



Universidad EAN

**Propuesta de Soluciones para Mejorar el Ingreso de Pasajeros en la Ruta M82 en el
Portal de TransMilenio del 20 de Julio**

Autor

Danilo Alberto Ortiz Reyes

Director

Álvaro David Arévalo Salazar

Facultad De Ingeniería

Bogotá D.C.

10 de diciembre 2023

Proyecto de Integración

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo proponer soluciones en la plataforma donde la ruta M82 recoge pasajeros en el Portal de TransMilenio del 20 de Julio en Bogotá. El principal objetivo de esta iniciativa es proponer una solución de mejora para el ingreso de pasajeros en la ruta M82 del Portal de TransMilenio del 20 de Julio, para el flujo de personas que abordan la ruta, con el propósito de mitigar las aglomeraciones que a menudo ocurren en la entrada del autobús durante las horas pico de la mañana en días laborables. Estas aglomeraciones en ocasiones pueden causar accidentes debido a estampidas durante el abordaje, robos, acoso a mujeres, situaciones violentas entre usuarios, y también no es una ruta amigable para personas con discapacidades, ancianos, y mujeres embarazadas o con niños. A través de un análisis detallado, se presenta el problema actual y se argumenta la viabilidad y beneficios de esta solución.

Palabras Clave: accidentes, acoso, aglomeraciones, ancianos, Bogotá, buses duales, buses híbridos, congestiones, conflictos, cultura ciudadana, discapacidad, movilidad, mujeres embarazadas, pasajeros, portal de TransMilenio 20 de julio, robos, ruta m82, seguridad, transporte público.

Abstract

This project aims to propose a solution on the platform where the M82 route picks up passengers at the 20 de Julio TransMilenio Portal in Bogotá. The main objective of this initiative is to propose an improvement solution for the boarding of passengers on the M82 route at the 20 de Julio TransMilenio Portal, for the flow of people boarding the route, with the purpose of mitigating the crowds that often occur at the bus entrance during peak morning hours on weekdays. These crowds can sometimes cause accidents due to stampedes during boarding, thefts, harassment of women, violent situations among users, and it is also not a friendly route for people with disabilities, the elderly, and pregnant women or women with children. Through a detailed analysis, the current problem is presented and the feasibility and benefits of this solution are argued.

Keywords: accidents, Bogotá, civic culture, conflicts, congestions, crowds, disability, dual buses, elderly, harassment, hybrid buses, mobility, passengers, public transport, pregnant women, route m82, security, thefts, TransMilenio portal 20th of July.

Tabla de contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	2
Introducción	6
Objetivos	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Definición del problema	9
Justificación	19
Marco teórico	21
Ficha técnica	37
Análisis de restricciones	38
Metodología para la selección y desarrollo de la solución.....	42
Conclusiones	60
Referencias.....	61

Proyecto de Integración

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Operación Diaria Ruta M80-L80.....	11
Ilustración 2. Nuevo servicio Troncal M82 – L82.....	13
Ilustración 3. El servicio M80-L80 deja de operar	14
Ilustración 4. Aglomeración en Ruta M82.....	15
Ilustración 5. Jalen Hurts y su línea ofensiva haciendo un QB Sneak en primero y gol en el campo de los Chiefs.....	17
Ilustración 6. Maul de los Sprinkboks después del line.....	17
Ilustración 7. Ingreso con cordón humano a la Ruta M82.....	18
Ilustración 8. Mapa de calor de densidad de pasajeros en la Estación Union	24
Ilustración9. Ingreso de usuarios a la ruta M82 en hora pico entre semana en la mañana	26
Ilustración 10. <i>Dibujo PEDS.</i>	46
Ilustración 11. <i>Dibujo Plataforma Ingreso Ruta M82</i>.....	47
Ilustración 12. <i>Dibujo Soporte Anticolados PEDS.</i>	48
Ilustración 13. Plano de Ubicación Zona L	48
Ilustración 14. Parada Alternativa Sur Oriente Estación.....	53
Ilustración 15. Dibujo Barandas, Lateral.	54
Ilustración 16. <i>Dibujo Barandas de Acceso, Vista Aérea.</i>	55

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de Modelo M/M/1 Teoría de Colas	51
Tabla 2. Matriz de Comparación de Soluciones	56
Tabla 3. Matriz de Costos para las Tres Soluciones	58

Proyecto de Integración

Introducción

Según García *et al.* (2015), “las aglomeraciones pueden ser factor determinante de seguridad personal que podría incidir en la percepción de riesgo y con ello en las preferencias de transporte y rutas alternas” (p. 5). De hecho, en Bogotá, las aglomeraciones son constantes en Bancos, Centros Comerciales, paradas del SITP, estaciones y portales del sistema de transporte TransMilenio, etc.

Como medio principal de transporte público en Bogotá, el ciudadano del común que se transporta a diario, generalmente de sur a norte en las mañanas y de norte a sur en las tardes, debe utilizar el sistema de transporte de TransMilenio. Al respecto, Caballero (2020) afirma que:

TransMilenio tiene 114 kilómetros de troncales y, según las cifras que nos entregó la empresa de TransMilenio, moviliza a 2,3 millones de pasajeros diarios que han pagado su entrada al sistema. A esto se le puede sumar un 15,36 por ciento de colados según el cálculo de un estudio contratado por TransMilenio con la Universidad Nacional de Colombia, para un total de 2,65 millones de pasajeros diarios. (Caballero, 2020, párr. 3).

Al anterior dato suma que el transporte público y la malla vial no crecen al mismo ritmo que crece la población. En palabras del Rodríguez (2022):

De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en los últimos veinte años la población en las cabeceras municipales se ha incrementado un 37.2%, de los cuales en el periodo de 1997-2017 los mayores incrementos se presentaron en Bogotá D.C., Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca y Atlántico. (Instituto de Estudios Urbanos-IEU, 2017).

Ahora bien, sumado a la migración venezolana y a la migración proveniente de otras partes del país por diversos motivos, el sistema de transporte público de Bogotá también se estancó desde al menos el 2016, año en el que se empezó con los planes de contratación para las licitaciones de las nuevas troncales de TransMilenio y el Metro de Bogotá. La ciudad no ha seguido creciendo en infraestructura vial para el transporte público de TransMilenio, al ritmo que crece la población.

Actualmente, las nuevas obras para troncales de TransMilenio, apenas están en ejecución y, como menciona Contreras (2023), se espera que para principios del 2026 se empiecen a entregar troncales como la de la carrera 68 que es transversal para la ciudad de Bogotá.

Con este estancamiento que ha vivido la ciudad, también se enfrenta otro desafío, y es el de un sistema que parece que está quedando obsoleto para la cantidad de demanda con el que se concibió hace 23 años. Tal vez por falta de visión, tal vez por intereses económicos, o por falta de recursos, lo cierto es que al día de hoy los ciudadanos enfrentan una problemática que los obliga a enfrentarse entre sí, y tal vez, no necesariamente sea culpa del sistema; se puede deber a la falta de cultura ciudadana, puesto que se evidencia escasez de respeto hacia el prójimo, falta de tolerancia, paciencia, etc. Sin embargo, el sistema es un agravante para la crisis de valores que enfrentamos sobre todo en situaciones de estrés por la movilidad que nos afecta hoy.

De manera que el problema que se abordará en este proyecto de integración, hace referencia a las aglomeraciones y las dificultades que estas causan a las personas que deben transportarse mediante este sistema, pero más exactamente en un portal de TransMilenio y en una ruta en concreto: la ruta M82 del Portal de TransMilenio del 20 de Julio. Esta ruta es un claro ejemplo de las dificultades que enfrentan los ciudadanos para poder tomar un bus y desplazarse hacia sus destinos. Las aglomeraciones, el desorden y los conflictos entre pasajeros son problemas recurrentes. Por lo anterior, este proyecto propondrá varias soluciones en busca de mejorar la experiencia de los usuarios, así como el flujo de pasajeros que ingresan al bus dual, por lo menos en lo que a esta ruta se refiere.

Proyecto de Integración

Objetivos

Objetivo general

- ✓ Proponer soluciones de mejora para el ingreso de pasajeros en la ruta M82 del Portal de TransMilenio del 20 de Julio, mediante opciones como la reubicación de la ruta, la incorporación de un pasillo adicional o Puertas de Borde de Plataforma (PEDS).

Objetivos específicos

- ✓ Analizar el comportamiento actual de los pasajeros al abordar el bus.
- ✓ Diseñar un sistema que se adapte a las necesidades y características del portal para un mejor ingreso al bus.
- ✓ Comparar las soluciones propuestas con el fin de verificar la más viable en términos económicos, sociales y sostenibles.

Definición del problema

Según la Oficina de Prensa TM (2012), el 14 de septiembre de 2012 se anunció que el Portal 20 de julio se abriría para todos los residentes de Bogotá a partir de las 5:00 a.m. del 15 de septiembre, y que se introducirían dos nuevos servicios que conectarían el Portal 20 de julio con el Portal El Dorado y desde el Portal 20 de julio hasta la Estación San Diego en un circuito.

La ruta de la calle 26 mantendría sus paradas actuales hasta ese momento. Al llegar a la Estación Tercer Milenio, seguiría por la troncal de la Carrera 10, con una parada en la Estación Av. 1ª de mayo, y terminaría en el Portal 20 de julio, desde donde regresaría al Portal El Dorado. Los buses K10, L10, K97 y L97 serían responsables de esta ruta puesto que operarían en diferentes horarios y días.

Además, en aquella época se lanzó una ruta circular conocida como M7 - L7 entre el Portal 20 de julio y la Estación San Diego. Sus paradas eran:

- ✓ Portal 20 Julio
- ✓ Country Sur
- ✓ Av. 1ª de Mayo
- ✓ Ciudad Jardín
- ✓ Policarpa
- ✓ San Diego

Se dispondría de 23 buses articulados para cubrir ambos servicios, transportando en promedio a unos 6.500 pasajeros diariamente. Estos usuarios provienen de barrios como 20 de Julio, Villa de Los Alpes, Córdoba, Bello Horizonte, San Isidro, Sosiego, Quinta Ramos, Ciudad Jardín Sur, Ciudad Berna, Calvo Sur, Policarpa, Las Cruces, Hortua, San Bernardino, Las Nieves, San Diego, La Alameda y otros.

En observación del autor del presente texto (en adelante Danilo), durante sus años como habitante de esta zona y mediante el uso frecuente del servicio que presta este portal, en su momento lo vio como un gran alivio, así como lo fue para habitantes de zonas más apartadas en la periferia al portal, pues también empezó a funcionar el servicio de alimentador en los dos meses siguientes. Así pues, se vieron beneficiados barrios como Altamira, Juan Rey, La Victoria, Tihuaque, Las Guacamayas, San Martín de Loba, La Península, La Resurrección, Lomas, Los Libertadores, Ayacucho, Malvinas, entre otros.

Como lo menciona TransMilenio (2013), durante el desarrollo del proyecto de la Carrera 7ª, que contempla la utilización de buses duales y futuros buses de energías limpias, el señor alcalde Mayor de Bogotá, Gustavo Petro Urrego, inauguró las estaciones Museo

Proyecto de Integración

Nacional y Bicentenario. Estas estaciones buscaban optimizar la movilidad de los ciudadanos en este corredor tan representativo de la ciudad, la Carrera 7ª.

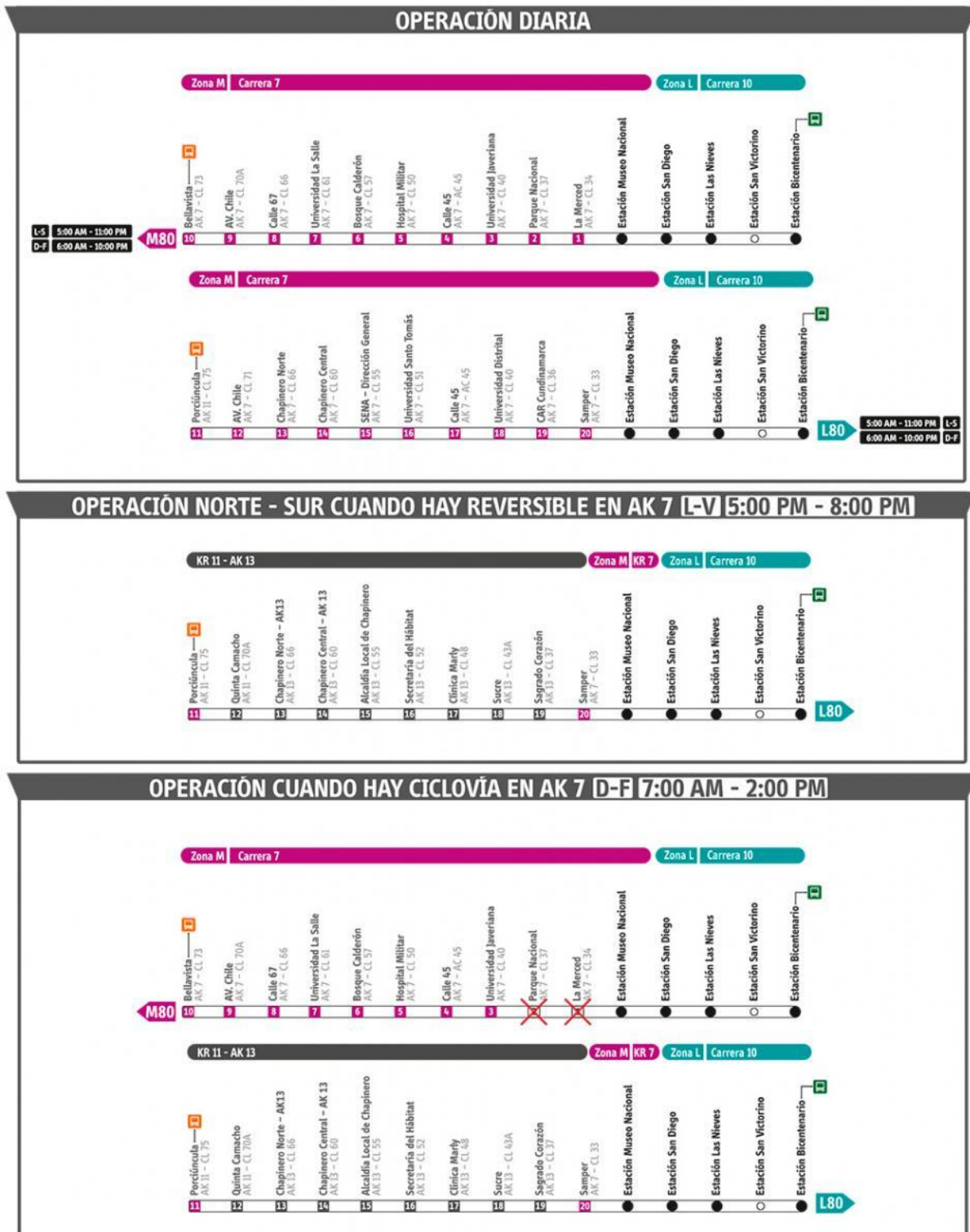
También se menciona que, desde el 18 de octubre, esta estación comenzó a operar en fase de prueba con el servicio troncal M7-L7 por la carrera 10, y que cumplía con todos los criterios de seguridad en áreas como: buses, plataforma, apertura de puertas, accesos peatonales, torniquetes y servicios públicos.

Además, agrega que la Estación Museo Nacional estaba equipada con rampas para aquellos ciudadanos con discapacidad o movilidad limitada. Era pionera en tener una plataforma subterránea al estilo Metro y un diseño que incorpora “jardines Zen”, proporcionando un ambiente agradable gracias a la combinación de distintas texturas y elementos naturales. También se aclara que dicha estación puede albergar a 30 mil pasajeros.

Por último, indicaba que, desde el 26 de octubre, la estación Bicentenario, situada en la carrera 10 con calle 6ª y con capacidad para 35 mil personas, sería el punto de partida para el servicio M80-L80, que se brindaría a través de buses duales. Este servicio enlazaba la troncal de la carrera 10 con la Carrera 7ª, llegando hasta la calle 72 en su fase inicial.

La siguiente es una imagen con la ruta que realizaba el M80:

Ilustración 1. Operación Diaria Ruta M80-L80




Fuente: adaptado de Inicia Operación la Carrera 7 con Buses Duales [Ilustración] (TransMilenio, 2013).

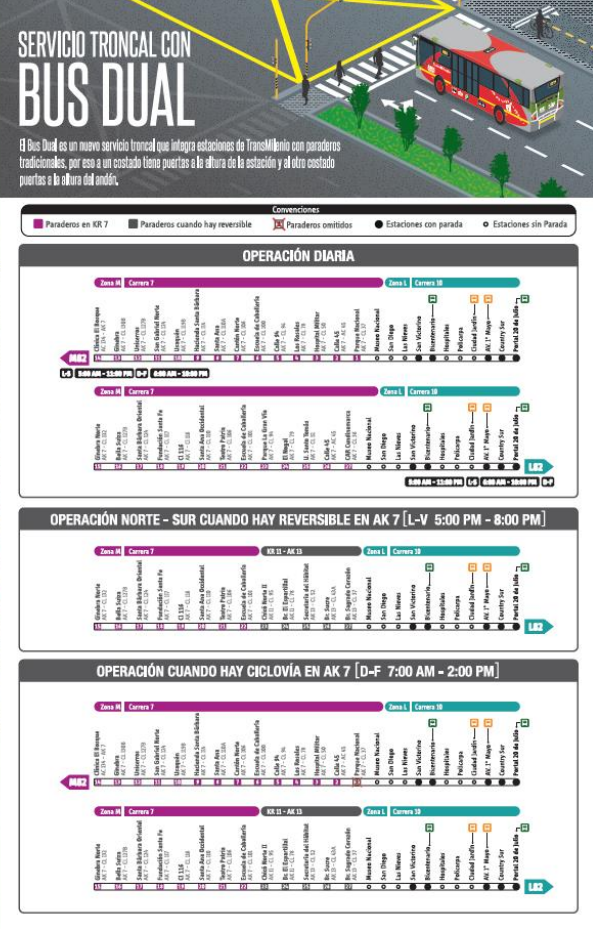
Proyecto de Integración

En otra entrada del 8 de agosto de 2014, TransMilenio anunciaba en su página web que, desde el 11 de agosto, los residentes de San Cristóbal tendrían a su disposición el nuevo servicio troncal M82-L82. Este les permitiría viajar desde el Portal 20 de Julio hasta la calle 134, cerca de la Clínica El Bosque, sin hacer trasbordos. La ruta tenía una extensión de 18.9 kilómetros y sería atendida por 27 buses híbridos con espacio para 80 personas. Durante el recorrido, los pasajeros tendrían cinco paradas en la Troncal de la Carrera 10 y otras 14 en la Carrera 7ª. En su momento, TransMilenio estimaba que la M82-L82 beneficiaría a 15 mil usuarios diarios de San Cristóbal. El tiempo promedio para completar el trayecto sería de unos 55 minutos a una hora.

Por otra parte, también indicaba que aquellos que tomaran la ruta en el norte de Bogotá podrían usar la ruta L82, en dirección norte-sur, que ofrecía 13 paradas en la Carrera 7ª y las cinco ya mencionadas en la Troncal de la Carrera 10. Con la adición de estos buses híbridos, Bogotá tenía a ese momento 166 vehículos duales circulando, especialmente en la Carrera 7ª. Esto no solo mejoraba la movilidad, sino que también posicionaba a Bogotá como un referente en la adopción de tecnologías de transporte con bajas o nulas emisiones.

Ilustración 2. Nuevo servicio Troncal M82 – L82





Fuente: adaptado de 27 Nuevos Buses Híbridos Rodarán por La Carrera 7ª

[Fotografía/Ilustración] (TransMilenio, 2014).

Por unos años tanto la ruta M80-L80 y la ruta M82-L82 funcionaron juntas. Sin embargo, el 17 de junio de 2017, TransMilenio anunció que la ruta M80-L80 dejaba de funcionar. La ruta M80-L80 tenía un funcionamiento por demás curioso, ya que cuando utilizaba el bus rojo articulado convencional, hacia las veces de ruta fácil hasta la estación de Museo Nacional, pero cuando era un bus tipo dual cubría también la Carrera 7a.

Como comentaba el portal Las2orillas (2017), de acuerdo con lo anunciado por TransMilenio, la ruta híbrida M80-L80 sería eliminada, y se preveía que la ruta M82-L82 la reemplazara. Para lograrlo, se añadieron más paradas a la ruta expresa, intentando emular el recorrido de la M80-L80. Aunque en teoría este cambio parecía sensato, ya que simplificaba el sistema, en la práctica no era tan atractivo. Curiosamente, el caos operativo de la M80-L80 compensaba ciertas falencias en esta línea principal.

Proyecto de Integración

Ilustración 3. El servicio M80-L80 deja de operar

Por una movilidad mejor para todos, conoce los ajustes operacionales desde el sábado 17 de junio:



El servicio M80-L80 deja de operar.

Ten en cuenta que:

- Puedes utilizar el servicio **M82-L82**, con nuevo horario de operación y **nuevos** puntos de parada.
- También puedes utilizar el nuevo servicio **Ruta Fácil 2** y planear tu viaje con los demás servicios duales que van por la **Carrera 7**.



#TransmilenioSeMueve



Fuente: adaptado de Eliminar la ruta M80-L80 de TransMilenio: un cambio que da susto [Ilustración] (Las2Orillas, 2017).

La misma publicación agregaba que intentar abordar un bus de la ruta M82 en una estación de TransMilenio es una de las experiencias más desafiantes del sistema. En esta ruta se evidencian todos los problemas y complicaciones que enfrentan el sistema y sus pasajeros. Algunos argumentarán que la falta de buses es el problema, pero la realidad es que la conducta

de algunos usuarios empeora la situación. Ver un M82 vacío abrir sus puertas en una estación es sinónimo de caos, con empujones, gritos y llamadas de socorro.

En su experiencia de usuario, Danilo vivió estos cambios. Cuando dejó de funcionar la M80 – L80, notó cómo el primer día hábil (lunes 19 de junio de 2017), los buses del M82 salían desde el portal cada 2 minutos, había un claro excedente que había quedado de la ruta anterior. Pero con el paso de los días, evidentemente TransMilenio ajustó la ruta y empezaron a presentarse las congestiones de pasajeros.

Al día de hoy, noviembre de 2023, la situación solo ha empeorado, y no es por falta de frecuencia de la ruta. En un día hábil, se evidencia que hasta las 5:30 a.m. es relativamente sencillo abordar el bus en el portal del 20 de julio, ya que la ruta tiende a salir entre cada 3 a 5 minutos. El inconveniente es que la demanda ha crecido en exceso, y esto se nota aún más en la hora pico que empieza después de las 5:30 a.m. y por lo menos hasta las 8:00 a.m. En este bus en el que solo hay dos puertas en el lado lateral izquierdo, y por las cuales solo pueden entrar de a dos personas por cada puerta al tiempo, se puede ver cómo se forman incluso hasta veinte filas por separado, en total desorden y aglomeración descontrolada.

Ilustración 4. Aglomeración en Ruta M82



Fuente: fotografía tomada por el autor en la parada de la Ruta M82, Portal 20 de Julio, 4 de septiembre de 2023, 6:30 a.m.

Cada nuevo usuario que llega a la parada, hace una nueva fila por los laterales de la multitud que ya está presente, generando más desorden. Esto lo hacen principalmente para no quedar en la mitad del tumulto y evitar sufrir accidentes cómo los sufren las personas que están en medio de la congestión, es decir, si no padecen las fuerzas de la masa, las ejercen sobre los otros. En su experiencia personal, Danilo ha encontrado que la mejor manera de ingresar es en

Proyecto de Integración

un ángulo de 45 grados en dirección a cualquiera de las puertas, así puede aprovechar el flujo de las fuerzas que empujan frontalmente y las que ejercen presión de manera lateral, encontrando un equilibrio.

Si el usuario queda en medio de la multitud, se somete a quedar empotrado entre las dos puertas y a sufrir el rigor de la masa que se avecina para hacer el ingreso al bus de manera violenta. Esto lo sufren aún más aquellas personas de baja estatura, las personas de la tercera edad, las mujeres, los más jóvenes, personas que no tienen mucha fuerza o que tienen algún tipo de discapacidad. Además del riesgo que esto representa, también se puede ver en la imagen que las personas esperan el bus al borde de la plataforma violando las normas de seguridad y poniendo en riesgo su integridad física.

Tras haber ingresado al autobús, el ambiente permanece tenso. Aquellos que no lograron ingresar al bus, lanzan improperios con la típica expresión “¿es que amanecieron cansados o qué?”, mientras otros secundan “por qué no se suben, plaga de perezosos”, seguida de la clásica “es que se quieren ir durmiendo”. Naturalmente, cualquier pasajero debe tener derecho a esperar otro bus si desea irse sentado sin importar cuál sea el motivo; quien desee irse más rápido debería poder abordar de manera tranquila y, además, hacerlo con respeto hacia quien no aborda el bus. De otro lado están los que ya lograron entrar; la estampida hace que los primeros (si no cayeron al suelo en el ingreso al bus) tomen rápidamente los asientos disponibles, mientras que otros que luchan por irse de pie en los lugares más cómodos del bus, se pelean por transitar por los pasillos del vehículo los cuales son bastante angostos y son aún más angostos cuando tres personas tratan de pasar al tiempo por este.

Una vez acomodados todos dentro del bus, es común ver algunas peleas, tanto de personas que entraron y aún discuten con los que se quedaron afuera, así como de personas que entraron juntas al bus y por haber tenido algún roce en el ingreso, se lanzan fuertes palabrotas, mal de ojo, y en los peores escenarios, terminan lanzándose golpes y amenazas de muerte. Dentro de las historias que se oyen pasados unos minutos y con el público en silencio, es común oír que algún conocido que tomó la ruta en un día anterior sufrió una fractura o esguince, que otro fue robado, o en el caso de las mujeres, que fue víctima de acoso y fue manoseada por algún irrespetuoso que aprovecha el ingreso en desorden para efectuar este tipo de conductas sobre alguna pasajera.

Si es posible extrapolar un ejemplo del deporte al ingreso en la ruta M82, podemos asociar el Maul que se forma luego de un *line* en los partidos de Rugby, o la jugada de Quarterback Sneak (los Eagles la han perfeccionado con su popular “Tush Push”) que se realiza

en el fútbol americano cuando es 4ª oportunidad y con una yarda de diferencia para lograr el primero y diez o la anotación en la línea de gol.

Ilustración 5. *Jalen Hurts y su línea ofensiva haciendo un QB Sneak en primero y gol en el campo de los Chiefs*



Fuente: adaptado de Could complaints lead the NFL to outlaw the Eagles' QB sneak 'tush push' tactic? [Fotografía], por (The Philadelphia Inquirer, 2023).

Ilustración 6. *Maul de los Sprinkboks después del line*



Fuente: adaptado de All Blacks sneak win over Springboks [Fotografía] (IOL, 2012).

Proyecto de Integración

El presente escrito pretende abordar posibles soluciones que permitan el ingreso de manera más organizada. En el portal, se ha intentado organizar el ingreso a la ruta por la vía de la cultura, organizando cordones humanos con funcionarios de TransMilenio o incluso con policía mediando el ingreso, pero son medidas que no son efectivas en el tiempo, pues se llevan a cabo durante unos días y luego se abandonan. Adicionalmente, una gran parte de los pasajeros pretende pasar por sobre los demás para irse en el primer bus que pasa porque tienen afán sin importar el respeto por el turno de los demás.

Ilustración 7. *Ingreso con cordón humano a la Ruta M82*



Fuente: adaptado de TransMilenio avanza con programas para mejorar experiencia de viaje de usuarios [Fotografía] (TransMilenio S.A., 2023)

Es por esta razón que dentro de las posibles soluciones podría estar dejar la ruta un poco más lejos de la entrada por la que ingresan la mayoría de usuarios al portal (plataforma de alimentadores), pretendiendo que así la gente tarde un poco más en llegar a la ruta. También se podría pensar en un sendero con barandas al estilo de un parque de diversiones, en forma de laberinto que lleve al ingreso al bus. Otra opción es un sistema de registradoras sobre la plataforma, de manera que solo pueda ingresar una persona a la vez por cada puerta como sucede en un SITP convencional, o es posible que una combinación de medidas sea la mejor opción. Todo esto se explorará en el presente documento.

Pregunta problema

¿Cuál es la mejor propuesta para mejorar la organización del acceso a la ruta M82 del Portal de TransMilenio del 20 de Julio?

Justificación

La movilidad urbana es un pilar fundamental para el desarrollo y bienestar de las ciudades. Un sistema de transporte eficiente y seguro no solo facilita el desplazamiento de los ciudadanos, sino que también impacta positivamente en la economía, el medio ambiente y la calidad de vida. En este contexto, TransMilenio, uno de los principales medios de transporte de la ciudad, juega un papel crucial en la vida diaria de millones de bogotanos.

Para el presente escrito, en cuanto a las rutas del Portal de TransMilenio del 20 de Julio, la ruta M82 es una de las más problemáticas en términos de aglomeraciones y conflictos entre pasajeros. Primero, porque junto con la ruta D81 (esta ruta es nueva en el portal), son las únicas rutas con buses duales, las demás rutas son de buses biarticulados que tienen gran capacidad de carga de pasajeros. Segundo, es la única ruta que hace el recorrido por la Carrera 7^a, hasta las ClI 134 desde el Portal.

Estas aglomeraciones no solo generan inconvenientes logísticos y retrasos, sino que también ponen en riesgo la seguridad y bienestar de los usuarios, especialmente de aquellos más vulnerables como mujeres, ancianos, personas con discapacidad y niños. Además, la percepción negativa y las experiencias traumáticas pueden llevar a los ciudadanos a evitar el uso del sistema, optando por medios de transporte menos eficientes o sostenibles.

La necesidad de abordar esta problemática es evidente. Sin embargo, para implementar soluciones efectivas, es esencial comprender a fondo las causas y dinámicas que llevan a estas aglomeraciones. Esta investigación busca precisamente eso: entender el comportamiento de los pasajeros, analizar la infraestructura y operación actual y proponer soluciones basadas en la experiencia personal como usuario (autor del presente documento).

Beneficios del estudio

Facilitar la organización en el ingreso al bus: al reducir las aglomeraciones y organizar el ingreso de pasajeros, podría ser posible mejorar la frecuencia y puntualidad de los buses, beneficiando a todos los usuarios de esta ruta.

Aumentar la seguridad: al proponer soluciones que reduzcan las aglomeraciones y conflictos, es probable que el riesgo de accidentes, hurto y situaciones de violencia o acoso disminuyan.

Mejorar la percepción del sistema: al ofrecer una experiencia más ordenada y segura, quizás la percepción positiva de los usuarios podría aumentar con respecto a TransMilenio, incentivando a más ciudadanos a utilizarlo.

Proyecto de Integración

Contribuir al desarrollo sostenible: al mejorar el ingreso a la ruta M82, es posible que se pueda promover una movilidad más sostenible, pues el pasajero podría pensar dos veces antes de desear viajar en otro medio de transporte, reduciendo la dependencia de vehículos particulares y disminuyendo la congestión y tal vez la contaminación en las vías.

Establecer un precedente: las soluciones y aprendizajes derivados de este estudio, podrían ser tenidas en cuenta para aplicar en otras rutas, en beneficio de otras comunidades.

Marco teórico

Aglomeraciones

Como señaló Evans *at al.* “la intrusión del espacio personal es un mecanismo primario para producir la sensación de hacinamiento”.

La experiencia de viajar en transporte público, especialmente en condiciones de aglomeración hace que las personas generen emociones y conductas que en condiciones de relajación no generarían. La ira, el miedo, la prevención, la sensación de hacinamiento y la violencia son solo algunas de las emociones que experimentan los usuarios de la ruta M82, esto se vive tanto al ingreso del bus dual como durante el recorrido en este bus.

En el estudio realizado por Lombardi y Ciceri “Dealing With Feeling Crowded on Public Transport: The Potential Role of Design”, sugieren que el diseño del transporte público puede moderar la experiencia de viaje, especialmente en condiciones de aglomeración. Los elementos físicos del bus, como la demarcación de los asientos, el acceso a la ventana y el entorno exterior, pueden afectar la percepción de aglomeración y las respuestas conductuales, como los patrones de movimientos oculares.

La percepción de aglomeración se refiere a cómo los individuos perciben estar agolpados más que a la proximidad física real entre las personas. La falta de control percibido es un aspecto central de la experiencia de viaje en transporte público, y establecer una conexión con el entorno exterior puede mejorar la experiencia de viaje.

Entonces cuando el espacio personal es invadido, las personas buscan estrategias para afrontarlo, como definir mejor sus límites espaciales. La demarcación clara de los asientos en los vehículos de transporte público puede facilitar la regulación de los procesos sociales y aumentar el control percibido, aliviando así la sensación de aglomeración. Esto también se puede comprobar al ingreso del bus. En el portal de 20 de Julio, las personas están más dispuestas a realizar una fila cuando se trata de una ruta biarticulada (en el portal todas las rutas son biarticuladas a excepción de la ruta M82 y la D81). Las personas cuando ven que el bus es más grande y que tiene múltiples entradas tienden a respetar la fila. Aunque existe una minoría que no respeta la cola, la mayoría si lo hace e ingresan en orden.

Ahora bien, la violación del espacio personal puede llevar a respuestas emocionales negativas. En el estudio de Lombardi y Ciceri, el estudio utiliza la tecnología de seguimiento ocular para examinar dónde miran las personas en un vehículo de transporte público aglomerado, proporcionando medidas objetivas del comportamiento humano en tales situaciones.

Proyecto de Integración

Además, el seguimiento ocular puede ofrecer conclusiones importantes sobre el funcionamiento cognitivo humano en situaciones sociales, y los patrones de atención pueden contribuir a la capacidad del entorno para apoyar a los individuos en situaciones estresantes.

Como lo mencionaron tanto Guerin *et al.* y Zajonc, (como se cita en Lombardi y Ciceri, 2019), cuando ocurre un desajuste entre las necesidades de uno y las demandas ambientales, la presencia de otros puede ser evaluada como un estímulo (social) indeseable que desencadenaría respuestas de afrontamiento y, por lo tanto, motivaría a las personas a reducir sus sentimientos aversivos

Lo mencionado se puede trasladar a la ruta M82. En esta se observan varios factores que, para la óptica un pasajero X, convierten en indeseables a los otros pasajeros:

- ✓ Tener tan solo dos entradas al bus.
- ✓ Que el bus sea más pequeño en comparación a las demás rutas.
- ✓ Los pocos asientos que tiene la ruta para la cantidad de usuarios que la abordan.
- ✓ Los tiempos de espera que deben afrontar los usuarios al no poder ingresar al primer bus que llega a recoger (después de empezar la espera por este).
- ✓ La espera aumenta el tiempo de trayecto, en el que usualmente la mayoría de usuarios van más allá de la cll 78 con carrera 7ª (que ya implica alrededor de 1 hora de desplazamiento).
- ✓ La cantidad de personas que se aglomera en la entrada a la ruta.

Por su parte, en el documento "Is It Too Crowded in Here? In Search of Safety Standards for Pedestrian Congestion in Rail Stations" de Antos *et al.* (2017), se aborda el problema de la congestión peatonal en las estaciones de tren y busca establecer estándares de seguridad para abordar este problema.

Las estaciones de Metrorail han enfrentado desafíos de capacidad en su núcleo durante años, y muchas estaciones han alcanzado su capacidad de diseño. La congestión peatonal en las estaciones de tren puede aumentar los riesgos de seguridad y justificar intervenciones operativas o de capital.

Esto se puede extrapolar a un portal de TransMilenio. En términos generales, los usuarios deben esperar el abordaje a la ruta en la plataforma dispuesta para este fin. Son plataformas bastante altas, de más de 1 metro de altura. La aglomeración de usuarios en esta hace que las personas corran mucho peligro, ya que después de que la ruta ha recogido la cantidad máxima de pasajeros, cierra sus puertas y arranca. Al retirarse de la plataforma el bus,

se puede observar cómo las personas aún siguen forcejeando y las que están adelante luchan por hacer fuerza hacia atrás para evitar estar al filo de la plataforma y caer.

De igual manera, como menciona Antos *et al.*, la WMATA (The Washington Metropolitan Area Transit Authority) identifica tres situaciones donde la demanda puede exceder la capacidad y puede ocurrir la aglomeración:

En plataformas: si las plataformas están demasiado abarrotadas, los pasajeros no pueden moverse cómodamente, y los riesgos de seguridad aumentan.

En elementos de circulación vertical como escaleras, escaleras mecánicas y elevadores: si la demanda es demasiado alta, se forman colas y los riesgos de seguridad aumentan.

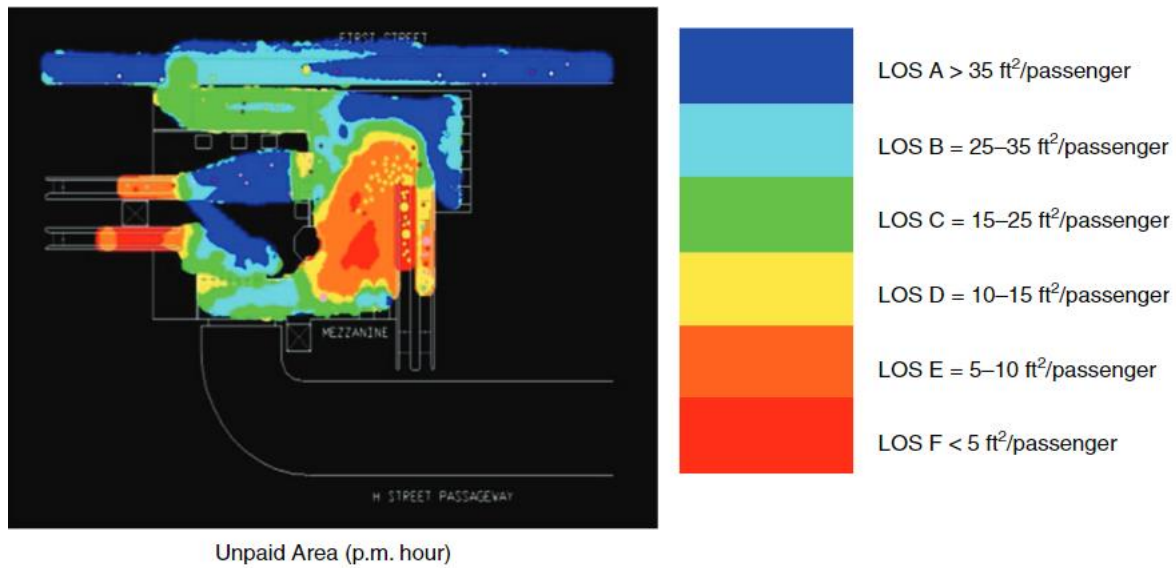
En las puertas de tarifa: si la demanda excede la capacidad de las puertas de tarifa, se pueden formar colas y los pasajeros se ven afectados.

Por tales razones el metro de Washington ha utilizado técnicas de microsimulación integradas para medir la congestión en una plataforma de manera significativa, simulando movimientos individuales de pasajeros a través de una estación. Aunque estas microsimulaciones proporcionan métricas superiores de congestión, aún no derivan estándares formales y comprensivos contra los cuales juzgar el rendimiento de la circulación de la estación, sin embargo, si pueden ayudar a identificar puntos de estrangulamiento, que para el caso de la ruta M82 es una ruta que se encuentra en medio de las dos escaleras de acceso del portal y las rampas para personas en condición de discapacidad. A simple vista, se podría aglomerar la gente más rápidamente dado el fácil acceso.

El documento de Antos *et al.* resalta la necesidad de estándares claros que consideren la frecuencia, la gravedad y los umbrales de seguridad aceptables para abordar los problemas de congestión peatonal en las estaciones de tren.

Proyecto de Integración

Ilustración 8. Mapa de calor de densidad de pasajeros en la Estación Union



Fuente: Is It Too Crowded in Here?: In Search of Safety Standards for Pedestrian Congestion in Rail Stations [Ilustración] (Antos *et al.*, 2013).

Comportamiento humano

El documento de Shipman y Majumdar (2018), se centra en el estudio del comportamiento humano durante situaciones extremas, como evacuaciones necesarias debido a incidentes graves, como ataques terroristas. El texto aborda cómo el miedo y el estrés pueden influir en las respuestas conductuales durante tales situaciones y cómo la comprensión de estos comportamientos puede mejorar la eficacia de las evacuaciones, para salvar vidas.

La situación que se vive en la ruta M82 en el lapso de las 5:30 a.m. hasta las 8:00 a.m. entre semana, es de tal gravedad que se puede asociar a situaciones extremas. La lucha por ingresar al bus y, en ocasiones, incluso por un puesto, deriva en estampidas que han resultado en personas lesionadas.

Al respecto, el escrito de Shipman y Majumdar documento revisa varias teorías que intentan explicar cómo cambia el comportamiento humano después del inicio de una emergencia. Algunas de las teorías principales incluyen la Teoría del Pánico, la Teoría de la Norma Emergente, la Teoría del Apego Social, la Teoría de la Autocategorización y el Modelo de Decisión de Acción Protectora. Cada una de estas teorías proporciona diferentes marcos para explicar y predecir fenómenos observados empíricamente en situaciones de emergencia.

El documento también destaca la importancia de la investigación empírica, que utiliza datos de emergencias anteriores para informar el análisis teórico. Así mismo, se mencionan varios estudios que han examinado el comportamiento humano en diferentes escenarios

extremos, como incendios y situaciones de combate, y cómo estos estudios han contribuido a la formación de modelos teóricos, como el modelo de Apego Social.

Por otra parte, en Carrel *et al.* (2013) abordan la percepción de los pasajeros y la adaptación conductual a la falta de fiabilidad en el transporte público, centrándose en el sistema de transporte público de San Francisco, California. Los autores indican que la fiabilidad en el transporte público es un concepto multifacético que a menudo se asocia con la variabilidad del tiempo de viaje, pero también puede incluir otros aspectos como la adherencia al horario, la puntualidad de llegada y la probabilidad de encontrar un asiento. La fiabilidad está vinculada a la noción de repetibilidad y la predictibilidad de ciertos componentes de un viaje de una persona y también con la adherencia a un “tiempo de viaje base” como el horario o el tiempo de viaje en condiciones de flujo libre.

Los autores también indican que los pasajeros adaptan su comportamiento a corto y largo plazo en respuesta a la falta de fiabilidad. La adaptación a corto plazo se refiere a las decisiones que los viajeros toman cuando se enfrentan a una inviabilidad (por ejemplo, un gran retraso) mientras ya están viajando. La adaptación a largo plazo se refiere a cómo las experiencias pasadas o el conocimiento de otros pasajeros influyen en las decisiones de una persona en la fase de planificación del viaje.

En la ruta problema del presente proyecto, el pasajero puede optar por tres opciones; la primera es cambiar de ruta para realizar mínimo dos transbordos en un biarticulado, lo que le proporciona viajar más cómodamente, aunque le tome más tiempo y tal vez deba caminar más para llegar al destino una vez se baje del sistema al final del recorrido. Otra opción es que deba salir más temprano de casa para poder tomar el bus en condiciones “relativamente normales” lo cuál sería antes de las 5:30 a.m. Finalmente el pasajero puede optar por soportar la aglomeración y posible estampida con los riesgos que esto conlleva, con la finalidad de poder llegar en menos tiempo y quedar más cerca de su destino al final del recorrido, aunque esto sea a costa de la comodidad y el riesgo que implica estar en esa aglomeración que se convierte en una masa impredecible a la llegada del bus.

De igual manera, Carrel *et al.* (2013) también indican que la fiabilidad es regularmente citada por los usuarios del transporte público como una de las cualidades de servicio más importantes. Al mismo tiempo, también informaron que consideraban la fiabilidad al planificar viajes. Las estrategias comunes para manejar la falta de fiabilidad incluían el uso de servicios y rutas consideradas más fiables y el uso de información en tiempo real.

Proyecto de Integración

Además, agregan que los pasajeros pueden desarrollar estrategias para lidiar con la falta de fiabilidad, como evitar el transporte público durante ciertos tiempos o utilizar información en tiempo real para ajustar sus planes de viaje. Los pasajeros pueden preferir un servicio más frecuente con aglomeraciones ocasionales sobre autobuses menos frecuentes que son más grandes y menos concurridos. Por otra parte, y no menos importante Carrel *et al.* (2013), muestran que las experiencias pasadas de falta de fiabilidad pueden influir significativamente en las estrategias de adaptación de los pasajeros. Los pasajeros pueden recordar principalmente experiencias particularmente positivas o negativas, así como las más recientes (regla de pico-final).

La regla de pico-final dice que el clímax y la conclusión de una experiencia son más cruciales que su totalidad. Según la regla del pico final, la forma en que recordamos una vivencia se determina promediando el instante más intenso con el momento de cierre, mientras que la duración no tiene relevancia. Tal vez es por esto, y también por la falta de opciones y la costumbre, que los usuarios se adaptan a esta situación de desorden y desenfreno que se vive para abordar la ruta. Soportar cinco a diez minutos de incomodidad por llegar más rápido hace una gran diferencia en la elección de los pasajeros.

Ilustración9. *Ingreso de usuarios a la ruta M82 en hora pico entre semana en la mañana*



Fuente: elaboración propia. [sixstarsatans6002] (2023). Ingreso ruta m82 portal TransMilenio [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/shorts/NifNbvTNG8w>

En el modelo del artículo de Ma *et al.* (2019) se centra en la evaluación del riesgo de congestión del flujo de pasajeros en autobuses urbanos, utilizando el corredor de la 3ª Ring Road en Beijing como caso de estudio. Ellos plantean:

Definición del riesgo de congestión de flujo de pasajeros: es el desequilibrio entre oferta y demanda causado por eventos normales o anormales durante el servicio de autobús, lo que lleva a una alta densidad de flujo de pasajeros y baja velocidad en un rango determinado.

Marco de Presión-Estado-Respuesta (PSR):

Presión: se refiere al proceso de aumento o disminución del flujo de pasajeros en la red de transporte público, afectando el riesgo de todo el proceso de viaje en autobús. Se introduce la presión alternativa del flujo de pasajeros para expresarlo.

Estado: se refiere a la capacidad de carga del flujo de pasajeros en la red, es decir, la capacidad de aceptación del riesgo, expresada por la intensidad de la congestión de pasajeros.

Respuesta: se refiere al riesgo asumido por el sistema de transporte público y la respuesta de evacuación del riesgo; se introduce la expresión del índice de eficiencia del transporte de flujo de pasajeros.

Índices de evaluación:

Presión alternativa del flujo de pasajeros (P): muestra el grado de congestión al subir y bajar del autobús, reflejando la presión del riesgo de flujo de pasajeros en el sistema de autobuses.

Intensidad de congestión de pasajeros (I): describe la situación de presión de riesgo causada por el flujo de pasajeros en el sistema de autobuses.

Eficiencia del transporte de flujo de pasajeros (e): se refiere a la velocidad evacuada de cada pasajero que enfrenta el riesgo de congestión.

Método de entropía para la evaluación de riesgos: después de establecer los índices de evaluación de riesgos, se construye un modelo de evaluación de riesgos utilizando el método de entropía. Este método puede cuantificar el peso de cada índice de evaluación de manera científica y razonable, proporcionando una evaluación digital cuantitativa.

Clasificación del riesgo: el riesgo de congestión se clasifica en cuatro niveles mediante el método de clustering K-means, basándose en datos de operación de autobuses en Beijing durante una semana en 2016.

Aplicación y resultados: al aplicar este modelo al corredor de la 3ª Ring Road en Beijing, los resultados mostraron que el riesgo en las horas pico de los días laborables es generalmente aproximadamente 1.5 veces mayor que el riesgo en los fines de semana.

Dentro de las conclusiones del estudio, los autores indican que la red de autobuses urbanos experimenta un aumento frecuente en la intensidad del flujo de pasajeros, especialmente durante las horas punta, lo que representa un desafío significativo en términos

Proyecto de Integración

de congestión. Este estudio se centra en mejorar la seguridad y la gestión de situaciones de emergencia.

Así pues, se introduce un sistema para evaluar el riesgo de congestión de pasajeros. Este sistema considera tres factores: la presión alterna del flujo de pasajeros (P), la intensidad de la congestión (I) y la eficiencia en el transporte de pasajeros (E), basándose en el modelo Pressure-State-Response. A partir de este modelo, se desarrolla un modelo de evaluación utilizando el método de entropía. De estos factores, la intensidad de la congestión de pasajeros es especialmente influyente.

Mediante el uso de K-means y el método de entropía, se clasifica el riesgo de congestión de pasajeros en cuatro categorías, considerando la relación entre la oferta y la demanda.

Se utilizó el corredor de la 3ª Circunvalación de Beijing como estudio de caso para determinar el riesgo de congestión. Los resultados indicaron que las horas punta de los días laborables presentaban un riesgo sustancialmente mayor de alrededor de 1.5 veces superior al de los fines de semana. Además, durante los días laborables, la congestión más intensa (nivel 4) tenía una duración breve, lo cual evidencia una evacuación rápida del flujo de pasajeros.

De manera que, para futuras investigaciones, se propone analizar la congestión en distintas rutas y corredores, así como estudiar cómo diversos factores afectan el riesgo en el transporte de pasajeros.

Planificación

El documento de Schiefelbusch (2010) profundiza en la planificación del transporte y la movilidad desde una perspectiva que tradicionalmente ha considerado la movilidad como una actividad racional, influenciada principalmente por factores económicos y cuantitativos, dejando de lado aspectos cualitativos y emocionales del viaje.

Indica que la planificación del transporte ha evolucionado para incluir no solo la eficiencia interna del sistema de transporte, sino también su rol en la equidad social, el desarrollo espacial y la protección ambiental. La planificación del transporte moderna comenzó con la motorización masiva alrededor de 1920, pero sus raíces se remontan a la construcción de carreteras y canales en el siglo XVIII y la construcción de ferrocarriles desde 1830. La planificación del transporte ha estado tradicionalmente influenciada por la ingeniería civil y el pensamiento económico, con un enfoque en el diseño técnico y la evaluación económica de los proyectos de transporte.

También aborda los paradigmas de la Planificación del Transporte que ha estado dominada por criterios cuantitativos, basados en conceptos desarrollados en la década de 1950. Los paradigmas de la planificación del transporte han considerado el tiempo y el costo como variables clave para explicar la demanda de viajes, asumiendo que los usuarios del sistema de transporte buscan minimizar los costes financieros y el tiempo de viaje. Este enfoque ha llevado a un modelo simplificado del comportamiento humano, que ha sido criticado por su simplicidad y por dejar de lado otros factores importantes en el diseño y la recopilación de datos.

El estudio sugiere que la planificación del transporte debe evolucionar para incluir no solo consideraciones racionales y económicas, sino también aspectos emocionales y cualitativos de la movilidad. La experiencia de viaje y las necesidades psicológicas y sociales deben ser consideradas para desarrollar sistemas de transporte más efectivos y equitativos.

Algo de lo que carece un sistema como TransMilenio es que no transmite cercanía con el usuario, sus estaciones y portales grises de metal paradójicamente muestran la lejanía y la frialdad con la que opera el sistema. Presuponen que el usuario no necesita nada más aparte de poder viajar, pero es muy importante que el sistema adopte un enfoque más cercano, que sus estaciones sean una verdadera experiencia para el viajero, que haya lugares más coloridos, actividades más frecuentes por realizar dentro del sistema aparte de viajar.

Como menciona Kormos *et al.* (2021), las ciudades pueden aplicar la ciencia del comportamiento para promover el uso del transporte público, pues su uso es crucial para combatir el cambio climático y reducir las emisiones de carbono. Basta con tener presente que antes de la pandemia de COVID-19 el sector del transporte contribuía con el 23% de las emisiones globales de dióxido de carbono relacionadas con la energía.

En este sentido los autores agregan que cambiar los patrones de transporte de las personas es un desafío significativo ya que estos patrones están profundamente arraigados en los estilos de vida e identidades de las personas y pueden influir en su bienestar.

En seguida mencionan que existen varias teorías del comportamiento que pueden ofrecer una orientación para alterar las decisiones de transporte de las personas. Algunas teorías se centran en factores internos como valores y normas personales, mientras que otras consideran factores externos como normas sociales e incentivos financieros. Al respecto se han probado varias intervenciones basadas en la ciencia del comportamiento para cambiar el comportamiento de viaje de las personas. Estas intervenciones se pueden categorizar en enfoques basados en la comunicación, enfoques para superar sesgos y enfoques basados en la tecnología como se muestra a continuación.

Proyecto de Integración

Enfoques basados en la comunicación

- ✓ Información: proporcionar información detallada sobre servicios de transporte público puede aumentar su uso.
- ✓ Establecimiento de metas y formación de planes: pedir a los ciudadanos que establezcan metas puede ser efectivo.
- ✓ Enmarcado del mensaje: emplear mensajes que enfatizan tendencias positivas en el comportamiento de otros respecto al transporte público puede ser beneficioso.

Enfoques para superar sesgos

- ✓ Reducir: tiempos de espera percibidos y combatir la percepción de falta de fiabilidad mediante información en tiempo real puede ser útil.
- ✓ Romper hábitos: ofrecer incentivos financieros como tarjetas de viaje gratuitas y cargar por congestión puede ser efectivo.
- ✓ Superar el desagrado anticipado de interacciones sociales: fomentar conversaciones en el transporte público puede mejorar la experiencia de los usuarios.

Seguridad

En el escrito Anderson y Hunter-Zaworski (2019), los autores se centran en:

Seguridad en la interfaz plataforma-tren: es crucial, y varios factores técnicos, operativos y de pasajeros influyen en ella. Los incidentes en la PTI no dependen únicamente del tamaño del hueco entre el tren y la plataforma, sino que pueden estar influenciados por otros factores contribuyentes que podrían impactar la seguridad al subir y bajar del tren.

Diseño de la plataforma: que incluyen la geometría y el tamaño, juega un papel vital en la seguridad de la PTI. La distancia entre la plataforma y el tren puede ser afectada por la infraestructura de la vía. Las plataformas en secciones de vía curvadas presentan desafíos significativos, y la severidad del hueco depende significativamente del diseño del coche del tren y del grado de la curva en la que se encuentra la estación.

Obstrucciones en la plataforma: como por ejemplo ocurre con asientos, columnas de soporte, tableros informativos, escaleras, elevadores y escaleras mecánicas, pueden influir en la cantidad de espacio claro en la plataforma y, por lo tanto, deben ser consideradas en términos de su ubicación y densidad.

Barreras entre coches: son importantes para prevenir intrusiones en la vía. Los datos de seguridad sugieren que las lesiones entre coches son un problema, especialmente para pasajeros con baja visión y pasajeros distraídos.

Luces de advertencia en el borde de la plataforma: son una solución única que podría ayudar a mejorar la seguridad en la PTI, pues notifican a los pasajeros que un tren se está acercando y atraen más atención al borde de la plataforma.

Puertas de pantalla de plataforma (PSD): son mencionadas como un método potencial para mejorar la seguridad en la PTI. El diseño de las PSD depende en gran medida de la ubicación y de las preferencias del sistema de tránsito. Las PSD de altura completa, parcial y media son las configuraciones primarias utilizadas en todo el mundo.

Anderson y Hunter-Zaworski (2019), también proponen una visión integral de los diversos aspectos y consideraciones relacionados con la seguridad en la interfaz plataforma-tren, incluyendo el diseño de la plataforma, las obstrucciones en la plataforma, las barreras entre coches, las luces de advertencia en el borde y las puertas de pantalla de plataforma. Cada uno de estos elementos juega un papel crucial en la mejora de la seguridad en la PTI y en la minimización de los incidentes y accidentes relacionados.

Otro documento que apoya el desarrollo del presente proyecto, es Barron *et al.* (2018). Sobre este tipo de dispositivos mencionan algunos factores a tener en cuenta. Por ejemplo:

Impactos operacionales de puertas de plataforma en metros: las puertas de plataforma se instalan principalmente para mejorar la seguridad, pero también tienen impactos operacionales significativos, afectando principalmente los tiempos de permanencia en las estaciones.

Seguridad y beneficios: las puertas de plataforma mejoran notablemente la seguridad, reduciendo suicidios y accidentes al limitar el acceso a las vías.

Reducción de suicidios: se observó una reducción del 60% en suicidios en Hong Kong tras la instalación de puertas de plataforma.

Control ambiental: ayudan a controlar la calefacción, ventilación y aire acondicionado, reduciendo el uso de energía.

Reducción de contaminantes: limitan la exposición a contaminantes del aire, como partículas y gases radiactivos.

Evacuación: pueden prolongar el tiempo de evacuación en situaciones de emergencia, especialmente si el tren no se detiene en la posición correcta.

Consumo de energía: el consumo de electricidad por equipos de ventilación aumenta notablemente cuando se usan puertas de plataforma.

Proyecto de Integración

Tiempo de apertura y cierre: las puertas de plataforma, al ser más grandes y lentas que las puertas del tren, generalmente añaden a los tiempos de apertura y cierre, lo cual afecta los tiempos de permanencia en las estaciones.

Flujo de pasajeros: las observaciones sugieren que los movimientos de los pasajeros son generalmente más lentos con puertas de plataforma debido a la mayor distancia entre la plataforma y el tren y la necesidad de pasar por dos conjuntos de puertas.

Retraso en la salida: el impacto más significativo de las puertas de plataforma en los tiempos de permanencia se debe al retraso en la salida, que es el tiempo entre el cierre final de la puerta y el inicio del movimiento del tren.

A pesar de los tiempos de permanencia más largos, las puertas de plataforma tienen un impacto neto positivo en las operaciones del metro, principalmente debido a la reducción dramática en intrusiones en la vía y el potencial para ahorrar energía.

Finalmente, en el artículo académico de De Ana *et al.* (2016) citan varios factores a tener en cuenta sobre las puertas en el borde de la plataforma.

Importancia de las PEDS: las Puertas de Borde de Plataforma (PEDS) están ganando reconocimiento internacional en sistemas de metro debido a su potencial para facilitar operaciones de trenes completamente automatizadas y para reducir costos operativos y sociales relacionados con accidentes en la interfaz plataforma-tren. Se considera que las PEDS proporcionan beneficios de seguridad y confiabilidad del servicio al reducir el número y la gravedad de retrasos y perturbaciones causados por accidentes en la interfaz plataforma-tren.

Impacto en el tiempo de Dwell: existe una preocupación general de que la presencia de PEDS pueda prolongar el tiempo de Dwell, afectando así la confiabilidad del servicio en servicios de alta frecuencia. El tiempo de Dwell se define como el tiempo que un tren permanece en una plataforma entre la parada de la rueda a la llegada y el inicio de la rueda a la salida.

En el documento, los autores indican que se realizaron experimentos en el Laboratorio de Movimiento Ambiental de Accesibilidad Peatonal de la University College London (PAMELA) para analizar los factores que afectan el comportamiento de los pasajeros y el tiempo de abordaje y desembarque para plataformas con y sin PEDS. Además, se instalaron cámaras en el metro de Londres para registrar los procesos reales de abordaje y desembarque para validar y extender los resultados experimentales.

En cuanto a los resultados de los experimentos mostraron que, en promedio, las PEDS redujeron el tiempo de abordaje y desembarque en 1.4 segundos, pero aumentaron la desviación

estándar en 0.8 segundos. En condiciones de carga media en el tren, las PEDS mostraron una reducción significativa en el tiempo de abordaje y desembarque de aproximadamente dos segundos.

De Ana Rodríguez *et al.* (2016) también indican que se instalaron cámaras en dos plataformas del metro de Londres, Green Park (sin PEDS) y Westminster (con PEDS), para validar los resultados experimentales y estudiar más a fondo el proceso de abordaje y desembarque con y sin PEDS. Los datos se recopilaban durante todo el mes de noviembre de 2014, y se codificaron una amplia gama de variables observables para cada proceso de abordaje y desembarque.

Comportamiento del pasajero: la presencia de PEDS afecta el comportamiento del pasajero en la plataforma, induciendo un proceso de abordaje y desembarque más organizado en el cual los pasajeros que abordan esperan al lado de las puertas en lugar de frente a ellas y ceden el paso a los pasajeros que desembarcan más a menudo que sin PEDS.

Los resultados del estudio sugieren que la presencia de PEDS no tiene un impacto perjudicial en el tiempo de abordaje y desembarque y que, de hecho, puede inducir un comportamiento más organizado en los pasajeros durante los procesos de abordaje y desembarque.

Como se puede apreciar, todos los antecedentes expuestos tratan sobre trenes. Sin embargo, las situaciones descritas son extrapolables, pues la plataforma del portal del 20 de julio (y en general cualquier otro portal), se presta para darle un tratamiento similar. Son plataformas elevadas en donde hay un espacio entre la plataforma y el bus que se detiene para el abordaje de pasajeros. Otra ventaja que tendría el proyecto, es que la ruta no descarga pasajeros debido a que es la parada inicial o el lugar en donde la ruta M82 inicia el viaje.

Teoría de colas

Como mencionan Hillier y Lieberman (2010), en su libro *Introducción a la Investigación de Operaciones*, la teoría de colas es el estudio de la espera en diversas formas y utiliza modelos de colas para representar sistemas de líneas de espera que surgen en la práctica. La teoría de colas es fundamental para determinar cómo operar un sistema de colas de manera eficiente, equilibrando el costo del servicio y la cantidad de espera. Los modelos de colas indican el desempeño esperado del sistema y señalan la cantidad promedio de espera que ocurrirá en diversas circunstancias. La teoría de colas es aplicable en diversas situaciones, incluyendo la espera de máquinas para ser reparadas, vehículos esperando ser descargados,

Proyecto de Integración

aviones esperando despegar o aterrizar, retrasos en las transmisiones de telecomunicaciones, y por qué no, pasajeros esperando una ruta de bus, entre otros.

Un ejemplo prototipo mencionado por los autores es la sala de urgencias del Hospital General, que proporciona cuidados médicos rápidos a casos de emergencia. Debido a un aumento continuo en el número de pacientes que llegan a la sala de emergencias, es común que los pacientes tengan que esperar para recibir tratamiento. De manera que se ha propuesto asignar un segundo médico durante las horas pico para atender a dos casos de emergencia al mismo tiempo. La teoría de colas se aplica para predecir las características de la espera en el sistema con uno y dos médicos.

Este libro también describe la estructura básica de los modelos de colas, que incluye la fuente de entrada (población potencial), la cola, la disciplina de la cola y el mecanismo de servicio. La fuente de entrada puede ser finita o infinita, y los clientes que requieren servicio se generan en el tiempo en esta fuente. Los clientes entran al sistema y se unen a una cola, y en algún momento, un miembro de la cola es seleccionado para recibir servicio mediante una disciplina de la cola. El servicio se lleva a cabo mediante un mecanismo de servicio, y luego el cliente sale del sistema de colas. La disciplina de la cola se refiere al orden en que los miembros de la cola son seleccionados para recibir el servicio, y el mecanismo de servicio consiste en una o más estaciones de servicio, cada una con uno o más canales de servicio paralelos. Esta teoría puede aplicarse al transporte de pasajeros, pues se puede inferir algunas aplicaciones potenciales en esta actividad:

Gestión de estaciones de transporte: la teoría de colas también puede ser utilizada para gestionar eficientemente las estaciones de transporte (como estaciones de tren o buses), donde los pasajeros (clientes) esperan para abordar el vehículo (servicio). Los modelos de colas pueden ayudar a determinar el número óptimo de vehículos (o servidores) necesarios durante diferentes momentos del día para minimizar los tiempos de espera y evitar la sobrecarga de las estaciones.

Optimización de horarios: los modelos de colas pueden ser utilizados para optimizar los horarios de los vehículos de transporte, asegurando que haya suficientes vehículos disponibles durante los períodos de mayor demanda y reduciendo los recursos durante los períodos de menor demanda.

Gestión de servicios de atención al cliente: en terminales y estaciones, las taquillas de información y puntos de venta de pasajes también pueden ser optimizados utilizando la

teoría de colas para reducir los tiempos de espera de los pasajeros y mejorar la experiencia del cliente.

Los autores también enseñan varias fórmulas matemáticas relacionadas con la teoría de colas como las siguientes:

Fórmula de Pollaczek-Khintchine:

$$L_q = \frac{\lambda^2 * V_s^2}{2(1 - \rho)}$$

- ✓ L_q es el número promedio de clientes en la cola.
- ✓ λ es la tasa de llegada de clientes.
- ✓ V_s^2 es la varianza del tiempo de servicio.
- ✓ ρ es la utilización del sistema ($\rho = \lambda / \mu$, donde μ es la tasa de servicio).

Medidas de desempeño:

$$P_0 = 1 - \rho$$

$$L_q = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}$$

$$L = \lambda * W_q$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

- ✓ P_0 es la probabilidad de que el sistema esté vacío.
- ✓ L es el número promedio de clientes en el sistema.
- ✓ W es el tiempo promedio que un cliente pasa en el sistema.
- ✓ W_q es el tiempo promedio que un cliente pasa esperando en la cola.

Redes de colas:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = \frac{5}{3}$$

$$W = \frac{L}{a_1 + a_2 + a_3} = \frac{5}{3(a_1 + a_2 + a_3)}$$

- ✓ L es el número total de clientes esperado en todo el sistema.
- ✓ $L_1 + L_2 + L_3$ son el número esperado de clientes en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

Proyecto de Integración

- ✓ $a_1 + a_2 + a_3$ son las tasas de llegada a las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente.
- ✓ W es el tiempo esperado de espera total en el sistema (incluido el servicio) de un cliente.

La teoría de colas puede ser aplicada a una ruta de bus para optimizar la espera de los pasajeros y mejorar la eficiencia del servicio. En el caso descrito para el presente proyecto de integración, donde el bus de la ruta M82 tiene una capacidad máxima de 80 pasajeros (Espectador, 2014) y en una parada ingresan entre 60 y 70 personas (contados uno a uno en el video adjunto en páginas anteriores), se pueden considerar varios aspectos para aplicar la teoría de colas:

Modelado de la llegada de pasajeros:

- ✓ Tasa de llegada (λ): se puede calcular como el número promedio de pasajeros que llegan por unidad de tiempo.
- ✓ Distribución de llegada: si las llegadas de los pasajeros siguen una distribución de Poisson, se puede modelar el tiempo entre llegadas con una distribución exponencial.

Modelado del servicio de bus:

- ✓ Tasa de servicio (μ): se puede calcular como el número promedio de pasajeros que un bus puede transportar por unidad de tiempo.
- ✓ Capacidad del bus: la capacidad máxima del bus (80 pasajeros) se debe tener en cuenta para evitar sobrecargas y garantizar que el número de pasajeros no exceda este límite.

Modelado de la cola:

- ✓ Capacidad de la cola: en este caso, la capacidad de la cola (número de personas esperando) puede ser limitada por factores como la capacidad de la parada de bus o consideraciones de distanciamiento social.
- ✓ Disciplina de la cola: es necesario definir cómo serán servidos los pasajeros, por ejemplo, si será por orden de llegada (FIFO) o algún otro criterio.

Métricas de desempeño:

- ✓ Número promedio de pasajeros en la cola (L_q).
- ✓ Tiempo promedio de espera en la cola (W_q).
- ✓ Número promedio de pasajeros en el sistema (L).
- ✓ Tiempo promedio de espera en el sistema (W).

Aplicación Práctica

Mejora en la frecuencia del bus: utilizando las métricas de desempeño y las tasas de llegada y servicio, se puede ajustar la frecuencia de los buses para minimizar el tiempo de espera de los pasajeros y evitar la sobrecarga del bus.

Gestión de la demanda: si en una parada ingresan entre 60 y 70 personas y el bus solo puede llevar 80, es crucial gestionar la demanda, especialmente en horas pico, para evitar largos tiempos de espera y colas. Se puede considerar implementar buses adicionales durante estos períodos o utilizar buses de mayor capacidad si es posible.

Información en tiempo real: proporcionar información en tiempo real sobre la llegada del próximo bus y la ocupación actual puede ayudar a los pasajeros a tomar decisiones informadas sobre si esperar el bus o buscar alternativas.

Medidas de seguridad: asegurar que, incluso en situaciones de alta demanda, se mantengan las medidas de seguridad y distanciamiento, lo cual puede requerir ajustes en la capacidad efectiva del bus y en las estrategias de gestión de colas, tal vez con puertas PEDS.

Adicionalmente, para la aplicación de la teoría de colas en un sistema de transporte público también se deberían considerar factores externos como las preferencias de los pasajeros, para desarrollar soluciones que sean tanto eficientes como factibles en el contexto operativo real.

Ficha técnica

Ver anexo de excel

“Fic_Tec_Soluciones_PI_Ortiz_Reyes,_D._A._Propuesta_Mejorar_Ingreso_Ruta_M82.xls”:

https://universidadeaneducu-my.sharepoint.com/:x/g/personal/dortizr15044_universidadean_edu_co/EX0QgLoEpv9Mi5jVFuSGXU0B96-8XHXzvM58IU5Ptn6XVQ?e=Ap0gyW

En la hoja 1 “FIC TEC SOL 1 (PEDS)” se encuentra la ficha técnica de la solución 1, correspondiente a la instalación de Puertas de Borde de Plataforma (PEDS), con el diseño respectivo y costos derivados de una posible implementación.

En la hoja 2 “FIC TEC SOL 2 (TRASLADO)” se encuentra la ficha técnica de la solución 2, correspondiente al traslado de la parada al sector suroriental de la plataforma de abordaje a los articulados del componente troncal.

Proyecto de Integración

En la hoja 3 “FIC TEC SOL 3 (BARANDAS)” se encuentra la ficha técnica de la solución 3, correspondiente a la instalación de los pasillos de barandas, con su diseño respectivo y costos derivados de una posible implementación.

Análisis de restricciones

Ambientales

Reducción de emisiones: si las soluciones mejoran la eficiencia y la puntualidad del servicio de bus, esto podría llevar a una operación más fluida y menos tiempo de inactividad del motor, lo que a su vez podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire.

Consumo de energía: las PEDS requieren energía para operar. Dependiendo de la fuente de esta energía, podría haber un impacto ambiental asociado con su consumo. Si la energía proviene de fuentes renovables, el impacto sería menor en comparación con la energía de fuentes fósiles.

Materiales de construcción: la fabricación e instalación de las PEDS o barandas implican el uso de materiales que pueden tener una huella de carbono asociada. La extracción, producción y transporte de estos materiales pueden tener impactos ambientales significativos.

Gestión de residuos: durante la instalación de las PEDS o las barandas, se generará residuos que deben ser manejados y dispuestos adecuadamente para minimizar el impacto ambiental. También con sucedería con el traslado del aviso de la ruta a la otra parada.

Ruido y perturbaciones durante la construcción: la instalación de las soluciones puede generar ruido y otras perturbaciones que afecten temporalmente el entorno local.

Mejora de la calidad del aire local: al mejorar la seguridad y reducir los accidentes, esto puede contribuir a un flujo más constante de autobuses, lo que podría disminuir la congestión y, por ende, mejorar la calidad del aire en la ubicación pues el bus puede partir más rápido.

Contaminación visual: las PEDS pueden generar contaminación visual ya que contarían con pantallas Led que enseñan publicidad y avisos en tiempo real de interés para el usuario sobre el servicio.

Impacto en la biodiversidad: se ha notado que en las vigas superiores del techo del portal existen nidos de aves (palomas, sobre todo). la instalación de las soluciones podría afectar los hábitats de estas aves si no se gestiona adecuadamente.

Promoción del transporte público: si las soluciones mejoran la experiencia del usuario, esto podría fomentar un mayor uso del transporte público, reduciendo así la dependencia de los vehículos privados y sus impactos ambientales asociados.

Económicas

Inversión inicial: la instalación de PEDS, barandas o traslado de parada requiere una inversión inicial. Si el dinero disponible supera el grado de inversión necesario, se podría considerar una restricción económica para no sobrepasar el presupuesto asignado.

Costos operativos: una vez instaladas las soluciones pueden reducir los costos operativos al minimizar los accidentes y las interrupciones del servicio, lo que puede resultar en ahorros a largo plazo para TransMilenio.

Mantenimiento: Implica costos recurrentes que deben ser considerados en el análisis económico.

Impacto en la demanda: la mejora en la seguridad y la confiabilidad del servicio puede aumentar la demanda de servicios de autobuses, lo que podría traducirse en mayores ingresos para el sistema.

Valorización de la propiedad: la instalación de PEDS puede aumentar el valor de la propiedad (el portal del 20 de julio) debido a la mejora en la infraestructura y la percepción de un servicio más seguro y moderno.

Transformaciones económicas y sociales: la instalación de las soluciones podría tener efectos más amplios en la economía local, incluyendo la creación de empleos durante la fase de instalación y posiblemente mejorando la eficiencia del transporte público. La publicidad que se generaría en las pantallas led de las PEDS, le generaría ingresos extra a TransMilenio e indirectamente a los anunciantes pues esto persuade al usuario al consumo.

Impacto en la competitividad: mejorar la infraestructura de transporte puede hacer que los alrededores del portal sean más atractivos para las personas, pues al haber un buen servicio, esto repercute en decisiones de vivienda de los usuarios. Tal vez no parezca un impacto realista, pero en una ciudad como Bogotá, este es un componente importante al momento de decidir en dónde vivir.

Legales

Cumplimiento de normativas de seguridad: las PEDS deben cumplir con las normativas de seguridad vigentes para sistemas de transporte público. Esto incluye

Proyecto de Integración

regulaciones sobre su diseño, instalación y operación. Norma Internacional ISO 9001, bajo la cual trabajan empresas como Grupsa (proveedora de PSD o PEDS para el actual sistema).

Registros y permisos: la instalación de las PEDS requerirá una serie de permisos y registros ante las autoridades competentes. Sin embargo, debido a que el sistema ya cuenta con este modelo, solo que, con puertas de piso a techo en las estaciones del sistema, estos permisos no son necesarios.

Accesibilidad: las leyes de accesibilidad deben ser consideradas para asegurar que las PEDS no impidan el acceso a usuarios con discapacidades. Norma Técnica Colombiana NTC 6047 mediante la cual se reglamenta Accesibilidad al Medio Físico, Espacios de Servicio al Ciudadano en la Administración Pública y otros Requisitos.

Normativas de emergencia y evacuación: las PEDS deben cumplir con las regulaciones de seguridad en caso de emergencias, incluyendo la evacuación de pasajeros. Norma Técnica Colombiana NTC 6047 mediante la cual se reglamenta Accesibilidad al Medio Físico, Espacios de Servicio al Ciudadano en la Administración Pública y otros Requisitos.

Contratos y obligaciones legales: la instalación de las barandas, PEDS o traslado de parada no debe violar ninguna de las cláusulas contractuales existentes y deben tener su respectiva póliza de Cumplimiento.

Pólizas todo riesgo y responsabilidad civil: deben considerarse las implicaciones legales en términos de responsabilidad civil por accidentes o incidentes que involucren la instalación de las soluciones. Por otra parte, la instalación, mantenimiento y operación deben contar con un seguro todo riesgo que ampare los posibles daños a los que se vean enfrentadas las PEDS.

Salud y seguridad

Prevención de accidentes: aumentar significativamente la seguridad de los pasajeros al prevenir caídas accidentales o el acceso no autorizado a las pistas, lo que podría resultar en lesiones o incluso fatalidades.

Seguridad operacional: contribuir a la seguridad operacional al sincronizarse con las puertas del vehículo, asegurando un embarque y desembarque seguro de los pasajeros.

Riesgos durante la instalación: la instalación de todos los objetos de las soluciones debe realizarse siguiendo estrictas normas de seguridad para proteger a los trabajadores de la construcción. Esto incluye el manejo seguro de materiales y la prevención de accidentes en el sitio de trabajo.

Salud de los trabajadores: debe asegurarse que durante la instalación no se exponga a los trabajadores a materiales tóxicos o condiciones de trabajo peligrosas.

Impacto en la comunidad local: durante la instalación, se deben tomar medidas para minimizar el polvo, el ruido y otras molestias que puedan afectar la salud y el bienestar de los usuarios.

Accesibilidad: para todos los usuarios, incluyendo aquellos con discapacidades, para no comprometer su seguridad o salud.

Mantenimiento y operación segura: mantenimiento regular para asegurar que sigan funcionando de manera segura y efectiva. El mantenimiento inadecuado podría resultar en fallas que comprometan la seguridad.

Emergencias y evacuación: que no obstaculicen las rutas de evacuación en caso de emergencia y que permitan una salida rápida y segura de la estación.

Capacitación y conciencia: es esencial que el personal de la estación y los pasajeros estén adecuadamente informados y capacitados sobre cómo interactuar con las PEDS o barandas para garantizar su seguridad.

Socioculturales

Adopción de tecnología: la instalación de PEDS puede ser vista como una modernización del sistema de transporte que podría ser bien recibida por la población de usuarios de la ruta M82, reforzando la imagen de la ciudad o como progresista.

Percepción de seguridad: las PEDS pueden aumentar la percepción de seguridad entre los usuarios del transporte público, lo que podría alentar a más personas a utilizar este servicio en lugar de depender de vehículos privados, también podría alentar a que las personas ingresen de manera más organizada.

Cambio en la experiencia del usuario: puede cambiar la experiencia de viaje de los pasajeros, haciéndola más estructurada y posiblemente más eficiente, lo que podría influir en su satisfacción general con el servicio de transporte público.

Resistencia al cambio: algunos usuarios pueden resistirse al cambio debido a la alteración de las rutinas establecidas, especialmente si no se comunica adecuadamente el propósito y el funcionamiento de las nuevas instalaciones.

Estética y diseño urbano: las PEDS o barandas pueden influir en la estética de la estación y en la percepción del espacio urbano. Un diseño bien integrado y estéticamente agradable puede mejorar la imagen de la estación y por extensión, de la red de transporte.

Proyecto de Integración

Metodología para la selección y desarrollo de la solución

✓ **Analizar el comportamiento actual de los pasajeros al abordar el bus**

Observación directa: se realizó una observación del comportamiento de los pasajeros in situ, durante los últimos 5 años, y se vivió la experiencia de primera mano para conocer cómo se desarrolla la problemática desde la llegada al portal, hasta el ingreso al bus.

El fenómeno se presenta entre las 5:30 a.m. hasta las 8:00 a.m. Cada nuevo usuario que llega a la parada, hace una nueva fila por los laterales de la multitud que ya está presente, generando más desorden. En las observaciones realizadas, al parecer las personas tienen la tendencia a hacer esto para no quedar en la mitad del tumulto y evitar sufrir accidentes como los sufren las personas que están en medio de la congestión, es decir, si no padecen las fuerzas de la masa, las ejercen sobre los otros. En su experiencia personal, el autor ha encontrado que la mejor manera de ingresar es en un ángulo de 45 grados en dirección a cualquiera de las puertas, así puede aprovechar el flujo de las fuerzas que empujan frontalmente y las que ejercen presión de manera lateral, encontrando un equilibrio.

Si el usuario queda en medio de la multitud, se somete a quedar empotrado entre las dos puertas y a sufrir el rigor de la masa que se avecina para hacer el ingreso al bus de manera violenta. Esto lo sufren aún más aquellas personas de baja estatura, las personas de la tercera edad, las mujeres, los más jóvenes, personas que no tienen mucha fuerza o que tienen algún tipo de discapacidad. Además del riesgo que esto representa, las personas esperan el bus al borde de la plataforma violando las normas de seguridad y poniendo en riesgo su integridad física.

Este comportamiento se presenta entre semana de lunes a viernes, los fines de semana no se ha observado este comportamiento. La congestión que suele presentarse en promedio es de unas 60 personas cada 5 minutos, de las cuales ingresan al bus un total de 40 quedando un remanente de agentes de 20.

✓ **Diseñar un sistema que se adapte a las necesidades y características del portal para un mejor ingreso al bus**

A continuación, se enumeran algunas de las soluciones como posibles propuestas para el problema que se presenta.

Solución 1. Instalación de PEDS (puertas de borde de plataforma) de acceso al bus para los usuarios

Análisis de tráfico de pasajeros y flujos: con 40 personas subiendo al bus cada 5 minutos en horas pico, se puede calcular la capacidad requerida y el flujo de pasajeros en la plataforma. La presencia de solo dos compuertas de acceso y hasta 20 filas de personas sugiere una necesidad de gestionar mejor este flujo para reducir el desorden y mejorar la eficiencia.

Dimensiones y diseño de la estación: la plataforma de acceso al bus debe ser evaluada para garantizar que las PEDS se integren sin obstaculizar el movimiento o la seguridad.

Especificaciones de buses y plataforma: los buses con dos puertas de 1 metro cada una y la altura de la plataforma de 1 metro indican que las PEDS podrían alinearse correctamente y ofrecer una transición fluida para los pasajeros.

Seguridad y accesibilidad: la instalación de PEDS podría reducir significativamente los accidentes causados por estampidas. Las normativas de accesibilidad, como el ancho adecuado para sillas de ruedas, deben incorporarse en el diseño de las PEDS.

Costos y presupuesto: el presupuesto sería de 56 millones de pesos y debe cubrir tanto la adquisición como la instalación de las PEDS.

Impacto operacional y de seguridad: el impacto de las PEDS en el flujo de pasajeros y los tiempos de permanencia en la estación debe ser analizado. La seguridad mejorada y la posible reducción de incidentes deben equilibrarse con cualquier impacto en los tiempos de operación.

Se podría analizar el impacto si se instalan PEDS. Teniendo en cuenta números, cálculos y otros datos adicionales, tales como:

- ✓ Solo se instalaría 1 PED.
- ✓ La velocidad de apertura es 2,5 segundos por puerta (velocidad ajustable).
- ✓ Velocidad de cierre 3,5 segundos por puerta (velocidad ajustable).

Para analizar el impacto de instalar Puertas de Borde de Plataforma (PEDS) en la parada, se consideran varios aspectos clave: la capacidad óptima de las PEDS, la eficiencia en la gestión de colas y el embarque, el impacto en los tiempos de operación del servicio, y la rentabilidad y retorno de inversión.

- ✓ Flujo de pasajeros: 40 personas cada 5 minutos en horas pico.
- ✓ Número de puertas: 1 PED con 2 puertas de acceso.
- ✓ Pasajeros por hora en horas pico: $\frac{40 \text{ personas}}{5 \text{ minutos}} \times 60 \text{ minutos} = 480 \text{ personas/hora}$

Proyecto de Integración

- ✓ Capacidad de las PEDS: cada PED puede manejar el flujo de pasajeros, dado que cada puerta puede admitir 4 personas a la vez y se pueden formar filas organizadas.

Eficiencia en la gestión de colas y embarque

- ✓ Número de puertas en la PED: 2, con capacidad para 2 pasajeros cada una.
- ✓ Comportamiento de las puertas: permanecen abiertas hasta que se complete el embarque.
- ✓ Capacidad de embarque por apertura de puerta: 2 personas x 2 puertas = 4 personas.
- ✓ Eficiencia de embarque: la gestión de colas permite que cuatro personas embarquen simultáneamente, reduciendo el desorden y agilizando el proceso.

Impacto en los tiempos de operación del servicio

- ✓ Tiempo de Dwell: afectado por la velocidad de embarque de pasajeros.
- ✓ Funcionamiento de las PEDS: al permanecer abiertas durante todo el proceso de embarque, se elimina el tiempo de apertura y cierre repetido.
- ✓ Reducción del tiempo de Dwell: al mejorar la eficiencia del proceso de embarque, se espera una reducción en el tiempo de Dwell.
- ✓ Mejora en la frecuencia de servicio: con una reducción en el tiempo de Dwell, es posible aumentar la frecuencia de los buses, mejorando así el servicio.

Evaluación de la rentabilidad y el retorno de inversión

- ✓ **Costo de las PEDS**
 - Precio unitario: este precio puede variar dependiendo de las especificaciones técnicas, como el tamaño, la tecnología de las puertas, y características adicionales como sistemas de iluminación LED o pantallas informativas.
 - Cantidad: el número de PEDS a instalar, en este caso, es 1.
- ✓ **Costos de instalación**
 - Mano de obra: incluye el costo de los técnicos e ingenieros para la instalación física de las PEDS. Este costo puede variar según la duración del proyecto y la complejidad de la instalación.
 - Materiales adicionales: cualquier material adicional necesario para la instalación, como cables, herramientas especiales, etc.

- Gastos logísticos: costos de transporte y manejo de las PEDS hasta el lugar de instalación.
- ✓ **Costos adicionales**
 - Modificaciones de infraestructura: si es necesario realizar modificaciones a la infraestructura existente de la estación para acomodar las PEDS.
 - Pruebas y certificación: costos asociados con la prueba de funcionamiento y certificación de las PEDS una vez instaladas.
 - Gestión de proyecto: costos administrativos y de gestión del proyecto.
- ✓ **Costos de contingencia**
 - Un porcentaje del costo total del proyecto (generalmente entre el 5% y el 10%) destinado a cubrir imprevistos o gastos adicionales no previstos inicialmente.

Análisis de costos: supongamos los siguientes valores hipotéticos para cada componente:

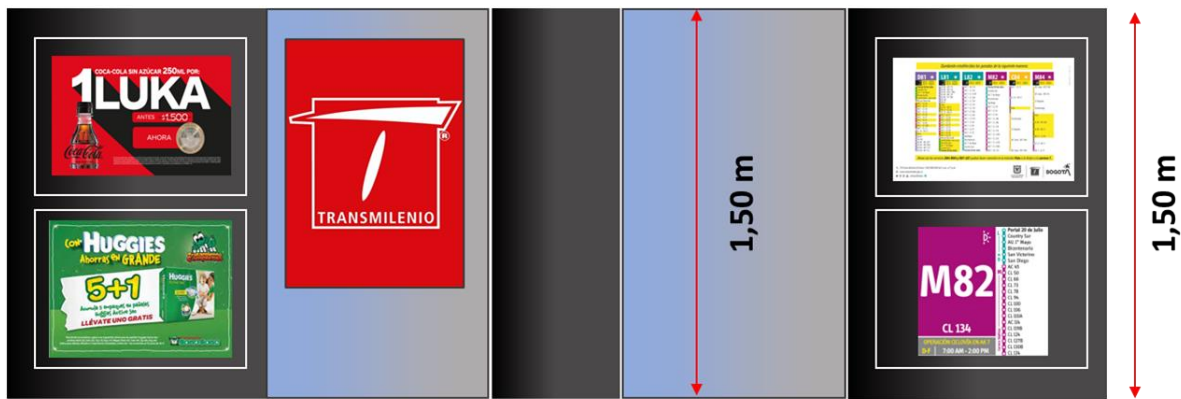
- ✓ **Costo de las PEDS**
 - Precio unitario: según TransMilenio (2022) una puerta puede costar entre 47 millones y 61 millones. No teniendo otro precio de referencia podríamos asociar este valor a las PEDS.
 - Cantidad: 1.
 - Total: \$47 millones (tomando el valor mínimo de una puerta para estación).
- ✓ **Costos de instalación**
 - Mano de obra: \$2 millones.
 - Materiales adicionales: \$500 mil.
 - Gastos logísticos: \$500 mil.
 - Total: \$3 millones.
- ✓ **Costos adicionales**
 - Modificaciones de infraestructura: \$1 millón.
 - Pruebas y certificación: \$500 mil.
 - Gestión de proyecto: \$500 mil.
 - Total: \$2 millones.
- ✓ **Costos de contingencia**
 - 10% del costo total (47 + 3 + 2 millones): \$4 millones.

Proyecto de Integración

Análisis de rentabilidad

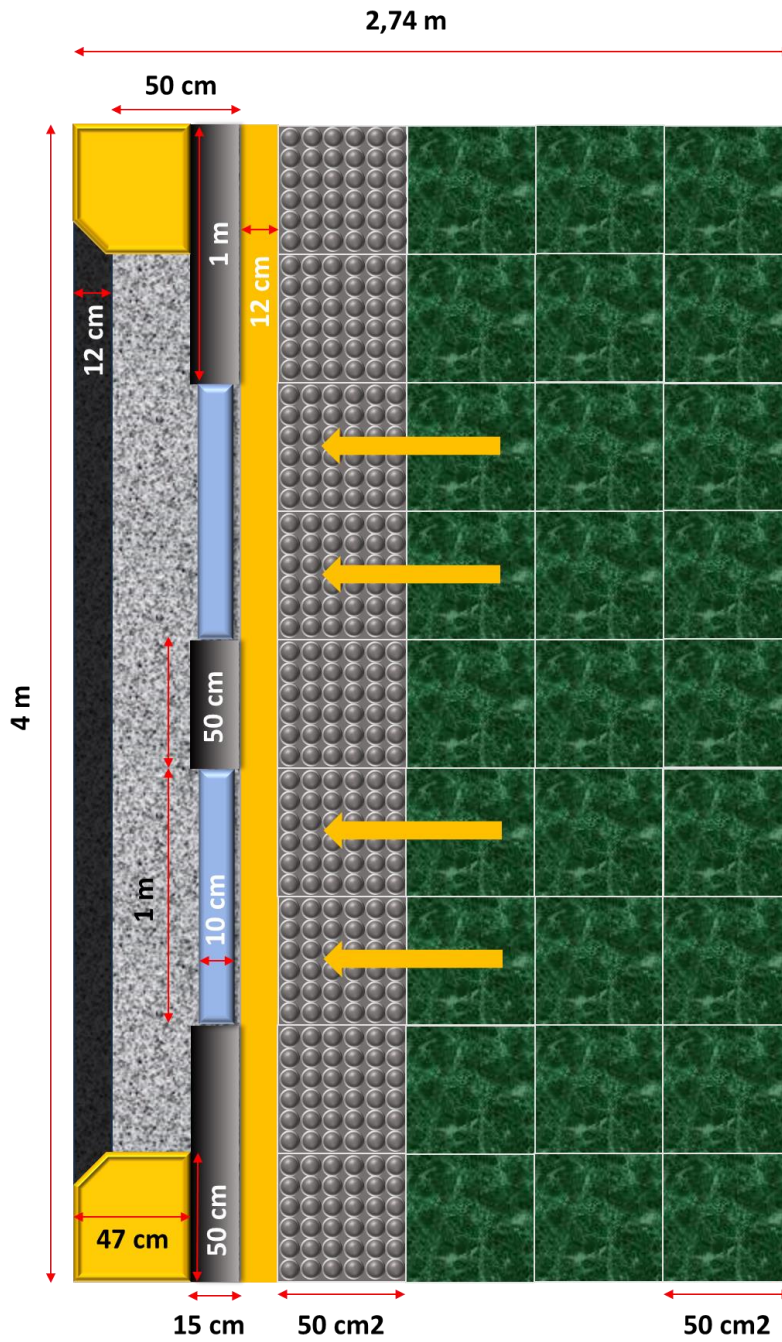
- ✓ **Beneficios:** mayor seguridad, posible reducción en accidentes, mejor gestión del flujo de pasajeros.
- ✓ **Costos:** costo de instalación y mantenimiento (según TransMilenio (2022), el mantenimiento de las puertas se debe hacer mínimo cada 2 años).
- ✓ **Retorno de inversión:** aunque redundaría en un mejor servicio y en disminuir el riesgo por caída de la plataforma, no es claro cómo podría asegurarse un retorno monetario, teniendo en cuenta además que la inversión es bastante alta y supera los 50 millones de pesos.

Ilustración 10. Dibujo PEDS.



Fuente: elaboración propia.

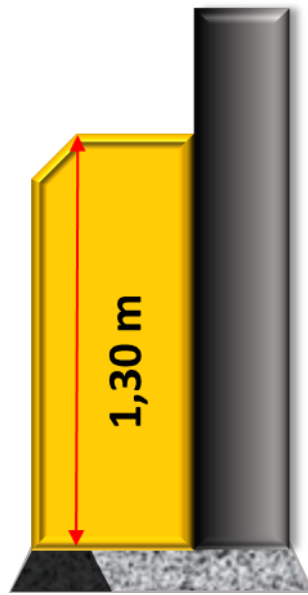
Ilustración 11. Dibujo Plataforma Ingreso Ruta M82



Fuente: elaboración propia.

Proyecto de Integración

Ilustración 12. Dibujo Soporte Anticolados PEDS.



Fuente: elaboración propia.

Solución 2: mover la parada de la ruta m82 al sur oriente de la plataforma del portal (a donde apuntan las flechas rojas →).

Este movimiento podría ayudar a retrasar la llegada de usuarios al punto porque estos llegan por la rampa peatonal en la parte superior norte del portal “Zona de Llegada de Pasajeros” (como se menciona en el mapa de la Zona L | Portal 20 de Julio).

Ilustración 13. Plano de Ubicación Zona L



Fuente: adaptado de Plano de Ubicación Zona L | Portal 20 de Julio [Ilustración] (TransMilenio, 2018).

La teoría de colas puede ser aplicada en la ruta M82. La ruta tiene una capacidad máxima de 80 pasajeros. Se ha observado que la gran mayoría de pasajeros llega por la entrada norte del portal, sobre todo por la plataforma de alimentadores. Caminando desde donde terminan las escaleras hasta la parada de la ruta M82, se contabilizó que, a un ritmo moderado, la persona tarda 1 minuto con 8 segundos en llegar. Si moviéramos la ruta hacia la parte del extremo sur oriental de la plataforma de buses, la persona tardaría en llegar a la ubicación 2 minutos con 28 segundos. Adicionalmente en promedio por cada bus, se suben unas 40 personas. Cada bus sale cada 5 minutos. En la parada actual suele haber cerca de 60 personas esperando subir a cada bus que pasa, pudiendo subirse solo unas 40 personas. El restante no ingresa al bus por varios motivos (prefieren irse sentados así que esperan el siguiente bus, o aun así si quieren irse de pie, no ven que haya condiciones óptimas para viajar así pensando en que en las siguientes paradas ingresaran pasajeros que incomodarán al resto).

Basado en la información proporcionada, se realiza un análisis de la teoría de colas para la ruta M82. Se calculan algunos aspectos clave como la tasa de llegada de pasajeros, la tasa de servicio y el efecto de cambiar la ubicación de la parada de autobús.

Datos y supuestos del ejercicio

- ✓ Capacidad máxima del autobús M82: 80 pasajeros.
- ✓ Tiempo de caminata a la parada actual: 1 minuto y 8 segundos.
- ✓ Tiempo de caminata a la nueva ubicación propuesta: 2 minutos y 28 segundos.
- ✓ Promedio de personas que suben al bus por viaje: 40 pasajeros.
- ✓ Frecuencia de salida de los buses: cada 5 minutos.
- ✓ Cantidad promedio de personas esperando en la parada: 60 personas.

Análisis de la teoría de colas

- ✓ Tasa de llegada (λ): dado que en promedio hay 60 personas esperando y cada bus llega cada 5 minutos, la tasa de llegada de pasajeros a la parada es de 60 personas cada 5 minutos, o sea, 12 pasajeros por minuto.
- ✓ Tasa de servicio (μ): cada bus se lleva 40 pasajeros en promedio y sale cada 5 minutos, por lo tanto, la tasa de servicio es de 40 pasajeros cada 5 minutos, es decir, 8 pasajeros por minuto.
- ✓ Capacidad de la cola: la cantidad promedio de personas esperando en la parada es de 60, lo que indica la capacidad de la cola en un momento dado.

Proyecto de Integración

Cálculos

Vamos a calcular algunas métricas claves usando las fórmulas de la teoría de colas.

- ✓ Utilización del sistema (ρ): es la proporción de tiempo que el servidor (bus) está ocupado. Se calcula como $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
- ✓ Número promedio de pasajeros en la cola (L_q): usaremos la fórmula de Pollaczek-Khintchine para calcular esto.
- ✓ Tiempo promedio de espera en la cola (W_q): $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$

Para analizar el impacto del cambio de ubicación de la parada de autobús en la teoría de colas, primero se calculan los datos para la parada actual y luego para la nueva ubicación propuesta. Dado que el cambio de ubicación afecta el tiempo de caminata para los pasajeros, esto podría influir en la tasa de llegada de pasajeros (λ).

Cálculos para la parada actual

- ✓ Tiempo de caminata a la parada actual: 1 minuto y 8 segundos.
- ✓ Tasa de llegada (λ): 12 pasajeros por minuto.
- ✓ Tasa de servicio (μ): 8 pasajeros por minuto.
- ✓ Utilización del sistema (ρ), número promedio de pasajeros en la cola (L_q), y tiempo promedio de espera en la cola (W_q) son los mismos que calculamos anteriormente.

Cálculos para la nueva ubicación de la parada

- ✓ Tiempo de caminata a la nueva ubicación: 2 minutos y 28 segundos.
- ✓ Suposición: supondremos que el aumento en el tiempo de caminata disminuye la tasa de llegada de pasajeros. Sin una estimación precisa de cómo esto afecta la tasa de llegada, podemos hacer una suposición razonable. Por ejemplo, podemos asumir que la tasa de llegada se reduce en un 10%.

Nuevos cálculos para la tasa de llegada (λ) en la nueva ubicación

- ✓ Reducción del 10% en λ : $\lambda_{nuevo} = \lambda \times 0.9$
- ✓ Tasa de servicio (μ) permanece igual.

Cálculos para la parada actual

- ✓ Tasa de llegada (λ): 12 pasajeros por minuto.

- ✓ Utilización del sistema (ρ): 1.5.

$$\rho = \frac{12}{8} = 1.5$$

- ✓ Número promedio de pasajeros en la Cola (L_q): valor infinito (indicativo de un sistema sobrecargado).
- ✓ Tiempo promedio de espera en la cola (W_q): valor infinito (indicativo de un sistema sobrecargado).

Para la nueva ubicación de la parada

- ✓ Tasa de llegada reducida (λ): 10.8 pasajeros por minuto (reducción del 10%).
- ✓ Utilización del sistema (ρ): 1.35.

$$\rho = \frac{10.8}{8} = 1.35$$

- ✓ Número promedio de pasajeros en la cola (L_q): valor infinito (indicativo de un sistema sobrecargado).
- ✓ Tiempo promedio de espera en la cola (W_q): valor infinito (aún indicativo de un sistema sobrecargado).

Para las 2 paradas (escenario actual y escenario con la parada más lejana) tanto el número promedio de pasajeros en la cola (L_q) y tiempo promedio de espera en la cola (W_q) el resultado es infinito debido a la sobrecarga del sistema.

Tabla 1. Matriz de Modelo M/M/1 Teoría de Colas

Parámetro	Descripción	Parada actual	Nueva ubicación de la parada
λ	Tasa de llegada de pasajeros (pasajeros/minuto)	12	10.8 (reducida en un 10%)
μ	Tasa de servicio (pasajeros/minuto)	8	8
ρ	Utilización del sistema	1.5 (150%)	1.35 (135%)
L_q	Número promedio de pasajeros en la cola	Infinito	Infinito

Proyecto de Integración

Wq	Tiempo promedio de espera en la cola (minutos)	Infinito	Infinito
------	--	----------	----------

Fuente: elaboración propia.

Explicación de la matriz

- ✓ **Tasa de llegada (λ):** la tasa de llegada es mayor en la parada actual (12 pasajeros/minuto) en comparación con la nueva ubicación de la parada (10.8 pasajeros/minuto) debido a la suposición de una reducción del 10% en la tasa de llegada en la nueva ubicación.
- ✓ **Tasa de servicio (μ):** la tasa de servicio permanece constante en ambas ubicaciones (8 pasajeros/minuto), ya que está determinada por la capacidad y frecuencia del autobús.
- ✓ **Utilización del sistema (ρ):** la utilización es mayor en la parada actual, lo que indica una mayor sobrecarga del sistema en comparación con la nueva ubicación.
- ✓ **Número promedio de pasajeros en la cola (Lq) y tiempo promedio de espera en la cola (Wq):** en ambos casos, estos valores son teóricamente infinitos, lo que indica un sistema sobrecargado donde la demanda supera la capacidad de servicio, resultando en largas colas y tiempos de espera.

Costos estimados de implementación

Al trasladarse la parada de lugar, se debería disponer del letrero para que sea trasladado a unos 50 metros que es dónde se encuentra la parada alternativa que podría ser usada para esta solución. El aviso mide 2 metros x 40 centímetros y espesor de 15 cm. Se tiene en cuenta gastos de desmonte, traslado y reinstalación en la nueva parada para colgarlo de los alambres de seguridad y que quede nuevamente suspendido. Los siguientes son costos genéricos:

- ✓ **Transporte y mano de obra:** \$300,000, asumiendo que se podría utilizar la plataforma elevadora que está disponible en el portal para reparaciones en alturas y que el trabajo puede ser realizado en unas pocas horas.
- ✓ **Materiales adicionales:** \$50,000, por calidad y cantidad de los materiales (alambre, tornillos, etc).
- ✓ **Costos adicionales/imprevistos:** sería prudente añadir un 20% (\$70,000) adicional al total para cubrir cualquier imprevisto. Aquí se podría incluir los avisos por radiofonía o megafonía indicando el cambio de la parada.

✓ **Costo total:** \$420,000

Ilustración 14. *Parada Alternativa Sur Oriente Estación*



Fuente: elaboración propia.

Solución 3. Realizar un pasillo con barandas fijas de tamaño intermedio o medio cuerpo frontal al ingreso de la ruta

El pasillo debería tener por lo menos 2 metros de largo para garantizar orden en la fila. Debe tener el ancho de las compuertas del bus para garantizar el acceso de personas en sillas de ruedas o personas que lleven un coche para bebés. Los costos estimados son:

✓ **Costo de las barandas**

- Precio unitario de una baranda: \$910,000.
- Número total de barandas: 4.
- Costo total de las barandas: $\$910,000 \times 4 = \$3,640,000$.

✓ **Costos de instalación:** dado que la información específica no está disponible, se utilizó una estructura de costos genérica para la instalación de barandas de seguridad:

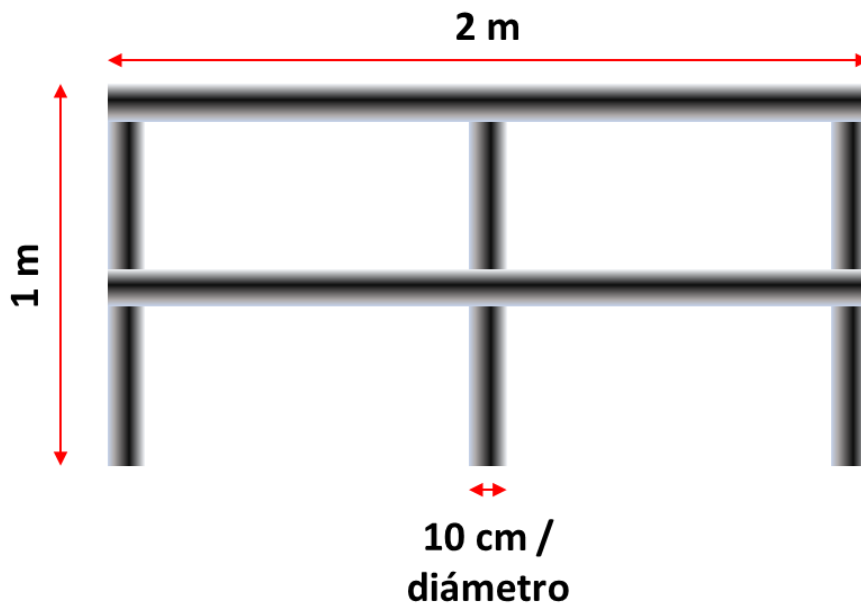
- Mano de obra: dependiendo de la complejidad y el tiempo requerido, el costo de la mano de obra puede variar. Suponiendo un costo moderado, podríamos estimar \$100,000 por baranda.
- Materiales adicionales y herramientas: incluyendo anclajes, herramientas y equipos adicionales, podríamos estimar \$20,000 adicionales por baranda.
- Costo total de instalación: $\$120,000 \times 4 \text{ barandas} = \$480,000$.

Proyecto de Integración

- ✓ **Costos de mantenimiento:** los costos de mantenimiento para barandas de seguridad pueden incluir inspecciones regulares, repintado ocasional y reparaciones menores. Podríamos estimar un costo anual de mantenimiento de:
 - Inspecciones y reparaciones menores: \$30,000 por año.
 - Costo anual de mantenimiento (promedio): \$30,000.
- ✓ **Resumen del costo total estimado**
 - Costo total de barandas: \$3,640,000.
 - Costo total de instalación: \$480,000.
 - Costo anual de mantenimiento: \$30,000.
 - Costo inicial total (barandas + instalación): $\$3,640,000 + \$480,000 = \$4,120,000$.

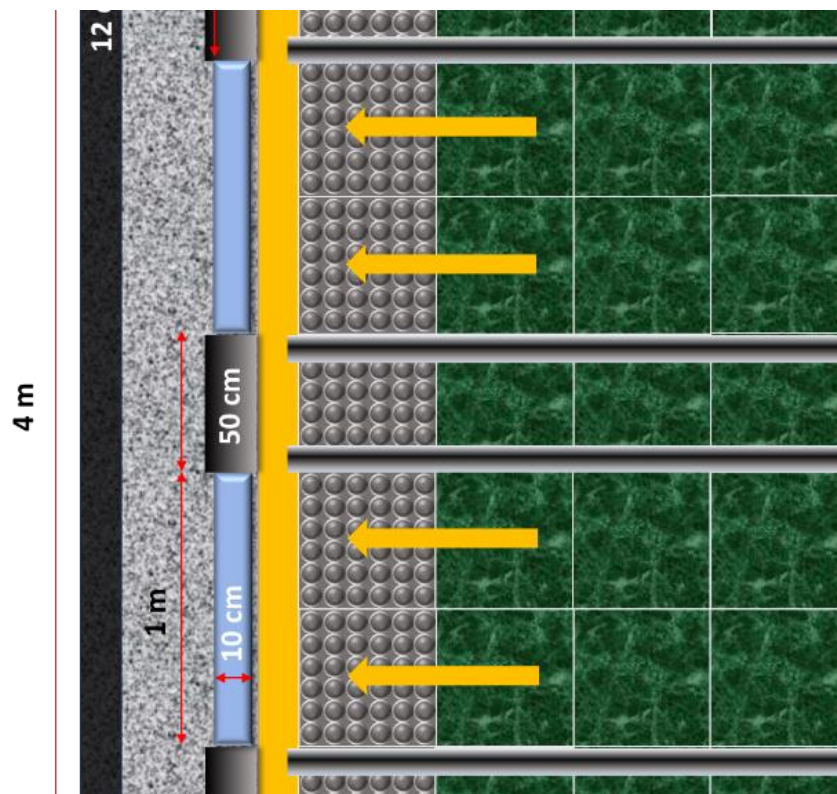
Estos costos son estimaciones genéricas y pueden variar. Esto solo hace parte de un ejercicio práctico y en caso de implementarse, se debería de contar con las cotizaciones específicas.

Ilustración 15. *Dibujo Barandas, Lateral.*



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 16. Dibujo Barandas de Acceso, Vista Aérea.



Fuente: elaboración propia.

✓ **Impacto de las barandas en el embarque**

- Las barandas ayudan a organizar las filas de forma más eficiente, reduciendo el desorden y la congestión.
- Al tener una fila más organizada, se reduce el tiempo de espera para los pasajeros antes de abordar.

✓ **Impacto de las PEDS en el embarque**

- Las PEDS regulan el acceso al autobús, permitiendo el embarque de manera ordenada y segura.
- Las PEDS, al abrirse simultáneamente con las puertas del autobús, permiten un embarque más rápido y coordinado.

Estimación del ahorro de tiempo

- ✓ **Sin barandas ni PEDS:** supongamos que el tiempo promedio de embarque por pasajero sin estas medidas es de 5 segundos, sin contar la violencia con la que ingresan los usuarios al bus.

Proyecto de Integración

- ✓ **Con barandas:** las barandas pueden reducir el tiempo de embarque por pasajero, digamos a 4 segundos, debido a una mejor organización de las filas.
- ✓ **Con PEDS:** las PEDS pueden reducir aún más este tiempo, supongamos a 3 segundos por pasajero, debido a un embarque más coordinado.

Análisis comparativo de las soluciones y recomendación

- ✓ **Económico:** la Solución 3 es la más económica, seguida por la Solución 2 e incluso podría darse una mezcla de estas dos. La Solución 1 es la más costosa que, aunque vale la pena implementarla para garantizar la seguridad de los pasajeros, es muy costosa para ser implementada como parte de un ejercicio experimental y no se podría garantizar un retorno de la inversión.
- ✓ **Social:** todas las soluciones mejoran la experiencia del usuario en diferentes grados. La Solución 1 parece ser la más beneficiosa en términos de seguridad y eficiencia ya que asegura que los pasajeros no caigan desde la plataforma y obligaría a los usuarios a realizar la espera unos pasos atrás del límite de la plataforma.
La Solución 2 permite que haya una menor aglomeración, aunque no es significativa la disminución. Luego la Solución 3 contribuiría al orden pues obliga a los usuarios a realizar las filas por lo menos en el pasillo de 2 metros de longitud en el que se instalarían las barandas.
- ✓ **Sostenibilidad:** las tres soluciones podrían contribuir a un sistema de transporte más sostenible porque el orden en el ingreso podría hacer que vuelvan pasajeros que se han bajado del sistema por los problemas de inseguridad y aglomeración que se presentan en este horario crítico de la semana.

Tabla 2. Matriz de Comparación de Soluciones

Aspecto	Solución 1: Instalación de PEDS	Solución 2: mover la parada	Solución 3: pasillo con barandas
Análisis de tráfico y flujos	Con 40 personas subiendo al bus cada 5 minutos en horas pico, la instalación de PEDS ayudaría a gestionar mejor el flujo de	Al mover la parada, se retrasa la llegada de usuarios, impactando potencialmente la tasa de llegada de pasajeros y, por ende, la congestión.	Las barandas organizan las filas, mejorando la eficiencia en el embarque y reduciendo la congestión.

	pasajeros y reduciría el desorden.		
Diseño y dimensiones	La estación se adapta para la integración de las PEDS, alineándose con las puertas del autobús para un acceso fluido.	No requiere cambios significativos en el diseño de la estación, solo el traslado del letrero de la parada.	Las barandas deben tener un diseño que permita el acceso a sillas de ruedas y coches para bebés, con una longitud de al menos 2 metros.
Costos y presupuesto	El costo estimado es de 56 millones de pesos, incluyendo la adquisición e instalación de las PEDS.	Los costos de traslado del letrero son relativamente bajos, estimados en \$420,000.	El costo total estimado es de \$4,120,000, incluyendo la compra e instalación de las barandas.
Impacto operacional y seguridad	Las PEDS mejoran la seguridad, reduciendo accidentes causados por estampidas. Hay que considerar el impacto en los tiempos de operación y el flujo de pasajeros.	Podría no tener un impacto significativo en la reducción de la sobrecarga del sistema, aunque retrasa la llegada de los usuarios a la parada.	Mejora significativa en la organización de las filas y la seguridad en el embarque. No afecta directamente la sobrecarga del sistema.
Sostenibilidad	Aunque costosa, la solución es sostenible a largo plazo, mejorando la seguridad y potencialmente	Ofrece una mejora marginal en la sostenibilidad del sistema, pero no aborda directamente la	Contribuye a la sostenibilidad al mejorar el orden y la seguridad, lo cual podría atraer a más usuarios.

Proyecto de Integración

	atrayendo a más usuarios al sistema.	sobrecarga o la seguridad.	
Impacto económico	Alta inversión inicial, pero potencialmente beneficioso a largo plazo en términos de seguridad.	Bajo costo, solución económica, pero con impacto limitado en la eficiencia general del sistema.	Costo moderado con un buen equilibrio entre beneficio y gasto.
Impacto social	Mejora significativamente la seguridad y la experiencia del usuario, reduciendo el riesgo de accidentes y la congestión durante el embarque.	Puede reducir ligeramente la congestión, pero su impacto social es limitado en comparación con las otras soluciones.	Mejora la experiencia del usuario al organizar las filas y reducir la congestión.
Recomendación general	Aunque es la más costosa, esta solución es altamente recomendada para mejorar significativamente la seguridad y eficiencia en el ingreso de pasajeros.	Es una solución económica para probar cambios menores en la dinámica de la parada, pero probablemente insuficiente para abordar los problemas de fondo.	Es una solución económicamente viable y efectiva para mejorar el orden y la seguridad, y se podría implementar en combinación con la Solución 2 para maximizar el impacto.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. *Matriz de Costos para las Tres Soluciones*

Componente	Solución 1: PEDS	Solución 2: cambio de parada	Solución 3: barandas
Costo de objeto	\$47 millones (PEDS)	\$420,000 (traslado de parada)	\$3,640,000 (4 barandas)

Costos de instalación	\$3 millones	Incluido en el costo de implementación	\$480,000
Costos adicionales	\$2 millones	\$70,000 (imprevistos)	No especificado
Costos de contingencia	\$4 millones	Incluido en el costo de implementación	No especificado
Costos de mantenimiento	No especificado	No especificado	\$30,000 anuales (mantenimiento)
Costo total	\$56 millones (estimado)	\$490,000 (estimado)	\$4,120,000 (estimado)
Beneficios	Mayor seguridad, gestión de pasajeros	Menor aglomeración	Organización y reducción de congestión
Desventajas	Costo elevado, incertidumbre en ROI	Efecto limitado en la congestión	Limitado a un área específica
Recomendación económica	Costosa, pero mejora significativa	Económica, pero con impacto limitado	Costo moderado con buenos beneficios

Fuente: elaboración propia.

Proyecto de Integración

Conclusiones

Se observó que los pasajeros tienden a formar nuevas filas en los laterales de la multitud presente, generando más desorden. Este comportamiento se debe a la tendencia de evitar quedar en medio del tumulto y sufrir accidentes, así como al deseo de ingresar más rápido en cada nuevo servicio que llega.

El comportamiento de los pasajeros se ve influenciado por la estructura de la estación y la disposición de las puertas del bus, lo que lleva a un uso ineficiente del espacio y a situaciones de riesgo. Por eso se propusieron tres soluciones principales: instalación de PEDS, cambio en la ubicación de la parada de autobús y la instalación de barandas fijas.

Cada solución tiene sus propios beneficios y desafíos. Las PEDS mejorarían la seguridad y el orden, pero son costosas; cambiar la ubicación de la parada puede reducir la congestión sin costos significativos; y las barandas fijas ofrecen una mejora en la organización a un costo menor.

Económicamente, la instalación de barandas fijas (Solución 3) es la más viable debido a su bajo costo y mejora significativa, aunque limitada en términos de control de aglomeraciones.

Socialmente, todas las soluciones ofrecen mejoras en la experiencia del usuario. Las PEDS (Solución 1) presentan el mayor beneficio en términos de seguridad.

En términos de sostenibilidad, las tres soluciones contribuyen positivamente al sistema de transporte, puesto que potencialmente podrían atraer a pasajeros desalentados por problemas de seguridad y congestión.

Por último, si se prioriza la economía, la Solución 3 es la mejor opción. Para un equilibrio entre costo y beneficio, la combinación de las Soluciones 2 y 3 sería efectiva. Para maximizar la seguridad, a pesar de su alto costo, la Solución 1 sería la ideal. Sin embargo, se debe tener en cuenta que cada solución tiene limitaciones y que la elección final debería basarse en una evaluación detallada de las necesidades y recursos disponibles.

Referencias

- Anderson, D. y Hunter-Zaworski, K. (2015). Platform Edge Detection and Protection Effects on Platform–Train Interface Safety. *Transportation Research Record*, 2534(1), 24-30. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.3141/2534-04>
- Antos, J., Jia, W. y Parker, J. (2017). Is It Too Crowded in Here?: In Search of Safety Standards for Pedestrian Congestion in Rail Stations. *Transportation Research Record*, 2648(1), 126-133. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.3141/2648-15>
- Barron, A., Canavan, S., Anderson, R. y Cohen, J. (2018). Operational Impacts of Platform Doors in Metros. *Transportation Research Record*, 2672(8), 266-274. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1177/0361198118784386>
- Caballero, I. (2020) Es verdad que TransMilenio mueve muchos más pasajeros por kilómetro que el metro de Delhi. *ColombiaCheck*. <https://colombiacheck.com/chequeos/es-verdad-que-TransMilenio-mueve-muchos-mas-pasajeros-por-kilometro-que-el-metro-de-delhi>
- Carrel, A., Halvorsen, A. y Walker, J. (2013). Passengers' Perception of and Behavioral Adaptation to Unreliability in Public Transportation. *Transportation Research Record*, 2351(1), 153-162. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.3141/2351-17>
- Colaboradores de Wikipedia (2023). Portal 20 de Julio. *Wikipedia*. https://es.wikipedia.org/wiki/Portal_20_de_Julio
- De Ana, G., Seriani, S. y Holloway, C. (2016). Impact of Platform Edge Doors on Passengers' Boarding and Alighting Time and Platform Behavior. *Transportation Research Record*, 2540(1), 102-110. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.3141/2540-12>
- García Lirios, C., Carreón Guillén, J., Hernández Valdés, J., Rivera Varela, B. L., Aguilar Fuentes, J. A., & Rosas Ferrusca, F. J. (2015). Diferencias perceptuales ante el riesgo a las aglomeraciones en el transporte público y concesionado. *Iberóforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, 10(19), 112-131. Universidad Iberoamericana. <https://www.redalyc.org/pdf/2110/211042614005.pdf>
- Grupsa (2023). Instalación de puertas para andén (PSD), metro, bus, tren - grupsa. Grupsa. <https://grupsa.com/puertas-de-anden/#>
- Hernández, C. (2017). Eliminar la ruta M80-L80 de TransMilenio: un cambio que da susto. *Las2orillas*. <https://www.las2orillas.co/eliminar-la-ruta-m80-l80-TransMilenio-cambio-da-susto/>
- Icontec (2013). Norma Técnica Colombiana NTC 6047. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Programa%20Nacional%20del%20Servicio%20al%20Ciudadano/NTC6047.pdf>

Proyecto de Integración

- IOL (2012). All Blacks sneak win over Springboks [Fotografía]. IOL.
<https://www.iol.co.za/sport/rugby/springboks/all-blacks-sneak-win-over-springboks-1383695>
- Kormos, C., Sussman, R. y Rosenberg, B. (2021). How Cities Can Apply Behavioral Science to Promote Public Transportation use. *Behavioral Science & Policy*, 7(1), 95-115.
<https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1177/237946152100700108>
- Las2Orillas (2017). Eliminar la ruta M80-L80 de TransMilenio: un cambio que da susto [Ilustración]. TransMilenio. <https://www.las2orillas.co/eliminar-la-ruta-m80-l80-TransMilenio-cambio-da-susto/>
- Lirios, C. (2015). Diferencias perceptuales ante el riesgo a las aglomeraciones en el transporte público y concesionado.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=211042614005>
- Lombardi, D. y Ciceri, M. (2021). Dealing With Feeling Crowded on Public Transport: The Potential Role of Design. *Environment and Behavior*, 53(4), 339-378. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1177/0013916519879773>
- Ma, S., Weng, J., Wang, C., Alivanistos, D. y Lin, P. (2020). Bus passenger flow congestion risk evaluation model based on the Pressure-State-Response framework: A case study in Beijing. *Science Progress*, 103(1). doi: 10.1177/0036850419883567
- Redacción Bogotá (2021, 17 mayo). Así son los nuevos buses híbridos que circulan por la séptima. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/bogota/asi-son-los-nuevos-buses-hibridos-que-circulan-por-la-septima-article-510075/>
- Redacción Caracol Radio (2022). Comienzan a operar paraderos exclusivos de ‘buses ecológicos’ en la Séptima. *Caracol Radio*.
https://caracol.com.co/radio/2014/10/11/bogota/1413032100_457348.html
- Ríos, J. (2023). La megaobra de la avenida 68: aquí le mostramos cómo va y cómo debería quedar. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/bogota/TransMilenio-como-van-las-obras-por-la-avenida-68-asi-deberia-quedar-767691>
- Rodríguez, L. (2022). El crecimiento urbano en las últimas tres décadas en Colombia y sus nuevas perspectivas. Instituto De Estudios Urbanos.
<http://ieu.unal.edu.co/medios/noticias-del-ieu/item/el-crecimiento-urbano-en-las-ultimas-tres-decadas-en-colombia-y-sus-nuevas-perspectivas>
- Rusbult, C. (1979). Crowding and Human Behavior: A Guide for Urban Planners. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 11(7), 731-744. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1068/a110731>
- Rustagi, A. (2022). CMRL announced to install platform screen doors on elevated stations in Phase-2. *Metro Rail News*. <https://www.metrotrainnews.in/cmrl-announced-to-install-platform-screen-doors-on-elevated-stations-in-phase-2/>
- Schiefelbusch, M. (2010). Rational planning for emotional mobility? The case of public transport development. *Planning Theory*, 9(3), 200-222. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1177/1473095209358375>

- Shipman, A. y Majumdar, A. (2018). Fear in Humans: A Glimpse into the Crowd-Modeling Perspective. *Transportation Research Record*, 2672(1), 183-197. <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1177/0361198118787343>
- The Philadelphia Inquirer (2023). Could complaints lead the NFL to outlaw the Eagles' QB sneak 'tush push' tactic? [Fotografía]. *The Philadelphia Inquirer*. <https://www.inquirer.com/eagles/eagles-jalen-hurts-qb-sneak-nfl-rule-change-20230304.html>
- TransMilenio (2023). TransMilenio avanza con programas para mejorar experiencia de viaje de usuarios [Fotografía]. TransMilenio S.A. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/programas-de-TransMilenio-que-mejoran-experiencia-de-viaje-de-usuarios>
- TransMilenio (2022, 3 enero). Abecé sobre adjudicación de puertas. TransMilenio. <https://www.TransMilenio.gov.co/publicaciones/152621/abece-sobre-adjudicacion-de-puertas/>
- TransMilenio (2018). Plano de Ubicación Zona L | Portal 20 de Julio [Ilustración] <https://www.skyscrapercity.com/threads/bogot%C3%81-TransMilenio.935364/page-2496>
- TransMilenio (2014). 27 nuevos buses híbridos rodarán por la Carrera 7A. TransMilenio. <https://www.TransMilenio.gov.co/publicaciones/146936/27-nuevos-buses-hibridos-rodaran-por-la-carrera-7a/>
- TransMilenio (2013a). Inicia Operación la Carrera 7 con Buses Duales. TransMilenio. <https://www.TransMilenio.gov.co/publicaciones/146617/inicia-operacion-la-carrera-7-con-buses-duales/>
- TransMilenio (2013b). TransMilenio informa: Portal 20 de Julio inicia operación. TransMilenio. <https://www.TransMilenio.gov.co/publicaciones/146477/TransMilenio-informa-portal-20-de-julio-inicia-operacion/>
- TransMipedia (s. f.). Bus. [https://transmipedia.TransMilenio.gov.co/w/index.php/Bus#:~:text=Padr%C3%B3n%20Dual,-Bus%20de%20mediana&text=03%20y%205701.-,Su%20capacidad%20de%20acuerdo%20con%20la%20norma%20es%20de%20entre,%20cuatro%20\(4\)%20ejes](https://transmipedia.TransMilenio.gov.co/w/index.php/Bus#:~:text=Padr%C3%B3n%20Dual,-Bus%20de%20mediana&text=03%20y%205701.-,Su%20capacidad%20de%20acuerdo%20con%20la%20norma%20es%20de%20entre,%20cuatro%20(4)%20ejes)
- Webmaster (2021). Platform screen door. Portalp. <https://www.portalp.com/platform-screen-door/?lang=en>