

GESTIÓN DE PASAJEROS Y ACCESIBILIDAD EN LA INTERFAZ TREN-ANDÉN EN ESTACIONES DE METRO

Sebastián Seriani ^{1*}, Vicente Blanche ¹

¹ Universidad de los Andes, Chile

*Autor para correspondencia:
sseriani@miuandes.cl

RESUMEN

El objetivo de este estudio es identificar el efecto de las medidas de gestión y la accesibilidad en el comportamiento de pasajeros en estaciones de metro. Se comparó dos estaciones de metro que cuentan con puertas en andén y demarcación para indicar dónde están las puertas del tren. Adicionalmente, se estudió la accesibilidad de estaciones de metro. Para esto último se realizaron experimentos en el Laboratorio de Dinámica Humana de la Universidad de los Andes para probar diferentes escenarios de espesores de línea amarilla ubicada al borde del andén. Los resultados indican que estas medidas cambian el comportamiento de pasajeros, y permiten tener una interfaz más segura entre el tren y andén. En relación a los experimentos, un mayor espesor de la línea amarilla es más respetado por parte de los pasajeros, sin embargo si esta línea amarilla tiene pavimento táctil puede ser incómodo o inseguro para usuarios en especial para quienes presentan discapacidad o movilidad reducida. Como futura investigación se sugieren nuevos experimentos y observaciones en estaciones existentes para incorporar otros tipos de usuarios y configuraciones de la interfaz tren-andén.

Palabras clave gestión de pasajeros, accesibilidad, interfaz tren-andén, puertas en andén, experimentos, estación de metro.

ABSTRACT

The objective of this study is to identify the effect of crowd management and accessibility measures on the behavior of passengers in metro stations. Two subway stations that have platform edge doors and demarcation were compared to indicate where the train doors are. Additionally, the accessibility of metro stations was studied. For the latter, experiments were carried out in the Human Dynamics Laboratory of the Universidad de los Andes to test different scenarios of yellow line located at the edge of the platform. The results indicate that these measures change the behavior of passengers and allow them to move in a safer interface between the train and the platform. In relation to the experiments, a greater width of the yellow line is more respected by the passengers, however, if this yellow line has tactile paving, it can be uncomfortable or unsafe for users, especially those with disabilities or reduced mobility. As future research, new experiments and observations at existing stations are suggested to incorporate other types of users and configurations of the train-platform interface.

Keywords crowd management, accessibility, train-platform interface, platform edge doors, experiments, metro station.

1. INTRODUCCIÓN

Las estaciones de metro se pueden estudiar en diferentes espacios de circulación peatonal: tren-andén, andén-escaleras, mesanina, espacio complementario (por ejemplo, comercio) y ciudad

(nivel calle). Sin embargo, el espacio donde más interacciones se produce es la interfaz tren-andén, donde se realiza la subida y bajada de pasajeros (Seriani y Fernández, 2015). Cuando dicha interfaz no posee un diseño adecuado, los pasajeros deben recorrer largas distancias y moverse en espacios inseguros.

En el caso internacional, ejemplos como el Reino Unido muestran que cada año se producen más de 3 mil millones de interacciones en la red de trenes, en donde el 48% de los riesgos de fatalidad para los pasajeros se producen en dicha interfaz (RSSB, 2015). Por lo tanto, este espacio complejo presenta diferentes riesgos y peligros para los pasajeros. Los accidentes pueden ocurrir durante la subida y bajada o simplemente en el borde del andén cuando los pasajeros esperan la llegada del tren.

En el caso de Santiago, el informe preparado por Metro de Santiago muestra que entre el año 2017 y el mes de marzo del 2019 se presentaron 54 intentos de suicidios en estaciones, siendo de estos 20 casos fatales y el resto intentos frustrados (TVN, 2019). Una cifra aún más preocupante nos muestra como entre el año 2017 y 2019 estos casos aumentaron en un 39%. Entre los meses de enero y marzo de 2019, ya se lleva registro de 11 casos. Los suicidios representan un tipo de discapacidad psicológica de las personas (DS 50, 2016).

Para mejorar la seguridad en dicha interfaz, diferentes sistemas de metro han implementado medidas de gestión de pasajeros y accesibilidad en estaciones. Un ejemplo, son las puertas en andén, las cuales evitan que pasajeros caigan a las líneas del tren y permiten identificar donde se ubica cada puerta del tren (Clarke y Poyner, 1994; Kyriakidis et al, 2012). En el caso de Santiago, las nuevas Líneas 3 y 6 cuentan con este tipo de puertas, las cuales tienen un ancho de 2,0 m y se abren al mismo tiempo que las puertas del tren. Cuando no es posible implementar las puertas en andén, se requieren de otras medidas de accesibilidad, las cuales no solo deben favorecer el acceso al transporte público sino también su uso (Tyler, 2002). Por ejemplo, la interfaz tren-andén de la Línea 1 del Metro de Santiago cuenta con una línea amarilla al borde del tren, para evitar que pasajeros se aproximen al borde del andén. Si bien estas medidas (puertas en andén y línea amarilla) se utilizan principalmente por temas de seguridad, se desconoce el efecto que tienen en el comportamiento de pasajeros. En particular, existe una variabilidad de espesores de línea amarilla, lo cual indica la falta de un estándar de seguridad para este espacio.

La accesibilidad en este estudio se plantea como un derecho para todas las personas, el medio para permitir la participación, la autonomía y la vida independiente, evocando un nuevo paradigma de que la discapacidad se centra en la relación de la persona con el entorno, más que su relación funcional. De esta manera, se debe diseñar entornos, más aún, sistemas de transportes, desarrollando tecnologías de accesibilidad e inclusión pensando en la diversidad funcional de los pasajeros (SENADIS, 2016). En Chile, según el Estudio Nacional de Discapacidad (2015), un 16,7% de la población presentan alguna discapacidad, la cual se subdivide en personas con discapacidad y personas con movilidad reducida. Bajo el mismo estudio, del total de la población, la accesibilidad para un 13% es urgente, para un 60% es necesaria y para el 100% es confortable. Esto conllevó a que para el año 2018 se implementara la Ley de Accesibilidad, incluyendo normas de accesibilidad enfocadas en el espacio público según el Decreto 50 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (DS50, 2016). Sin embargo, no especifica normas para el transporte subterráneo y, por consiguiente, estaciones subterráneas. Existen diversas medidas para mejorar accesibilidad en el espacio Tren-Andén, específicamente este estudio se enfoca en las puertas de andén y en el uso de

la línea amarilla en la interfaz, ya que los pasajeros pueden quedar atrapados, caer en las vías o tropezar a bordo de los trenes, sufriendo lesiones.

Frente a esto, se propone como objetivo de estudio identificar el efecto de las medidas de gestión y la accesibilidad en el comportamiento de pasajeros en estaciones de metro. Para estudiar la interfaz tren-andén se propone observar en terreno estaciones con puertas en andén y la variabilidad del espesor de línea amarilla, para luego realizar experimentos a escala real en el Laboratorio de Dinámica Humana (LDH) de la Universidad de los Andes. Los resultados se podrán transformar en recomendaciones para mejorar los estándares de seguridad de estaciones de metro.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. Primero, se presentan los estudios existentes sobre medidas de gestión de pasajeros y accesibilidad en la interfaz tren-andén. Posteriormente, se describe los métodos utilizados en la observación en terreno y experimentos a escala real. Finalmente se analizan los resultados, para luego proponer recomendaciones y futura investigación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El movimiento peatonal se ha estudiado desde hace más de 40 años cuando se comienza a incorporar la evaluación de los espacios de circulación mediante el Nivel de Servicio Peatonal (NSP) de Fruin (1971). El NSP va del Nivel A (flujo libre sin conflictos) al Nivel F (densidad crítica, flujo esporádico, paradas frecuentes y contacto físico), donde el Nivel E es igual a la capacidad. Desde entonces, diferentes autores han estudiado las características de peatones tales como la velocidad, densidad, flujo, entre otros (Banerjee et al, 2018; Vallejo-Borda et al, 2020). Actualmente, este indicador se utiliza en manuales conocidos como el Highway Capacity Manual (HCM, 2000; 2013).

El NSP es un importante indicador para identificar problemas de congestión en andenes, áreas de espera y escaleras. Sin embargo, el problema es que se basa en una visión global o macroscópica, en la que el flujo de peatones se entiende como "dinámica de fluidos" (Still, 2000). Según Evans y Wener (2007), la densidad general utilizada en el este indicador no predice qué espacio presenta más interacción entre los pasajeros. Los autores estudiaron la densidad, el estrés y los desplazamientos en trenes donde los pasajeros tienen que sentarse junto a otros, y encontraron que el nivel de estrés aumentaba a medida que aumentaba la densidad. En este sentido, pareciera ser que utilizar valores promedio de densidad no es adecuado para identificar que parte de la interfaz tren-andén es la más congestionada, especialmente si se implementan medidas de gestión y accesibilidad como puertas en andén o línea amarilla de seguridad.

Respecto a las puertas en andén, algunos autores (Coxon et al, 2010) indican que estos elementos cambian el comportamiento de pasajeros, aumentando los tiempos de subida y bajada. Según los autores, las puertas en andén se limitan al número de puertas de los trenes, a la cantidad de carros del tren y al diseño del andén. Sin embargo, no está claro cómo los autores llegaron a esta conclusión y si hay alguna evidencia que la respalde. Otros autores (Qu y Chow, 2012) estudiaron el uso de estas puertas, las cuales mejoraron la ventilación y la detección de humo en los túneles del metro, sin embargo, el tiempo de evacuación en los andenes aumentó debido a la inconsistencia de la parada del tren en la misma posición en el andén o por la fragilidad de sus materiales.

Por otra parte, en experimentos a escala real de University College London's Pedestrian Accessibility Movement Environment Laboratory (PAMELA) se identificó que las puertas en andén no tienen un gran impacto en los tiempos de subida y bajada, y solo mejora dichos tiempos en situaciones de congestión, ya que los pasajeros se ubican a los costados de las puertas en vez de al frente de estas (De Ana Rodríguez et al, 2016; Seriani et al, 2017a; Seriani et al, 2017b). Estos estudios fueron corroborados por los mismos autores en observación en estaciones del Metro de Londres, obteniendo resultados similares.

Con respecto a otras medidas, algunos estudios recientes (Prasertsubpakij y Nitivattananon, 2012; Enginöz y Şavlı, 2016) han estudiado la accesibilidad mediante el uso de encuestas a personas con movilidad reducida. En términos de diseño, algunos manuales como el del Metro de Londres (2012) indican que los andenes deben tener un ancho mínimo de 3,0 m, y la línea amarilla al borde del andén es esencial para alertar sobre la proximidad al tren. En el Metro de Londres (2015) se observó cómo variaba el comportamiento de los usuarios con respecto a distintos diseños de la línea amarilla en el borde del andén. El estudio demostró que los tiempos de demoras no se vieron afectados negativamente por un mayor ancho de línea amarilla, y por ende no hubo información sobre un impacto en las operaciones de las estaciones. Además, las observaciones realizadas en terreno demostraron que los pasajeros generalmente están más alejados del borde del andén que antes de la prueba, y cuando menos se respetaba la línea era cuando la gente no alcanzaba a subirse al tren, dejando a los pasajeros esperando el próximo tren en el andén. En ese caso, los pasajeros avanzaban para subir al tren, pero no retrocedían detrás de la línea amarilla si no podían abordar.

Asimismo, en el caso de Metro de Santiago, algunos autores como Amestoy (2015) han estudiado diferentes variables para definir accesibilidad y los tipos de pasajeros en estaciones basadas en los Decretos 142 y 50 amparados en la Ley de Accesibilidad Universal (2010) usados para el diseño de estos espacios. La autora pone énfasis en variables como la línea amarilla de seguridad en el andén, la cual debe incluir pavimento táctil para poder ser detectada por pasajeros con movilidad reducida, sin embargo no identifica el efecto que esto produce en los pasajeros que suben o bajan del tren. Según el mismo estudio (Amestoy, 2015) el servicio SENADIS establece que las estaciones deben tener al menos un 70% de accesibilidad.

A pesar de los avances en investigación, se requieren nuevos estudios para determinar el efecto de estos elementos en el comportamiento de pasajeros, siendo este el principal objetivo de estudio.

3. MÉTODO

La metodología usada se basa en observación en terreno y experimentos a escala real. Para estudiar las puertas en andén se escogió dos estaciones de la Línea 6 del Metro de Santiago. Tal como se observa en la Ilustración 1, la estación Ñuñoa cuenta con dichas puertas, pero no posee demarcación en el andén. Por otro lado, la estación Ñuble cuenta con puertas en andén y demarcación para indicar donde se ubican.



Ilustración 1 Puertas en andén con demarcación en estación Ñuble (izquierda) y sin demarcación en estación Ñuñoa (derecha), Línea 6, Metro de Santiago

Ambas estaciones se observaron en noviembre 2018 durante tres días hábiles mediante el uso de cámaras de video ubicadas a 4 m de altura justo arriba de la puerta de andén más utilizada. Se pudo reportar que ambas estaciones poseen una demanda similar de pasajeros que suben y bajan del tren. En la hora punta en Ñuñoa se observó en promedio 13 pasajeros que suben y 9 pasajeros que bajan, lo que equivale a una razón (R) de pasajeros que suben con respecto a los que bajan de 1,6. En el caso de Ñuble en la hora punta se observó en promedio 9 pasajeros que suben y 10 pasajeros que bajan, obteniendo un $R = 1$. El cálculo de R se obtiene mediante la división entre el número total de pasajeros que sube y el número total de pasajeros que baja.

Para medir el efecto de la demarcación en las puertas en andén, se utilizó un modelo conceptual en donde se discretizó la interfaz tren-andén en celdas cuadradas de 40 cm de ancho. Cada celda representa el tamaño de la baldosa del suelo del andén. El supuesto es que cada celda es utilizada por un pasajero que espera la llegada del tren (ver Ilustración 2). Esta forma de dividir la interfaz permite identificar lo siguiente:

- La celda más utilizada, al contar el número de veces que un pasajero pasa por una celda durante la hora punta observada en cada estación.
- Ubicación de los pasajeros que esperan subir al tren (frente a las puertas o a los costados de estas).
- El efecto en los tiempos de subida y bajada para cada caso. En el caso del tiempo de subida se calculó la diferencia entre el último pasajero que sube y el primero que sube. El mismo cálculo se realizó para la bajada. Además, se calculó el tiempo de subida por pasajero haciendo la división entre el tiempo de subida y el número de pasajeros que suben. Lo mismo se calculó para el tiempo de bajada por pasajero.
- El efecto en la formación de filas de flujo para pasajeros que bajan del tren.
- La posición de los pasajeros dentro del tren no fue analizada en este estudio, sin embargo se considerará como futura investigación.

Para estudiar la accesibilidad se consideró la Línea 1 del Metro de Santiago, la cual incluye 27 estaciones subterráneas y 20,4 km de longitud, siendo la más antigua y la que mayor demanda

posee con casi un 40% de toda la red (Metro de Santiago, 2017). Se observó la accesibilidad durante la hora valle para poder medir 8 variables en la interfaz tren-andén. Las variables seleccionadas fueron acordadas con el equipo de Metro de Santiago tomando como base el estudio de Amestoy (2015), la Ley de Accesibilidad Universal (2010) y los estándares del Metro de Londres (2012). La Tabla 1 muestra las variables seleccionadas para medir la accesibilidad.

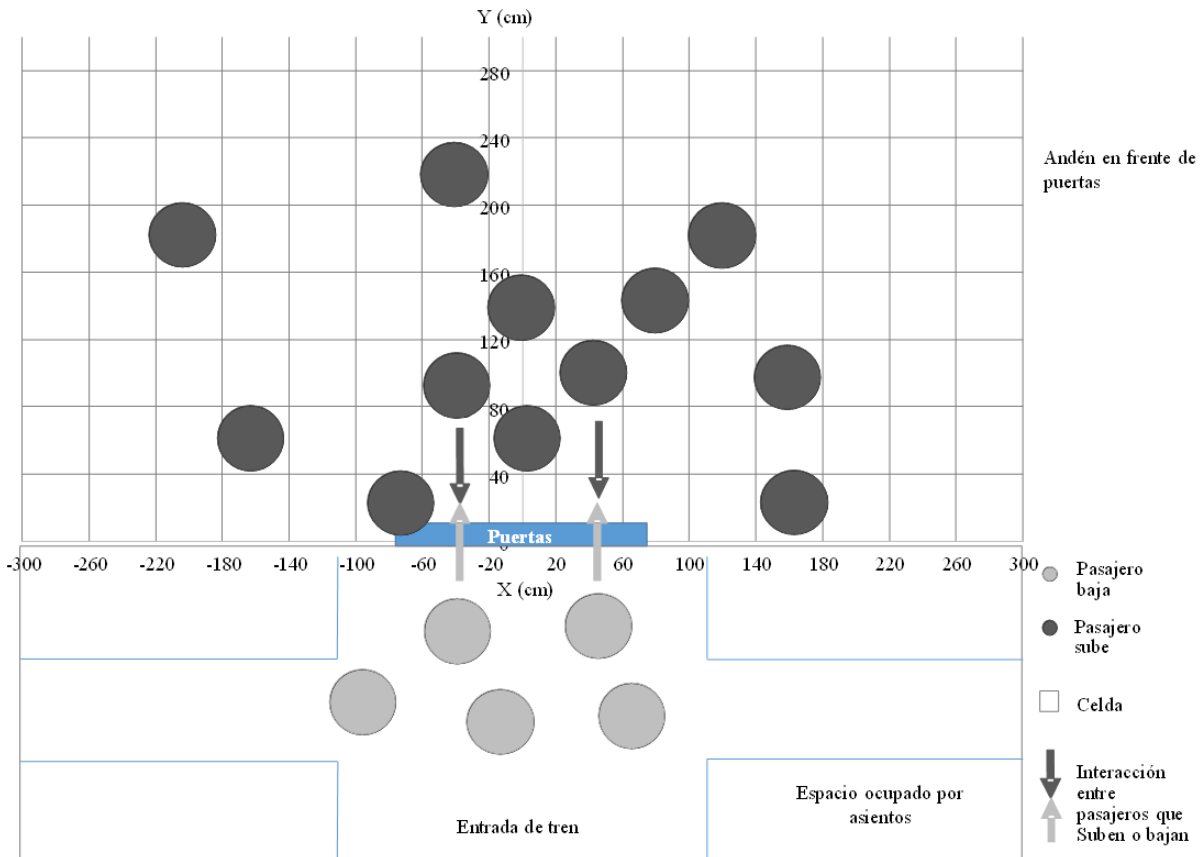


Ilustración 2 Modelo conceptual de la interfaz tren-andén discretizado al frente de las puertas

Luego de la observación en terreno, se definió una métrica de evaluación en las estaciones estudiadas. Se consideró que todas las variables son igual de importantes, y por ende poseen el mismo ponderador. El ponderador permitió ver cuánto porcentaje de accesibilidad posee cada estación observada en Línea 1. Como existen 8 variables, entonces cada una de ellas representa un 12,5 %. Entonces, por ejemplo, si una estación cumple solo con 4 variables, tendrá un 50% de accesibilidad. Es decir, el porcentaje de cumplimiento se va sumando a medida que las variables van cumpliendo en la observación realizada. Finalmente, se realizó un experimento en el Laboratorio de Dinámica Humana (LDH) de la Universidad de los Andes para simular diferentes configuraciones de línea amarilla. En dicho experimento se incluyó personas con discapacidad o movilidad reducida, en donde 2 personas eran de edad avanzada, de las cuales una de ellas padecía de hemiparesia, la que se define como una enfermedad, que técnicamente, es una disminución del movimiento sin llegar a la parálisis en alguna extremidad o lado del cuerpo (sordera y otros problemas auditivos). Además, se contó con una persona con silla de ruedas y una persona que usaba un coche para guaguas (ambos eran jóvenes de 24 años). A estas 4 personas, se consideró

otras 21 personas quienes eran estudiantes sin problemas de discapacidad o movilidad, tendiendo así un total de 25 personas que suben y bajan del tren. De los 25 voluntarios, 8 utilizaban el Metro de Santiago cinco o más veces a la semana, es decir un 32%, incluyendo en este grupo a la persona en silla de ruedas y la persona con hemiparesia, lo cual es importante destacar. Los participantes generaron una densidad en el andén de 4 personas por metro cuadrado, la cual se mantuvo durante las 10 repeticiones por escenario. Con el fin de que la prueba fuese más similar a la realidad del Metro, se le entregó a cada voluntario un número antes de iniciar el experimento, para luego nombrar 5 números elegidos aleatoriamente antes de iniciar cada repetición, con el fin de que los pasajeros con los números escogidos debiesen desplazarse de manera “apurada” al momento de subir al andén e ingresar al tren. Estos pasajeros fueron variando para repetición de subida y bajada.

Tabla 1 Variables seleccionadas para medir la accesibilidad en la interfaz tren-andén

Variable	Criterio	Fuente
Espesor de línea amarilla con banda táctil	Debe ser de 24 cm, tener podos y color amarillo	Amestoy (2015)
Distancia entre el borde del andén y la línea amarilla	Debe ser mayor a 0,8 m	Amestoy (2015)
Pavimento guía en andén	Debe incluir franjas longitudinales de 0,4 m de ancho	DS 50 de Ley Accesibilidad Universal (2010)
Pavimento alerta en andén (táctil)	Debe tener textura de podos y ancho de 0,4 - 0,8 m	DS 50 de Ley Accesibilidad Universal (2010)
Ancho de andén	Debe ser mayor a 3,0 m	Metro de Londres (2012)
Asientos en andén	Debe tener capacidad y diseño accesible	Amestoy (2015)
Intercomunicador en andén	Debe ser a una altura no mayor de 1,2 m	DS 50 de Ley Accesibilidad Universal (2010)
Ascensor	Debe tener capacidad para transportar personas con movilidad reducida	DS 50 de Ley Accesibilidad Universal (2010)






Respecto a los escenarios de simulación, se probaron 4 casos de espesor de línea amarilla: 5 cm (cinta adhesiva amarilla), 10 cm (doble cinta adhesiva amarilla), 24 cm (PVC con podos amarillos) y 40 cm (carbono y fibra de vidrio reforzada con podos amarillos). Los primeros 3 casos están basados en observación existente en la Línea 1 del Metro de Santiago. Sin embargo, se quiso probar un cuarto espesor (40 cm), para ver un nuevo diseño de línea amarilla. En todos los casos se dejó una distancia entre el borde del andén y la línea amarilla de 1 m (incluyendo el espesor de la línea amarilla). De esta manera, en el caso de un espesor de 40 cm, se mantendría la distancia de seguridad establecida por Metro de Santiago de 60 cm hasta el borde del andén.

Para determinar cuál de estos escenarios es más efectivo se midió lo siguiente:

- Se observó la cantidad de veces que se respetaba la línea amarilla, considerando cuando una persona cruzaba antes de que se diera la instrucción de abrir puertas del tren.
- Al finalizar el experimento los participantes debían llenar una encuesta para registrar su experiencia indicando que tan seguro y cómodo se sintió.

Con el fin de saber cuál fue la línea que más se respetó en la experimentación, se utilizó la Tabla 2 de evaluación la cual muestra el nivel de cumplimiento que hay por parte de los pasajeros hacia la línea amarilla (Metro de Londres, 2015).

Tabla 2 Nivel de cumplimiento por parte de los pasajeros (adaptado de Metro de Londres, 2015)

Nivel de cumplimiento	Descripción	Representación
5	La línea amarilla se respeta por parte de todos los pasajeros	
4	Poco porcentaje de pasajeros no respeta la línea amarilla (< 50%)	
3	La línea amarilla es respetada por un 50% de pasajeros	
2	Alto porcentaje de pasajeros no respeta la línea amarilla (> 50%)	
1	La línea amarilla no se respeta por ningún pasajero	

En el experimento, la maqueta del vagón es de 2,5 m de ancho por 3 m de largo. Las puertas representan el ancho de la Línea 1 del Metro de Santiago, es decir, 1,65 m. El andén es de 3 m de largo por 3 m de ancho. Para que las personas con movilidad reducida pudieran ingresar al andén se construyó una rampa de acceso. Las cámaras de video se instalaron a 2,5 m en el techo del laboratorio (visión desde arriba) y a 2 m de distancia desde el andén (visión lateral). Estas cámaras permitieron observar la posición de los participantes, la cual fue procesada mediante inteligencia artificial para el conteo automático (ver Ilustración 3).

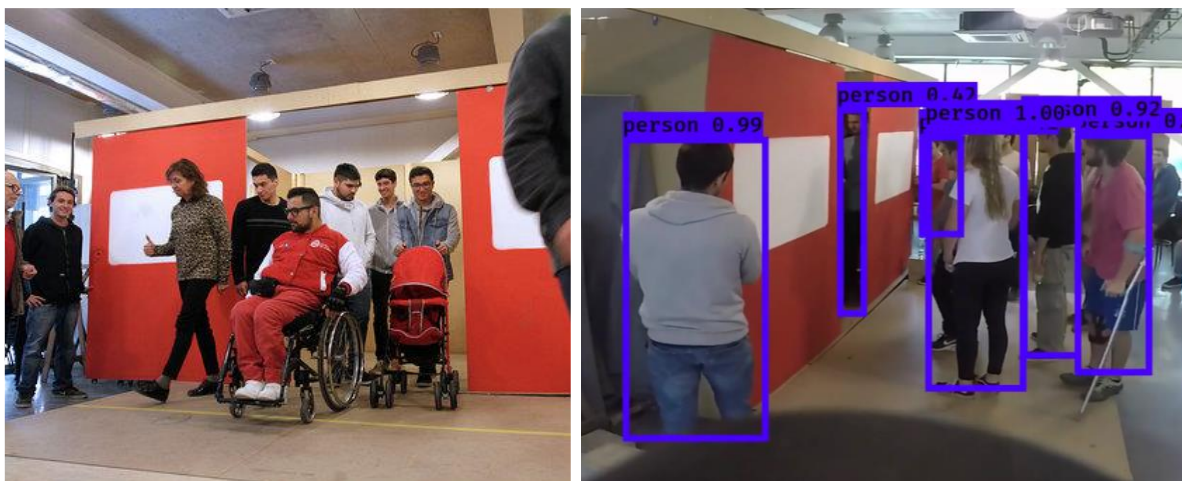


Ilustración 3 Experimentos en el Laboratorio de Dinámica Humana (LDH) de la Universidad de los Andes usando técnicas de detección de personas

4. RESULTADOS

4.1 Efecto de puertas en andén con demarcación

La Ilustración 4 muestra la aplicación del modelo conceptual aplicado a las estaciones Ñuñoa y Ñuble. Se contó el número de veces que cada celda fue usada en pasajeros que esperan subir el tren durante la hora punta observada. En promedio de los 3 días observados se puede apreciar que el caso donde las puertas en andén poseen demarcación en el andén (Ñuble) una menor cantidad de pasajeros esperan al frente de las puertas en comparación con el caso sin demarcación (Ñuñoa).

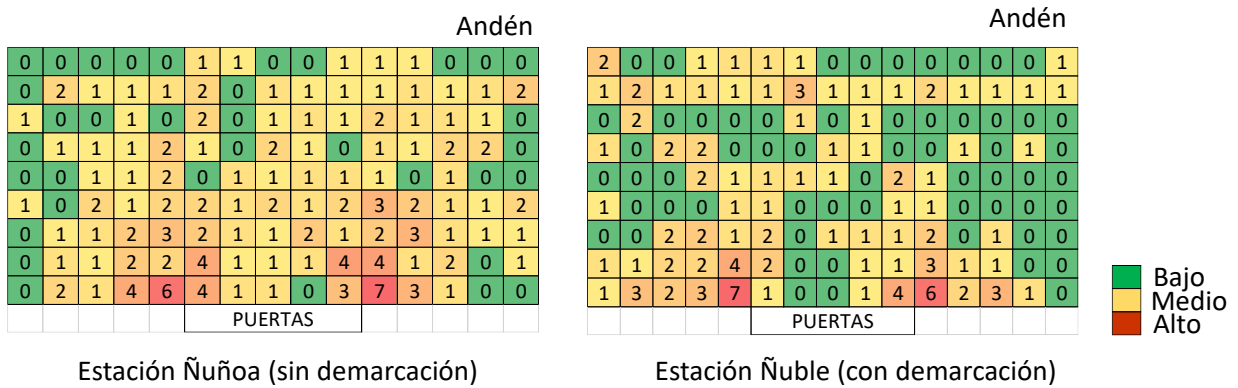


Ilustración 4 Número de veces en promedio que se usó cada celda cuando las puertas en andén no tienen demarcación (izquierda) y con demarcación (derecha) en las estaciones de Metro de Santiago

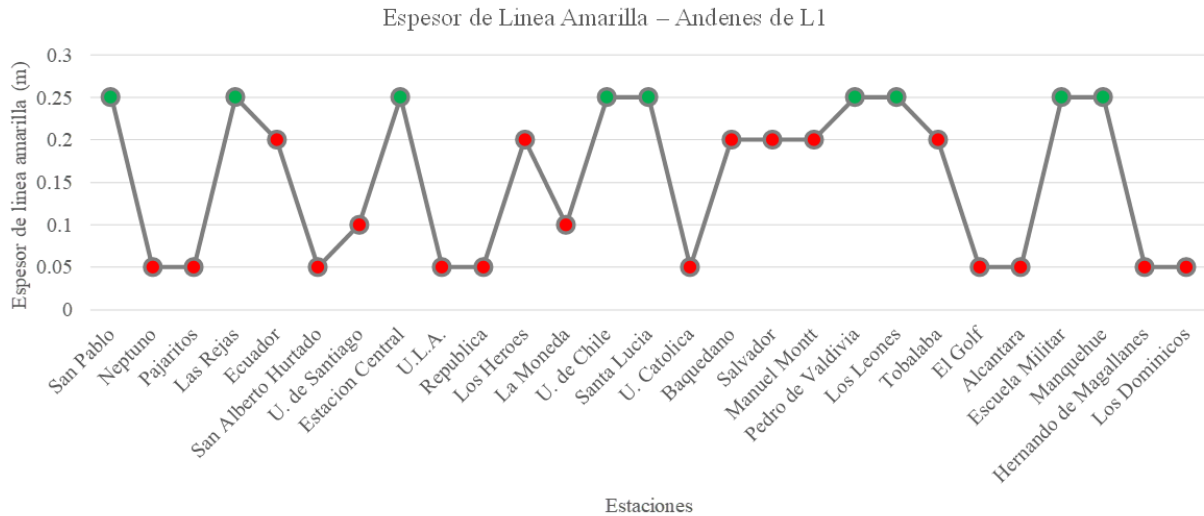
Como consecuencia esto tiene un efecto en el número de filas de flujo de salida para pasajeros que bajan del tren. En el caso de Ñuble como hay menos pasajeros esperando frente a las puertas, se observó que los pasajeros que bajan del tren logran formar entre 1 y 2 filas de flujo. Sin embargo, en el caso de Ñuñoa solo se forma una sola fila de flujo para salir del tren. En términos de tiempo, el tiempo de bajada promedio por pasajero en Ñuble es de 0,88 s/pax, mientras que en el caso de Ñuñoa es de 0,92 s/pax, es decir un 4% más.

4.2 Efecto de puertas en andén con demarcación

Las 8 variables descritas en la Tabla 1 fueron observadas en la interfaz tren-andén de la Línea 1. Los resultados obtenidos muestran que un 96% de las estaciones cuenta con ascensores, pues al momento del estudio solo Estación Central aún no poseía este elemento, el cual ya se encuentra en fase constructiva o finalizada junto con mejoras adicionales a la estación en accesos y pasillo de tránsito adicional para mejorar desplazamientos. Además, un 100% posee asientos en andén, ancho de andén mayor a 3,0 m, intercomunicador a una altura menor a 1,2 m, y distancia entre el borde de andén y la línea amarilla mayor a 0,8 m.

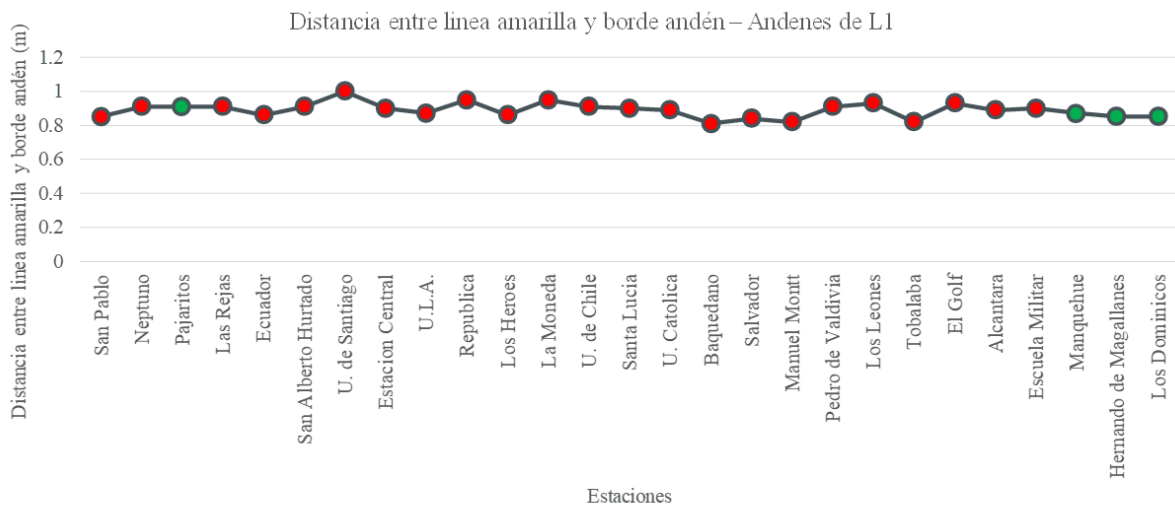
Si bien la interfaz tren-andén de la Línea 1 cumple con 6 de las 8 variables definidas en la Tabla 1, existe una variabilidad en el espesor de la línea amarilla e incluso esta no posee banda táctil (ver

Ilustración 5). Asimismo, no todas las estaciones poseen pavimento guía y alerta (ver Ilustración 6). En resumen, solo 33% de las estaciones cumplen el estándar de línea amarilla, según lo considerado en la Tabla 1, y 15% poseen pavimento guía y alerta.



- Con banda táctil en línea amarilla de seguridad
- Sin banda táctil en línea amarilla de seguridad

Ilustración 5 Accesibilidad estaciones con respecto al espesor de la línea amarilla y su uso con banda táctil en la interfaz tren-andén



- Con pavimento de guía y alerta en andén
- Sin pavimento de guía y alerta en andén

Ilustración 6 Accesibilidad estaciones respecto a la distancia entre el borde de andén y la línea amarilla junto con el uso de pavimento guía y alerta en la interfaz tren-andén

Como consecuencia, y aplicando la métrica de accesibilidad en base a porcentajes equitativos por cada variable. Se puede observar en la Ilustración 7 que las estaciones menos accesibles son U.L.A. y República, mientras que la más accesible es Manquehue, llegando a un 100% de cumplimiento en accesibilidad. Con esto, solo 9 estaciones (es decir un 33%) cumplirían el mínimo porcentaje de accesibilidad definido como 70% según el servicio SENADIS (Amestoy, 2015).

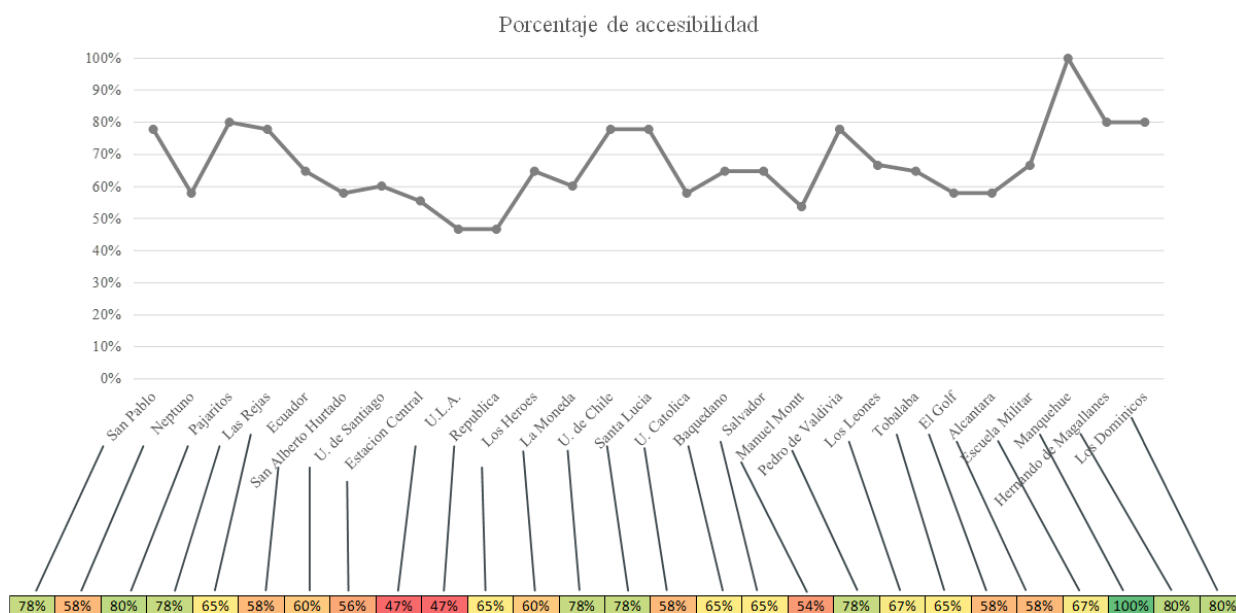


Ilustración 7 Porcentaje de accesibilidad total en la interfaz tren-andén en estaciones de Línea 1

4.3 Experimentos en el Laboratorio de Dinámica Humana (LDH)

De los resultados en la Tabla 3, se puede apreciar que la línea amarilla que más es respetada por parte de los participantes del experimento en el LDH es la de 40 cm, obteniendo un puntaje de 4,7. Luego la sigue la línea de 10 cm con un puntaje de 4,2. Con un puntaje similar le sigue la línea de 24 cm, con un puntaje de 4,1. Finalmente, la línea menos respetada por los pasajeros es la línea de 5 cm, con un puntaje de 3,7.

Con estos resultados se comprueba algo esperado, donde un mayor espesor de la línea amarilla es más respetado por parte de los pasajeros. Claramente la de menor espesor fue la que menos se respetó por parte de los pasajeros, obteniendo el puntaje más bajo de los 4 escenarios planteados. Las líneas con espesores de 10 y 24 cm obtuvieron un puntaje casi idéntico, destacando que en ambos casos el puntaje obtenido fue mayor al de la línea de 5 cm, pero menor que la de 40 cm. Por último, se puede apreciar como la línea de 40 cm fue respetada en la mayoría de los casos, obteniendo un puntaje casi perfecto.

Tabla 3 Nivel de cumplimiento para cada repetición del experimento

Escenarios de línea amarilla	Repetición	Nivel de cumplimiento	Promedio
5 cm	1	4	3,7
	2	3	
	3	4	
	4	4	
	5	3	
	6	4	
	7	3	
	8	4	
	9	3	
	10	5	
10 cm	1	5	4,2
	2	4	
	3	4	
	4	5	
	5	4	
	6	4	
	7	4	
	8	3	
	9	5	
	10	4	
24 cm	1	5	4,1
	2	4	
	3	5	
	4	3	
	5	4	
	6	4	
	7	3	
	8	5	
	9	4	
	10	4	
40 cm	1	4	4,7
	2	5	
	3	5	
	4	4	
	5	5	
	6	5	
	7	4	
	8	5	
	9	5	
	10	5	

En relación a las encuestas, se les preguntó a los pasajeros sobre su percepción sobre la seguridad que otorgaban las cuatro líneas amarillas, asignando un puntaje a cada una de ellas con la siguiente escala: 1. Muy inseguro, 2. Inseguro, 3. Indiferente, 4. Seguro, 5. Muy seguro. Los resultados obtenidos demostraron que los espesores de 5 y 10 cm son los que se perciben como más inseguros por parte de los pasajeros. Cabe destacar que ambas líneas son del mismo material. Además, las líneas de 24 y de 40 cm tienen un puntaje muy alto en cuanto a la seguridad, y no muestran mucha variación entre sí, lo que hace cuestionar lo propuesto inicialmente. Se pensaba que la línea de 40 cm al ser más ancha y de un material de fibra de carbono y vidrio reforzado, haría sentir al pasajero más seguro que con el material de PVC (24 cm). Luego de lo observado, se puede ver que esto no es así, siendo las puntuaciones casi iguales. En este sentido, 14 personas encuestadas opinaron que la línea amarilla era un método seguro para prevenir los accidentes en la interfaz tren-andén. Varias de estas respuestas aludían a que con esta línea aumentaba la distancia entre el andén y el tren, cuando en realidad no es así. Para todos los escenarios, se conservó una distancia de 1 m desde el tren hasta el inicio de la línea amarilla, incluyendo su espesor. Por lo tanto, al tener un mayor espesor de línea amarilla está genera una sensación de tener más distancia. Por otro lado, 9 personas opinaron que la línea de 40 cm era poco segura, debido a que podía provocar un tropiezo dada su textura táctil (podos). Por último, cabe destacar que la persona con silla de ruedas escogió la de 5 cm como la más segura, debido a que fue por la que menos le costó pasar. También mencionó que la de 40 cm era difícil de pasar debido a la textura táctil (podos), ya que le costaba moverse cuando iba solo.

Asimismo, se les pregunto acerca de la percepción de comodidad al momento de utilizar las distintas líneas amarillas. La escala utilizada fue la siguiente: 1. Muy incómodo, 2. Incómodo, 3. Indiferente, 4. Cómodo, 5. Muy cómodo. El espesor de 5 cm fue percibido como el escenario de menor comodidad. Sorprendentemente, la que le sigue con menos comodidad es la línea de 40 cm, refutando el pensamiento inicial que se tenía. Además, la de 24 cm es la mejor evaluada. Se pensaba que, al tener una mayor seguridad el usuario tendría a su vez una mayor comodidad, pero no fue así. Del total de voluntarios, 12 personas se refirieron a la línea de 40 cm como mala, debido a su incomodidad. Varias opiniones mencionaban que, debido a sus toperoles (textura táctil con podos), era incómodo pasar por sobre ella y podría provocar un tropiezo, sobre todo personas con tacos. Por otro lado, 9 personas se pronunciaron positivas, gracias a que otorgaba más espacio y se veía que se respetaba más por parte de las personas. Estas personas que se pronunciaron de manera positiva siempre aludían a que, como la gente sentía más la línea, estos la respetaban más, generando más espacio y disminuyendo el riesgo de accidentes. Cabe destacar que la persona con silla de ruedas evaluó a la línea de 40 cm como muy incómoda, opinando que la textura táctil con podos es incómodo para pasar. Por otro lado, la persona de tercera edad que padecía de hemiparesia calificó a esta misma como muy cómoda, dado que “la seguridad ofrece comodidad”.

Además, se realizó la encuesta extra para la persona en silla de ruedas y a dos de los voluntarios que pertenecen a la tercera edad. Primero, se les pidió que enumeren del 1 (más relevante) al 5 (menos relevante) las variables que afectan la accesibilidad en el tren. Para la persona en silla de ruedas, las variables más relevantes fueron la distancia vertical y horizontal con respecto al andén, seguido por los asientos o espacios preferentes. En el caso de las personas de tercera edad, el voluntario quién padecía de hemiparesia, escogió la variable más importante como el pasamanos, seguido por la distancia vertical y horizontal con respecto al andén. Por último, la mujer de tercera edad escogió los asientos o espacios preferentes en primer lugar, seguido por el dispositivo de

comunicación en caso de emergencia. Cabe destacar que la variable que menos relevancia tuvo fue la de la puerta con señal audible y sonora.

Luego, a las mismas personas se les pidió que enumeren del 1 (más relevante) al 5 (menos relevante) las variables que afectan la accesibilidad en el andén. Las tres personas que realizaron esta encuesta eligieron la variable más relevante como el ascensor. Luego, la persona con hemiparesia eligió la información audible y visual, mientras que los otros dos eligieron el ancho del andén. Cabe destacar que la línea amarilla fue escogida como número 3 por la persona en silla de ruedas y la que padecía de hemiparesia, a excepción de la mujer de tercera edad, la cual escogió información audible y visual. La variable menos relevante para estos encuestados fue el pavimento guía y alerta podo táctil.

Por último, se les pidió que opinaran sobre la seguridad que ofrece Metro de Santiago. La persona en silla de ruedas se mostró muy disconforme, mientras que las otras dos muy conformes. Como comentarios, mencionaron que la gente no respeta a las personas con silla de ruedas, lo cual muestra una falta de educación.

5. CONCLUSIONES

Esta investigación busca estudiar el efecto de medidas de gestión de pasajeros y accesibilidad en el comportamiento de pasajeros para la interfaz tren-andén. Para ello se realizó observación en estaciones del Metro de Santiago y experimentos a escala real en el Laboratorio de Dinámica Humana de la Universidad de los Andes.

Respecto a la utilización de demarcación en puertas en andén, se observó un efecto positivo ya que los pasajeros se ubican más a los costados de las puertas que al frente de estas. Como consecuencia, el número de filas de flujo para bajar del tren aumenta, y por ende disminuye el tiempo de bajada por pasajero. En el caso estudiado en Línea 6, esta reducción fue de 4%.

En relación a la accesibilidad en andenes de la Línea 1, se pudo observar que solo una estación (Manquehue) cumple el 100% de las variables definidas para obtener accesibilidad universal. Las 26 estaciones restantes poseen un porcentaje que varía entre 50% y 90%. Las estaciones con más bajo porcentaje son U.L.A. y República. El plan de accesibilidad de Metro de Santiago, se basa principalmente en proveer ascensores en andenes, el cual está dando sus frutos ya que un 96% de las estaciones cuenta con estos elementos. Sin embargo, un 75% de las estaciones no posee pavimento guía y alerta, incluso un 66% no cuenta con línea amarilla con banda táctil. Incluso se puede decir que un 67% de las estaciones no cumple el mínimo de accesibilidad de 70%.

Al analizar los resultados obtenidos en los experimentos, se puede concluir que la línea amarilla que cumple tanto en el ámbito de seguridad como de comodidad es la de 24 cm, la cual está presente en algunas estaciones de la Línea 1 del Metro de Santiago. Además, la línea de 5 y 10 cm no entrega seguridad a los pasajeros, por lo que tampoco entrega comodidad, a excepción de la persona con silla de ruedas, pues este espesor no incluía textura táctil. También se observó que la mayoría de las personas opinaban que mientras más ancha era la línea amarilla, aumentaba el espacio entre el tren y el andén, lo cual no era así, manteniéndose siempre la distancia de 1 m. Esto hace pensar que un mayor ancho de línea amarilla hace sentir al usuario una mayor distancia, haciéndolo respetar más la línea, y al mismo tiempo aumenta la sensación de seguridad. La línea amarilla de 40 cm no

se sintió cómoda para muchos voluntarios en el experimento, lo que hace pensar que no es una buena alternativa para el Metro. Este espesor (40 cm) es percibido como inseguro por personas en silla de ruedas, ya que los podos producen vibración y pueden producir caídas al pasar. Incluso algunas personas sin discapacidad o movilidad reducida opinan de igual forma. Al ver los resultados se puede concluir que la línea de 24 cm es la ideal para utilizar en el Metro de Santiago.

Este estudio tiene limitaciones. Una de ellas es que no fue posible realizar un análisis estadístico para identificar si el uso de puertas en andén tienen un impacto en el comportamiento de pasajeros y en los tiempos de subida y bajada. Asimismo, solo se realizó un análisis descriptivo para estudiar la accesibilidad en la interfaz tren-andén, en donde cada variable de accesibilidad tiene un mismo peso sobre el porcentaje de accesibilidad calculado, lo cual en la práctica puede no ser tan representativo considerando diferentes tipos de pasajeros (por ejemplo, personas ciegas pueden valorar más la línea amarilla que un pasajero en silla de ruedas). Es por ello, que como recomendaciones futuras, se propone estudiar otras variables que afectan la gestión de pasajeros y accesibilidad en estaciones de metro, teniendo en cuenta los distintos espacios que se encuentran presentes en un viaje y en futuros experimentos tener un mayor número de repeticiones o tamaño muestral para realizar un análisis estadístico. Asimismo, se sugiere extender el estudio para analizar el impacto de las medidas de gestión de pasajeros y accesibilidad, considerando heterogeneidad de las características asociadas a la movilidad reducida, utilizando metodologías de decisión multicriterio como el AHP. Si bien Metro a mejorado su accesibilidad con respecto a la Línea 1, no es suficiente para las personas con distintas discapacidades, ya que como se vio en este estudio, la accesibilidad universal depende tanto de variables físicas como funcionales.

AGRADECIMIENTOS Los autores de este estudio quisieran agradecer en especial a Claudia Vottero de la Escuela de Terapia Ocupacional y a quienes participaron del experimento en el LDH de la Universidad de los Andes. Además, se quisiera dar gracias a Metro de Santiago por facilitar el acceso a estaciones, junto con agradecer a Andrea Boudeguer de BAU Accesibilidad y Katharina Kleeberg de DPV por facilitar los materiales en los experimentos. Por último, se quisiera mencionar que este estudio tuvo el apoyo de la Universidad de los Andes, Chile, Fondo de Ayuda a la Investigación; ANID, Fondo de Apoyo a la Formación de Redes Internacionales entre Centro de Investigación, Proyecto REDES190054; ANID, FONDECYT, Proyecto 11200012.

REFERENCIAS

Amestoy, A. N. (2015) Definición de estándares de accesibilidad universal y diagnóstico del Metro de Santiago. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago, Chile.

Banerjee, A. Maurya, A.K. y Lämmel G. (2018). A review of pedestrian flow characteristics and level of service over different pedestrian facilities. *Collective Dynamics*, 3, 1-52

Clarke, R. V. y Poyner, B. (1994) Preventing suicide on the London Underground. *Social science & medicine*, 38, 443-446.

Coxon, S. Burns, K. y De Bono, A. (2010) Design strategies for mitigating passenger door holding behaviour on suburban trains in Paris, Paper presented at the 33rd Australasian Transport Research Forum Conference, 29 September - 1 October, Canberra.

De Ana Rodríguez, G. Seriani, S. y Holloway, C. (2016) Impact of platform edge doors on passengers' boarding and alighting time and platform behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2540, 102-110.

DS 50 (2016). Normativa de Accesibilidad Universal. Decreto Supremo 50. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.

Enginöz, E. B. y Şavlı, H. (2016) Examination of accessibility for disabled people at metro stations. *International Journal of Architecture and Planning*, 4, 34-48.

Estudio Nacional de Discapacidad (2015). Servicio Nacional de Discapacidad, Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Chile.

Evans, G. W. y Wener, R.E. (2007) Crowding and personal space invasion on the train: please don't make me sit in the middle. *Journal of Environmental Psychology*, 27, 90-94.

Fruin, J.J. (1971) Designing for pedestrians: a level-of-service concept. *Highway Research Record* 377, 1-15.

Kyriakidis, M. Hirsch, R. y Majumdar, A. (2012) Metro railway safety: an analysis of accident precursors. *Safety Science*, 50, 1535-1548.

Ley de Accesibilidad Universal (2010) Establece normas sobre igualdad de oportunidades e inclusión social de personas con discapacidad.

Metro de Londres (2012) Station Planning Standards and Guidelines, Londres, Reino Unido.

Metro de Londres (2015) Yellow Line Trial. Metro de Londres, Londres, Reino Unido.

Metro de Santiago (2017) Memoria Anual. Metro de Santiago, Chile. Recuperado el 14 de junio 2019 en: <https://www.metro.cl/documentos/memoria-anual-2017.pdf>

Prasertsubpakij, D. y Nitivattananon, V. (2012) Evaluating accessibility to Bangkok Metro Systems using multi-dimensional criteria across user groups. *IATSS Research*, 36, 56-65.

Qu, L. y Chow, W. K. (2012) Platform screen doors on emergency evacuation in underground railway stations. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 30, 1-9.

RSSB (2015) Platform Train Interface Strategy. Rail Safety and Standards Board, London, UK.

SENADIS (2016). Accesibilidad: Fundamentos y Bases. Servicio Nacional de Discapacidad, Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Chile.

Seriani, S. y Fernández, R. (2015) Planning guidelines for metro–bus interchanges by means of a pedestrian microsimulation model. *Transportation Planning and Technology*, 38, 569-583.

Seriani, S. de Ana Rodríguez, G. y Holloway, C. (2017a) The combined effect of platform edge doors and level access on the boarding and alighting process in the London Underground. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2648, 60-67.

Seriani, S. Fujiyama, T. y Holloway, C. (2017b) Exploring the pedestrian level of interaction on platform conflict areas at metro stations by real-scale laboratory experiments. *Transportation Planning and Technology*, 40, 100-118.

Still, K. (2000) *Crowd Dynamics*. Ph.D. Thesis, University of Warwick.

TRB (2000) *Highway Capacity Manual 2000*, Special Report 209, Transportation Research Board, Washington D.C.

TRB (2013) *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, 3rd Edition, Report 165, Transportation Research Board, Washington D.C.

TVN (2019) Informe de Metro de Santiago detecta aumento en casos de suicidio en la red. 24 Horas. Recuperado el 13 de junio 2019 en: <https://www.24horas.cl/nacional/informe-de-metro-de-santiago-detecta-aumento-en-casos-de-suicidio-en-la-red-3210135>

Tyler, N.A. (2002) *Accessibility and the bus system: from concepts to practice*. Thomas Telford, London.

Vallejo-Borda, Cantillo, Rodriguez-Valencia (2020). A perception-based cognitive map of the pedestrian perceived quality of service on urban sidewalks. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 73, 107-118.