanso	Tramos de más de 18 escalones sin descanso
E/A	Huella y contrahuella de escalera	Huella 28 cm y contrahuella 18 cm	Huella menos de 28 cm o contrahuella más de 18 cm	Huella menos de 28 cm y contrahuella más de 18 cm
E	Conexión guía podotáctil en entrada	Existe conexión entre escaleras, boletería y torniquete. (Figura 3a)	Existe parcialmente conexión entre escaleras, boletería y torniquete.	Inexistente (Figura 3b)
E	Conexión guía podotáctil hacia el ascensor que lleva al exterior	Existe total conexión entre ascensores, boletería, torniquete y acceso a puerta preferencial.	Existe parcialmente conexión entre ascensores, boletería, torniquete y acceso a puerta preferencial.	Inexistente
E	Ventanilla boletería	Preferencial con altura adecuada para PcD	Preferencial sin altura adecuada para PcD	Inexistente
E	Máquinas de recarga/consultas/compra	Existentes. Altura adecuada entre 90-120 cm del NPT	Existentes. Sin altura adecuada entre 90-120 cm del NPT	Inexistentes
E	Máquinas recarga/consultas/compra en boletería	Presentan sistema de navegación por voz y Braille.	Presentan sistema de navegación por voz o Braille.	No presentan sistema de navegación
E	Puerta entrada para sillas de ruedas y coches hacia andén	Puerta bidireccional configurable.	Puerta manual	Inexistente o debe pedirse ayuda para utilizarla

Momento	Indicador	Escala de evaluación		
		Muy Bueno (2p)	Bueno (1p)	Malo (0p)
E	Ascensor	Dimensión permite entrada, giro y salida de silla de ruedas (150 cm de diámetro). O permite entrada y salida en el sentido de la marcha.	Dimensión 110 por 140 cm sólo permite la entrada (hacia adelante) de una silla de ruedas	No presenta dimensión para sillas de ruedas o no funciona
E	Puerta ascensor	Ancho mínimo 90 cm. Apertura automática y corredera.	Ancho mínimo 90 cm. Apertura manual y abatible.	No tiene ascensor o no funciona.
E/C	Botones ascensor	Ubicados a una altura entre 90-120 cm del NPT (preferencia horizontal)	Algunos ubicados a una altura superior a 120 cm del NPT	Ubicados a más de 120 cm del NPT, no funcionan o no hay
E	Botones Comando ascensor con sistema Braille, en relieve	Todos presentes. Altura adecuada.	Algunos presentes. O altura inadecuada	Sin sistema Braille
E/C	Audio y pantalla en ascensor para anunciar nivel	Ambos funcionando	Existe uno o uno funciona	Inexistentes o dañados
E	Rampa acceso ascensor	Existe con protección lateral en toda la pendiente es > a los 150 cm de longitud	Existe con protección lateral en una parte de pendiente cuando es < 150 cm de longitud	Existe sin protección lateral
E	Espacio salida ascensor	Permite maniobrar (diámetro 150 cm)	Permite maniobrar con dificultad (diámetro < 150 cm)	Inexistente o con obstáculos
E	Cámara de seguridad y botón de llamada en ascensor	Ambos funcionando	Existe uno o uno funciona	Inexistentes o dañados
E	Señal sonora y luminosa en ascensor para avisar el cierre de puertas	Ambos funcionando	Existe uno o uno funciona	Inexistentes o dañados
E	Guía podotáctil entrada y salida de ascensor	Existe advertencia táctil y contraste de color.	Existe sólo contraste de color amarillo	Inexistente
E/A	Información de ubicación (salidas, combinación, salidas de emergencia, murales informativos, ubicación de ascensores)	Presenta buena iluminación, altura adecuada y sin obstáculos	Presenta algunos obstáculos que impiden visualizarla	No presenta buena iluminación, altura adecuada y con obstáculos
A/C	Recorrido	No hay vacíos en el recorrido	Hay vacíos, pero con protección	No hay protección en los vacíos
A	Guía podotáctil andén	Existe y está conectado con elemento vertical de salida (Figura 4a)	Existe, pero sin conexión	Inexistente (Figura 4b)
A	Zona preferencial de espera	Cercana a ascensores y escaleras	Alejada de ascensores o escaleras	Inexistente
A	Advertencia podotáctil / contraste color en término de andén	Ambos presentes	Solo franja amarilla, sin huella podotáctil	Inexistentes
A	Asientos en andén	Todos a 46 cm del NPT	Algunos a menos de 46 cm del NPT	Inexistente o algunos están a más de 48 cm del NPT
A	Elemento digital de información del estado de estaciones, líneas del metro y tren.	Pantallas electrónicas y televisores.	Solo televisores	Inexistentes, no se leen o no funcionan.

Momento	Indicador	Escala de evaluación		
		Muy Bueno (2p)	Bueno (1p)	Malo (0p)
A/C	Planos informativos (andén) Información cambio de línea (combinación)	Presentan buena iluminación, sin obstáculos y altura adecuada para ser visto por PeSR	Éstos no tienen buena iluminación, con obstáculos o a una altura que no permite ser visto por PeSR	Inexistente
A	Diferencia vertical y horizontal entre andén y tren	Inexistente	Diferencia mínima	Mucha diferencia. La PcD necesita ayuda para ingresar/ egresar.
C	Conexión guía podotáctil entre ascensores que conectan dos líneas	Existe de manera continua	Existe de manera interrumpida	Inexistente
C	Conexión guía podotáctil entre escaleras que conectan dos líneas	Existe de manera continua	Sólo al inicio o final de las escaleras	Inexistente

A continuación, se presentan algunos buenos ejemplos de los indicadores (a) y otros que necesitan atención (b):

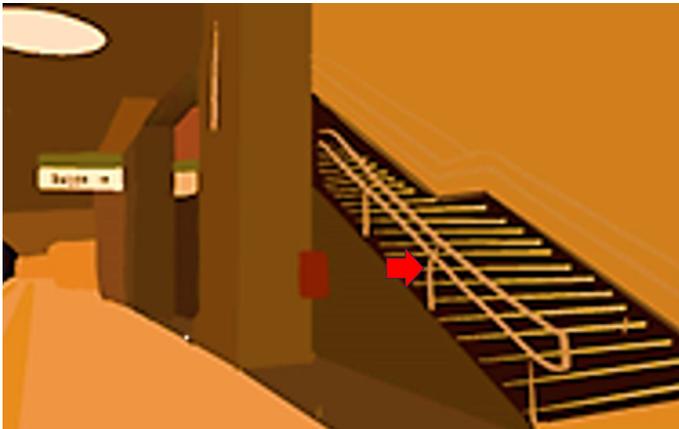


Figura 2a. Ejemplo de escalera con doble pasamanos en sus bordes.
 Fuente: Elaboración de los autores

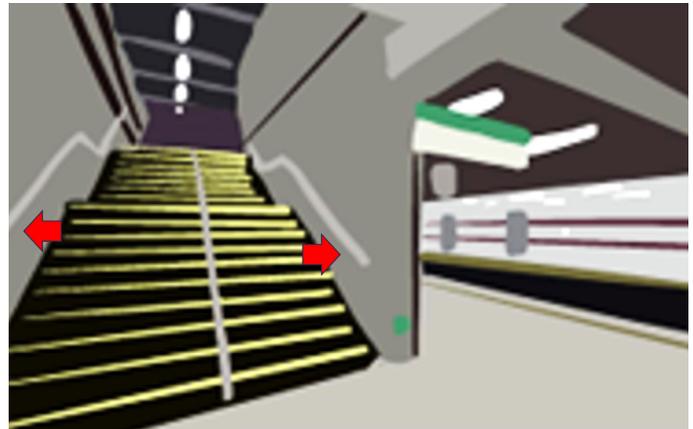


Figura 2b. Ejemplo de una escalera que tiene un solo pasamanos (en los bordes y al centro). Fuente: Elaboración de los autores

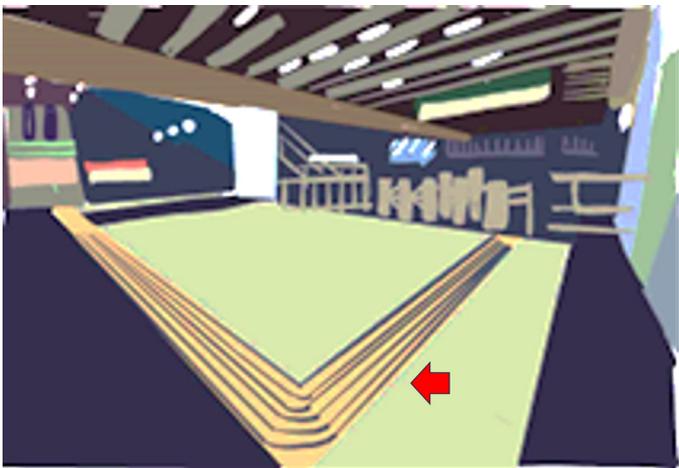


Figura 3a. Ejemplo de una completa conexión de la huella podotáctil entre la boletería y el acceso a los torniquetes. Fuente: Elaboración de los autores

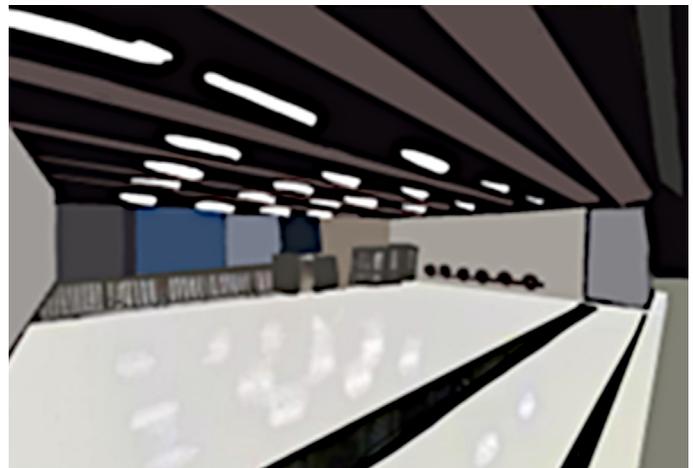


Figura 3b. Entrada en una estación que no posee huella podotáctil, solo colores en el pavimento. Fuente: Elaboración de los autores



Figura 4a. Huella podotáctil en el pasillo del andén que se conecta en todo su recorrido con un elemento vertical de salida (ascensor).
 Fuente: Elaboración de los autores



Figura 4b. En el pasillo del andén no existe huella podotáctil (sólo una franja amarilla que advierte de su límite). Fuente: Elaboración de los autores

Es importante indicar que, debido a las características y sistemas constructivos que presenta cada una de las estaciones, no necesariamente pueden aplicarse todos los indicadores, por lo que no todas podrían obtener los puntajes máximos indicados por momento de trayecto (Tabla 3). Por este motivo, se calculó el porcentaje de cumplimiento en cada momento de viaje. La sumatoria de todos los momentos entrega el puntaje total por estación. La división del puntaje total obtenido versus puntaje total posible entrega el porcentaje de cumplimiento que representa los niveles de accesibilidad definidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Niveles de accesibilidad. Fuente: Elaboración de los autores

% de cumplimiento	Niveles de accesibilidad
80% - 100%	Muy Bien Adaptado
60% - 79%	Bien Adaptado
40% - 59%	Parcialmente Adaptado
20% - 39%	Mal Adaptado
< 20%	Muy Mal Adaptado

La aplicación de la metodología se muestra a través de los resultados de 5 estaciones seleccionadas por sus sistemas y configuraciones especiales:

1. Estación subterránea (Bellas Artes)
2. Estación aérea con dos niveles (San Joaquín)
3. Estación aérea con 5 niveles (Monte Tabor)
4. Estación combinación con otra línea (Ñuble)
5. Estación combinación con una estacional intermodal (Bellavista de La Florida).

EVALUACIÓN DE LAS ESTACIONES

De las 5 estaciones evaluadas, la estación Bellavista de La Florida (subterránea, conexión intermodal y acceso a centro comercial, identificada con letra E en la Figura 1), fue la que obtuvo el porcentaje más bajo como estación (52%), en la entrada (56%) y combinación (39%). La baja evaluación se debe, entre otros aspectos, a que la entrada principal no presenta ascensores, escaleras mecánicas, ni rampas de acceso. Así, la única forma de que las PcD puedan acceder o salir de la estación es requiriendo ayuda de guardias o acompañantes. Asimismo, la combinación con el intermodal del mismo nombre no cuenta con una buena conexión y accesibilidad. Uno de los problemas detectados en relación con la comunicación para el acceso intermodal y que afecta principalmente a personas con discapacidad cognitiva es la utilización de paneles informativos con información contradictoria (Figura 5). Por otro lado, un problema identificado que afecta a personas con discapacidad visual es la falta de huella podotáctil al inicio-fin de escaleras (Figura 6).



Figura 5. Información contradictoria en paneles del trayecto conexión intermodal (donde se observan dos indicaciones de dirección diferentes). Fuente: Elaboración de los autores

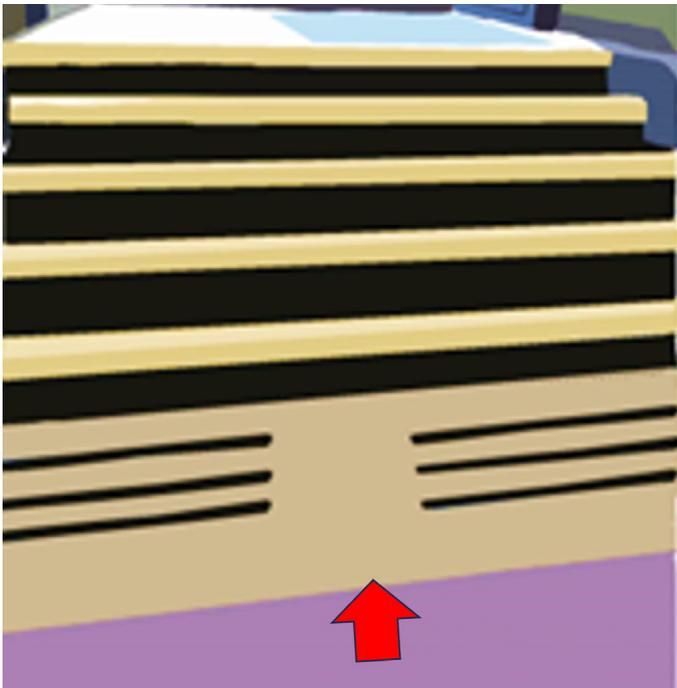


Figura 6. Falta de huella podotáctil en acceso a escalera que sólo se identifica con una franja de color amarillo. Fuente: Elaboración de los autores

Por el contrario, la estación Ñuble (estación con entrada a nivel, andén aéreo y combinación con otra línea, marcada con la letra C en Figura 1) es la que obtuvo el porcentaje más alto (69%). Esto se debe principalmente a su conexión con la Línea 6 (inaugurada en 2017), cuyo diseño implicaba mejoras en temas de accesibilidad. Tanto sus criterios de ENTRADA y COMBINACIÓN obtuvieron puntajes altos (71% y 78% respectivamente). Sin embargo, el área del andén tuvo una baja calificación debido a la falta de huella podotáctil y sus conexiones con las escaleras, lo que afectó su evaluación global. Esta estación es la única de la línea 5 que en su entrada principal cuenta con accesos automáticos y máquinas adaptadas para todos los usuarios.

Por su parte, la estación San Joaquín (estación área, acceso a universidades y centro médico, marcada con la letra D en Figura 1) alcanzó un 57%. Al igual que la mayoría de las estaciones, su menor puntaje se presenta en HACIA ANDÉN (53%), principalmente por falta de la huella podotáctil en el lugar, así como también por su conexión con ascensor y escaleras. La estación cuenta con un solo ascensor que no está siempre operativo, lo que obliga a las PcD a solicitar ayuda de guardias o acompañantes o incluso a ir hasta la próxima estación para acceder o salir del metro.

La siguiente estación evaluada, que es Bellas Artes (estación subterránea, acceso casco histórico de la ciudad, marcada con la letra B en Figura 1), no cuenta con huella podotáctil en el acceso principal que conecta con la boletería ni a lo largo del andén, lo que dificulta el

desplazamiento de las personas con discapacidad visual. Además, los asientos están muy por encima de los 45 cm de alto requeridos. Tampoco cuenta con escaleras mecánicas, ni salvaescaleras en caso de que los ascensores no funcionen. Es por ello que su nivel de accesibilidad total (58%) se ve afectado por los indicadores HACIA ANDÉN (50%).

Finalmente, la estación Monte Tabor (estación aérea, acceso centro comercial, identificada con la letra A en Figura 1) presenta su menor puntaje en HACIA ANDÉN (57%), nuevamente por la falta de huella podotáctil, incluyendo sus conexiones con los ascensores y escaleras. Aun así, obtuvo un buen puntaje en ENTRADA (69%) por contar con escaleras mecánicas de doble sentido.

En la Tabla 5 se sintetizan los resultados de la aplicación de la evaluación en cada uno de los momentos que comprenden un trayecto en el Metro de Santiago, analizando Entrada (E), Andén (A) y Combinación (C).

Tabla 5. Resultado de estaciones evaluadas. Fuente: Elaboración de los autores

Estación	E	A	C	Promedio	Nivel estación
Bellavista de La Florida (letra E – Figura 1)	27/48 56%	18/30 60%	7/18 39%	52%	Parcialmente Adaptado
San Joaquín (letra D – Figura 1)	28/46 61%	16/30 53%		57%	Parcialmente Adaptado
Ñuble (letra C – Figura 1)	10/14 71%	17/30 57%	14/18 78%	69%	Bien Adaptado
Bellas Artes (letra B – Figura 1)	32/48 67%	15/30 50%		58%	Parcialmente Adaptado
Monte Tabor (letra A – Figura 1)	29/42 69%	17/30 57%		63%	Bien Adaptado

CONCLUSIÓN

A partir de los distintos problemas que presentan las PcD en el uso del transporte público, se logró levantar una serie de indicadores, relacionados principalmente a barreras físicas espaciales, lo que permitió crear una herramienta de evaluación del nivel de accesibilidad en la red del Metro de Santiago de Chile. De su aplicación en algunas estaciones representativas, se concluyó que la mayoría de las estaciones antiguas obtuvieron los puntajes más bajos en el criterio "HACIA ANDÉN", pero buenos resultados en el criterio "ENTRADA", principalmente por las recientes instalaciones de ascensores en esas estaciones.

Si bien es cierto que la empresa Metro de Santiago S.A. ha realizado trabajos de mejoras en el tema de accesibilidad, estas se han centrado en la discapacidad física y, por tanto, aún es insuficiente en la incorporación de necesidades de otras discapacidades. Esta situación permite recomendar que los próximos trabajos de adecuación y remodelación se debieran centrar en aquellos criterios con los puntajes más bajos obtenidos por las estaciones para mejorar su nivel de accesibilidad. Además, para ampliar la visión de accesibilidad en el transporte público, sería interesante evaluar otros espacios tales como conexiones intermodales o el espacio circundante a una estación de Metro.

Por otra parte, como el trabajo se centró en el análisis de barreras físicas espaciales, fue más fácil evaluar en terreno las necesidades de personas con discapacidad física o visuales. Aunque se intentó incorporar indicadores para personas con discapacidad auditiva o cognitiva, en una próxima versión de la metodología se podrían analizar más aspectos sensoriales en el análisis.

Finalmente, es importante mencionar que, dada la relevancia de los temas de accesibilidad, se debe considerar continuamente las modificaciones reglamentarias que se van actualizando (como, por ejemplo, el DS30 que se modificó después de realizar este estudio). El aporte de esta propuesta es que sea evolutiva y que incluya, elimine o actualice los indicadores acá presentados.

Contribución de autores: Conceptualización, L.N. y C.V.U.; Curación de datos, L.N.; Análisis formal L.N., C.V.U., X.F. y Z.G.; Adquisición de financiación; Investigación, L.N. y C.V.U.; Metodología, C.V.U., J.C. y X.F.; Administración de proyecto, C.V.U.; Recursos; Software, L.N.; Supervisión; C.V.U.; Validación, C.V.U.; Visualización: X.F., J.C. y Z.G.; Escritura – borrador original, C.V.U., X.F., J.C. y Z.G.; Escritura – revisión y edición, C.V.U., X.F., J.C. y Z.G.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agudelo-Zapata, K., & Cadavid-Ospina, L. (2016). *Percepción sobre la inclusión social en términos de cultura e integración por parte del personal operativo del Metro de Medellín y de sus usuarios en situación de discapacidad auditiva que acceden al servicio de transporte* [Tesis de grado]. Corporación Universitaria Minuto de Dios, Medellín, Colombia. <http://hdl.handle.net/10656/5284>

Alarcón S., & Vizcarra Q. (2016). Personas en situación de Discapacidad Visual en relación a las barreras y estrategias que afectan las actividades de la vida diaria instrumentales. *Revista Chilena de Terapia Ocupacional*, 16(2), 153-162. <https://doi.org/10.5354/0719-5346.2016.44759>

Bascom, G.W., & Christensen, K.M., (2017). The impacts of limited transportation access on persons with disabilities' social participation. *Journal of Transport & Health* 7, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.10.002>

Brumbaugh, S., (2018). Travel Patterns of American Adults with Disabilities [Issue Brief]. *BTS Special Reports and Issue Briefs*. <https://doi.org/10.21949/1524180>

Brusilovsky, B. (2014). *Modelo para diseñar espacios accesibles. Espectro Cognitivo*. Colección Democratizando la Accesibilidad Vol. 1. La Ciudad Accesible. https://www.descubre.cl/wp-content/uploads/2019/04/Modelo-para-Disen%CC%83ar-Espacios-Accesibles_Espectro-Cognitivo.pdf

Cass, N., Shove, E., & Urry, J. (2005). Social Exclusion, Mobility and Access. *The Sociological Review*, 53(3), 539-555. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.2005.00565.x>

CENTRO DE REFERENCIA ESTATAL DE AUTONOMÍA PERSONAL Y AYUDAS TÉCNICAS [CEPAT]. (2018). *ACCESIBILIDAD cognitiva en el transporte. Barreras y facilitadores para la orientación y comprensión de los espacios del metro, desde la perspectiva de usuario*. http://riberdis.cedid.es/bitstream/handle/11181/5527/Accesibilidad_cognitiva_en_el_transporte.pdf?sequence=1

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE [CEPAL]. (2022, December 13). *CEPAL examina el panorama actual del envejecimiento en la región*. www.cepal.org. <https://www.cepal.org/es/noticias/cepal-examina-panorama-actual-envejecimiento-la-region-asi-como-avances-desafios-ejercicio>

Cochran, A. (2020). Understanding the role of transportation-related social interaction in travel behavior and health: A qualitative study of adults with disabilities. *Journal of Transport & Health*, 19, 100948. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100948>

Espínola-Jiménez, A. (2015). *Accesibilidad Auditiva. Pautas básicas para aplicar en los entornos*. Colección Democratizando la Accesibilidad Vol. 7. La Ciudad Accesible. http://riberdis.cedid.es/bitstream/handle/11181/5368/Accesibilidad_auditiva_pautas_entornos.pdf?sequence=1&rd=0031731133640576

Espinosa-Muñoz, M. (2016). *Accesibilidad en las estaciones del Metro de Santiago de Chile para personas con discapacidad visual*. [Tesis de Magister]. Universidad de Chile. repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141438/Accesibilidad-en-las-estaciones-del-metro-de-Santiago.pdf?sequence=1

Glaser, B., & Strauss, A. (1967). *The Discovery of Grounded Theory*. Aldine Publishing Company.

Grisé, E., Boisjoly, G., Maguire, M., & El-Geneidy, A. (2019). Elevating access: Comparing accessibility to jobs by public transport for individuals with and without a physical disability. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 125, 280–293. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.017>

Hammersley, M. y Atkinson, P. (2007), *Ethnography. Principles in practice*, Taylor & Francis e-Library.

Hernandez Sampieri, R.; Fernández Collado, C. & Lucio, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill.

Iwarsson, S., & Ståhl, A. (2003). Accessibility, usability, and universal design—positioning and definition of concepts describing person-environment relationships, *Disability and Rehabilitation*, 25(2), 57–66. <https://doi.org/10.1080/dre.25.2.57.66>

ISO (2001) ISO/IEC Guide 71:2001. *Guidelines for standards developers to address the needs of older persons and persons with disabilities*. https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso_iec_guide_71_2001.pdf

Jeffrey, B., & Troman. G. (2004) Time for ethnography. *British Educational Research Journal*, 30(4), 535- 548. <https://doi.org/10.1080/0141192042000237220>

Jiron, P., & Mancilla, P. (2013). Atravesando la espesura de la ciudad: vida cotidiana y barreras de accesibilidad de los habitantes de la periferia urbana de Santiago de Chile. *Norte Grande Geography Journal*, 56, 53–74. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022013000300004>

Kaufmann, V., Bergman, M., & Joye, D. (2004). Motility: mobility as capital. *International Journal of Urban and Regional Research*, 28(4), 745–756. <https://doi.org/10.1111/j.0309-1317.2004.00549.x>

Krahn, G.L., Walker, D.K., & Correa-De-Araujo, R., (2015). Persons With Disabilities as an Unrecognized Health Disparity Population. *American Journal of Public Health*, 105(S2), S198–S206. <https://doi.org/10.2105/ajph.2014.302182>

Lättman, K., Olsson L., Friman, M., & Fujii, S. (2019). Perceived accessibility, satisfaction with daily travel and life satisfaction among the elderly. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4498-4512. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224498>

Lima, J. P., Da Camara Abitante, J., Pons, N. A. D., & Senne, C. M. (2019). Spatial Fuzzy Multicriteria Analysis of Accessibility: A Case Study in Brazil. *Sustainability*, 11(12), 3407-3425. <https://doi.org/10.3390/su11123407>

Lucas, K., Van Wee, B. & Maat, K. (2016). A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation*, 43, 473-490. <https://doi.org/10.1007/s11116-015-9585-2>

Márquez, L., Poveda, J.C., & Vega, L.A., (2019). Factors affecting personal autonomy and perceived accessibility of people with mobility impairments in an urban transportation choice context. *Journal of Transport & Health*, 14, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100583>

METRO DE SANTIAGO (2020). *Memoria anual 2020*. <https://www.metro.cl/documentos/memoria-anual-2020.pdf>

Olivares, C., Urbano, C., Hidalgo, D., Tinjacá, N., Pérez, J. M. F., Gutiérrez, M. C., Navas, C., Glen, C., Pedraza, L., & Porcel, M. R. (2019). *Mapas de viaje: Metodología para el diagnóstico y propuestas de mejora de la accesibilidad universal en sistemas de transporte público en América Latina y el Caribe*. BID. <https://doi.org/10.18235/0002065>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD: OMS. (2023, March 7). Discapacidad: datos y cifras. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>

Park, K., Esfahani, H. N., Novack, V., Sheen, J., Hadayeghi, H., Song, Z., & Christensen, K. (2022). Impacts of disability on daily travel behaviour: A systematic review. *Transport Reviews*, 43(2), 178–203. <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2060371>

Prasertsubpakij, D., & Nitivattananon, V. (2012). Evaluating accessibility to Bangkok Metro Systems using multi-dimensional criteria across user groups. *IATSS Research*, 36(1), 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2012.02.003>

Saéz-González, C. (2020). *Accesibilidad e Inclusión en el Sistema de Transporte Público en la Región Metropolitana*. [Tesina de Magister]. Universidad del Desarrollo, Chile. <https://repositorio.udd.cl/server/api/core/bitstreams/145ab7b3-c9e4-49e2-809b-fec1bdb8e389/content>

Shen, X., Zheng, S., Wang, R., Li, Q., Xu, Z., Wang, X., & Wu, J. (2023). Disabled travel and urban environment: A literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 115, 103589. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103589>

Srichuae, S., Nitivattananon, V., & Perera, R. (2016). Aging society in Bangkok and the factors affecting mobility of elderly in urban public spaces and transportation facilities. *IATSS Research*, 40(1), 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2015.12.004>

Sze, N., & Christensen, K. (2017). Access to urban transportation system for individuals with disabilities. *IATSS Research*, 41(2), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.05.002>

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. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2008.04.008>

Vecchio, G., Castillo, B., & Steiniger, S. (2020). Movilidad urbana y personas mayores en Santiago de Chile: el valor de integrar métodos de análisis, un estudio en el barrio San Eugenio. *Revista De Urbanismo*, 43, 26-45. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2020.57090>

Wong, R., Szeto, W., Yang, L., Li, Y., & Wong, S. (2017). Elderly users' level of satisfaction with public transport services in a high-density and transit-oriented city. *Journal of Transport & Health*, 7, 209-217. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.10.004>

Wong, S. (2018). Traveling with blindness: A qualitative space-time approach to understanding visual impairment and urban mobility. *Health & Place*, 49, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2017.11.009>

Yun, H. (2019). Environmental Factors Associated with Older Adult's Walking Behaviors: A Systematic Review of Quantitative Studies. *Sustainability*, 11(12), 3253-3297. <https://doi.org/10.3390/su11123253>