



**“Reordenamiento de Usuarios en la Estación Juan Pablo Duarte del Metro de Santo Domingo: Diseño de Modelo de Flujo Usuarios en Horas Pico Matutina en Dirección Este-Oeste”**

**Proyecto de Grado Presentado como Requisito para Optar por el Título de:  
“Ingeniero Industrial y de Sistemas”**

**Sustentantes:**

Ashley Pérez 21-0747

Amanda Rosario 21-0060

**Asesor:**

Ing. Elvio Guerrero

**Universidad Iberoamericana (UNIBE)**

**2024**

## **Agradecimientos**

A Dios, por darme la fuerza y la sabiduría para superar los desafíos y alcanzar mis metas. Gracias por iluminar mi camino y guiarme en cada paso de esta travesía académica.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y por creer siempre en mí. Sin su sacrificio y dedicación, este logro no habría sido posible. Su ejemplo y enseñanzas han sido mi mayor inspiración.

A mi nueva familia que me regaló la universidad, en especial a Ashley Perez, Shantal Chardón y Jean Tejada, gracias por su comprensión y paciencia durante este arduo proceso. Su amistad y apoyo han sido fundamentales para mantenerme motivada y enfocada en mis objetivos.

A todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuido a mi formación y crecimiento personal. Su influencia ha dejado una huella imborrable en mi vida.

- Amanda Rosario Frias

Estos cuatro años de carrera se los dedico a todas las personas a mi alrededor que sirvieron de apoyo para todas las circunstancias que tuve que enfrentar, pero que sin ellos no lo hubiera logrado.

Primero a Dios, por sostenerme bajo su misericordia y darme la fuerza de voluntad para lograr mis objetivos. A mi familia, quienes son mi motivación diaria de seguir siempre adelante. Mis abuelos quienes me cuidan y aman incondicionalmente y a mis amigas y mi hermana, quienes me alientan a ser siempre la mejor versión de mi.

A mi madrina, que sin su apoyo no hubiera sido posible este logro, le dedico todos mis objetivos alcanzados y le agradezco infinitamente su generosidad y amor ilimitado. A las amistades que me regaló UNIBE, en especial a mi compañera Amanda Rosario, con quien comencé y terminaré este

largo pero hermoso proceso, y a Shantal Chardon y Jean Tejada, quienes se volvieron una familia para mí.

Finalmente, le dedico especialmente este título a mis amados padres, quienes son mi mayor soporte para todo en la vida y mi inspiración diaria para lograr grandes cosas. Agradezco infinitamente sus sacrificios y por siempre poner mi futuro y oportunidades sobre todo lo otro. Gracias por su amor incondicional, ustedes me dan fuerzas para siempre seguir adelante.

Mención especial a todos los ingenieros de mi familia, que honor ser parte de esta distinción.

- Ashley Coraima Pérez.

## **Resumen**

Este proyecto de grado se centra en la optimización del flujo de pasajeros en la estación Juan Pablo Duarte de la Línea 2 del Metro de Santo Domingo durante las horas pico, específicamente en el andén con dirección este-oeste. El objetivo principal es identificar causas de la aglomeración y proponer soluciones para mejorar la eficiencia en el abordaje y desembarque de usuarios.

Se ha empleado un enfoque multidisciplinario que incluye el uso de teoría de colas, análisis de flujo de usuarios y encuestas de satisfacción. Se realizaron análisis de la capacidad del andén, la puntualidad de los trenes y el comportamiento de los pasajeros. Se implementaron herramientas de visualización como diagramas de espagueti y el customer journey para identificar cuellos de botella y puntos críticos en el flujo de pasajeros.

El análisis reveló que la capacidad del andén (597 personas) no es suficiente para manejar la demanda en horas pico, con una tasa de llegada de 1.64 pasajeros por segundo frente a una tasa de servicio de 0.036. La puntualidad de los trenes es del 84.9%, lo que afecta la fluidez del proceso. El NPS de -19.4% indica un nivel significativo de insatisfacción entre los usuarios.

El estudio propone varias medidas para mejorar la situación, incluyendo la implementación de trenes acoplados para duplicar la capacidad, la utilización de delimitadores y stickers en el andén para organizar mejor a los pasajeros, y la mejora de la señalización y la comunicación con los usuarios. Estas medidas buscan reducir la congestión, mejorar la experiencia del usuario y optimizar el flujo de pasajeros en la estación.

## Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>Problema de Investigación.....</b>	<b>6</b>
<b>Formulación del Problema.....</b>	<b>7</b>
<b>Sistematización del Problema.....</b>	<b>7</b>
<b>Objetivo General.....</b>	<b>8</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>8</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>8</b>
<b>Alcance y Limitaciones.....</b>	<b>10</b>
<b>Hipótesis.....</b>	<b>11</b>
<b>Variables.....</b>	<b>12</b>
<b>Marco Teórico o Construcción de la Literatura.....</b>	<b>12</b>
Antecedentes del Problema.....	12
Conceptos Clave.....	17
<b>Marco contextual.....</b>	<b>18</b>
Antecedentes del Metro de Santo Domingo.....	18
Localización Geográfica.....	19
Características del Entorno.....	20
Misión, Visión y Valores.....	20
Descripción de Productos y/o Servicios.....	21
<b>Marco Metodológico.....</b>	<b>22</b>
Diseño de Investigación.....	22
Tipos de Investigación.....	22
Metodología.....	22
Fuentes y Técnicas.....	23
Población y Muestra.....	23
<b>Situación actual.....</b>	<b>26</b>
Levantamiento y recolección de datos cuantitativos.....	26
<b>Análisis de situación actual (Herramientas).....</b>	<b>35</b>
Diagrama de Flujo / Diagrama de Espaguetti.....	35
Customer Journey.....	35
Teoría de cola.....	37
Cálculo de Puntualidad de Llegada de Trenes (Eficiencia en la Frecuencia).....	42
Net Promoter Score.....	43
Diagrama de Causa y Efecto.....	45
<b>Situación Propuesta.....</b>	<b>45</b>

1. Problema de Método: Aglomeración y desorganización de usuarios con el flujo de movimiento actual en el andén.....	46
2. Problema de Capacidad: La demanda del servicio es mayor que la capacidad de los vagones (capacidad < demanda).....	49
3. Problema de Instrucción: Usuarios extraviados e interrupción del flujo por confusión en la vía hacia el transfer (Línea 1).....	50
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>53</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>56</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>58</b>

### Índice de Gráficos

<b>Datos Demográficos.....</b>	<b>26</b>
Edad.....	26
Ocupación.....	27
Municipio donde reside.....	27
Estación para ingresar al sistema del MSD.....	28
<b>Entrada de Usuarios.....</b>	<b>28</b>
Entrada de usuarios al andén promedio por día.....	28
Pico de entrada de usuarios al andén por intervalo.....	29
<b>Salida de Usuarios.....</b>	<b>29</b>
Salida promedio de usuarios del andén por día.....	29
Promedio de entrada y salida de usuarios del andén.....	30
Cantidad de llegada de trenes a la estación.....	30
<b>Visualización: Recorrido de usuario.....</b>	<b>30</b>
<b>Diagrama de espagueti situación actual.....</b>	<b>35</b>
<b>Diagrama de pescado (causa-efecto).....</b>	<b>46</b>

## Introducción

El Metro de Santo Domingo es la red de ferrocarril metropolitano de la ciudad de Santo Domingo. El proyecto fue propuesto por el presidente brasileño Lula da Silva, aunque no es hasta el año 2005, en la gestión del Presidente Leonel Fernández y con una inversión de más de 750 millones de dólares, que se inician los trabajos para la construcción del primer sistema de ferrocarril urbano subterráneo en la República Dominicana. El sistema consta de dos líneas: Línea 1 en sentido norte - sur con 16 estaciones, y Línea 2 que atraviesa la ciudad de oeste a este, con 18 estaciones, convirtiéndose en el sistema ferroviario metropolitano más extenso del Caribe.

El sistema moviliza un aproximado de 100 millones de personas al año, siendo el 2023 el año con mayor demanda desde su apertura en el 2009. Para este año, según el Informe Trimestral de Evolución de la Demanda, realizado por el Departamento de Operaciones del Metro de Santo Domingo, en el periodo de enero a marzo se ha movilizadado un total de 27,150,628 usuarios, logrando un aumento de un 0.6% en comparación con el mismo periodo en el 2023.

En la Av. Maximo Gomez esq. Av. Kennedy se encuentra la Estación Juan Pablo Duarte, la cual es parte de un sistema de *transfer* entre la Línea 1 y Línea 2. Este movimiento entre una línea y otra genera un gran flujo de usuarios que puede resultar en aglomeraciones. Debido a esto, en la estación JPD se realiza un operativo de intervención en las horas pico (matutina y vespertina), para asegurar un flujo organizado de personas.

El presente trabajo pretende investigar, recopilar y analizar el flujo actual del operativo en horas pico de la mañana (entiéndase de 7:00 a 9:00 am), con el fin de implementar métodos y/o modelos que puedan optimizar y mejorar el ordenamiento para poder disminuir la congestión y asegurar la entrada de más personas a los vagones.

## **Problema de Investigación**

Los trenes del Metro de Santo Domingo son de 3 vagones, con una capacidad aproximada de 240 personas por vagón (o 720 en total). En los picos matutinos existe una demanda mayor que la capacidad actual de los trenes, con un aproximado de 8,000 personas realizando el transfer desde Línea 1 hacia Línea 2, mientras que solo un aproximado de 6,000 personas salen de los trenes que llegan a esta estación. Esto se traduce en aglomeraciones de usuarios que están en espera de un espacio disponible en los próximos trenes.

En el andén de estudio se implementó un operativo para manejar los flujos de los usuarios en estos picos, pero, el mismo es interrumpido por diversos factores como:

- Al ser reducido el tiempo que esperan los trenes por estación, los usuarios suelen desesperarse e interrumpir el flujo diseñado, causando caos y aglomeraciones, lo que puede afectar a la cantidad real de personas que pueden entrar a los vagones.
- A veces, las puertas del tren tienen que volverse a abrir debido a que personas interrumpen el cierre, causando retrasos en la salida de la estación, afectando la frecuencia de las llegadas de los trenes y aumentando el tiempo de espera para los usuarios en cola.

## **Formulación del Problema**

*¿Cómo puede implementarse un Modelo de Reordenamiento de Personas en el andén de la Estación Juan Pablo Duarte en dirección Estación Maria Montez, para mejorar el flujo y organización de los pasajeros, optimizando así la cantidad de usuarios en espera y reduciendo el tiempo de entrada y salida de los vagones, mitigando así los retrasos en los desplazamientos diarios de los usuarios?*



## **Sistematización del Problema**

- ¿Cuáles son los principales factores que contribuyen a la congestión y los largos tiempos de espera en la estación Juan Pablo Duarte del Metro de Santo Domingo durante las horas pico?
- ¿Qué modelos específicos podrían ser más efectivos para optimizar la organización de los pasajeros en la estación y reducir los tiempos de espera?
- ¿Cuál sería el impacto potencial de la implementación de un Modelo de Reordenamiento de Personas en la estación Juan Pablo Duarte, tanto en términos de la experiencia del usuario como en la eficiencia operativa del sistema de transporte?

## **Objetivo General**

Analizar las diferentes causas del aglomerado de personas en la estación Juan Pablo Duarte, en el andén dirección este-oeste, durante las horas pico matutinas (7:00 - 9:00 am). Asimismo, investigar y diseñar un Modelo de Reordenamiento de Personas para optimizar el flujo de pasajeros y reducir la congestión durante la espera en la estación.

## **Objetivos Específicos**

- Analizar los factores que contribuyen a la congestión y los tiempos de espera en la estación Juan Pablo Duarte del Metro durante las horas pico.
- Identificar y comparar diferentes modelos de organización para determinar cuál sería el más adecuado para la optimización del flujo de pasajeros en la estación.
- Diseñar el Modelo de Reordenamiento de Personas considerando los horarios de mayor demanda y las características específicas del flujo de pasajeros.

- Recopilar datos sobre el flujo durante el operativo matutino, incluyendo frecuencias de llegadas, tiempos de espera, capacidad de la estación y satisfacción del usuario.

## **Justificación**

La optimización del flujo de pasajeros en la Estación Juan Pablo Duarte del Metro de Santo Domingo es un tema de suma importancia debido a la relevancia del sistema de transporte público en la vida diaria de los habitantes de la ciudad. El Metro de Santo Domingo es el principal medio de transporte en la zona metropolitana, transportando a cientos de miles de pasajeros diariamente. Sin embargo, durante las horas pico, especialmente en la mañana, se enfrenta a desafíos significativos relacionados con la congestión, tiempos de espera y una experiencia del usuario subóptima.

El problema principal radica en la capacidad reducida y los tiempos de espera prolongados en la estación Juan Pablo Duarte durante las horas pico, lo que genera retrasos en los desplazamientos diarios de los usuarios y afecta negativamente su calidad de vida. Esta situación se debe a la gran afluencia de personas que se desplazan hacia el centro del Distrito Nacional desde las diferentes partes de la provincia en las horas de la mañana, coincidiendo con los horarios laborales comunes.

Para abordar este problema, se plantea la implementación de un Modelo de Reordenamiento de Personas en la estación Juan Pablo Duarte del Metro de Santo Domingo durante las horas pico. Este enfoque busca mejorar el flujo de pasajeros y reducir los tiempos de espera mediante una mejor distribución y gestión de los usuarios en el andén de la estación de referencia. Sin embargo, para implementar con éxito este modelo, es fundamental realizar un estudio exhaustivo para analizar los diversos aspectos relacionados con el flujo de pasajeros, como la capacidad de la estación y de los trenes, la congestión y los largos tiempos de espera, la identificación y

comparación de diferentes Modelos de Reordenamiento y el impacto en la experiencia del usuario.

Las variables del estudio incluyen el flujo de usuarios, el tiempo de espera, la capacidad de la estación, la experiencia del usuario, las horas pico, el modelo de reordenamiento y otros factores.. Estas variables se medirán y analizarán mediante diversas técnicas, como conteos de pasajeros, encuestas, análisis estadísticos y observaciones directas.

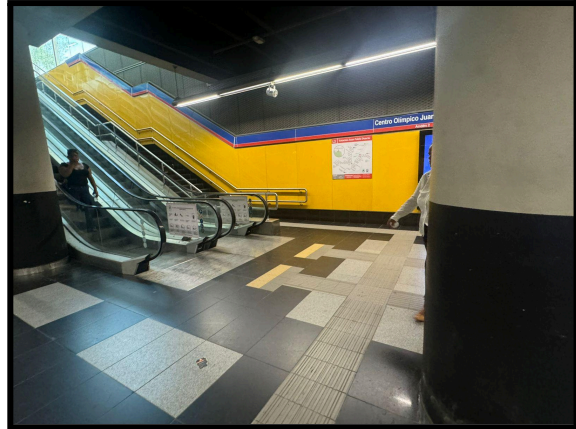
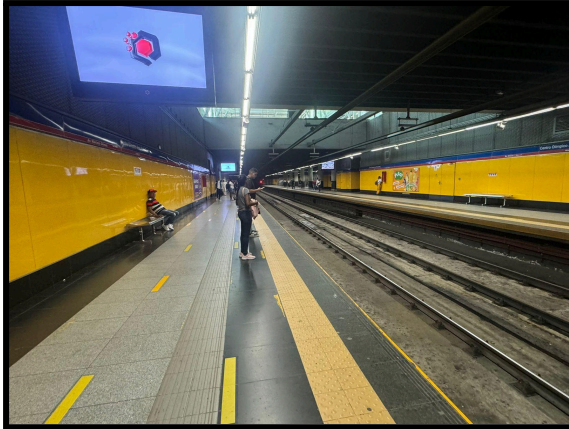
## **Alcance y Limitaciones**

### **Alcance**

El presente trabajo está enfocado en la aglomeración de personas en el andén de la Estación Juan Pablo Duarte con dirección este - oeste (hacia Estación María Montez) en las horas pico de la mañana (7:00 - 9:00 am).



Los alcances de espacio físico incluye únicamente el andén dirección este-oeste (pasillo, escaleras, ascensores) como mostrado a continuación:



## Limitaciones

Dentro de nuestras limitaciones de investigación se encuentran los siguientes espacios físicos y procesos:

- Área de caja (compra de tickets de viaje)
- Andén en dirección Oeste-Este de la Estación Juan Pablo Duarte.
- Otras estaciones

Aun así, nuestras propuestas podrían ser implementadas en otras estaciones que presenten un gran flujo de usuarios en las horas pico (matutina y vespertina).

## **Hipótesis**

Si se implementa un Modelo de Reordenamiento de Personas en la estación Juan Pablo Duarte del Metro de Santo Domingo durante las horas pico, entonces se observará una reducción significativa en el aglomeramiento, disminuyendo los tiempos de espera de los pasajeros para ingresar a los vagones.

## **Variables**

- **Flujo de usuarios (promedio):** Esta variable indica la cantidad de personas que ingresan y salen del andén de estudio en la Estación Juan Pablo Duarte en un período de tiempo determinado. Se medirá mediante conteos de pasajeros y análisis de flujo de personas en la estación.
- **Capacidad de la Andén:** Esta variable indica la cantidad máxima de pasajeros que el andén de estudio puede manejar de manera eficiente sin experimentar congestión. Se medirá mediante evaluaciones de capacidad basadas en la infraestructura física y el flujo de personas.
- **Frecuencia de llegada de trenes (promedio):** Representa la duración real promedio de llegada de los trenes al andén de la estación durante las horas pico. Se medirá utilizando registros de estudio de tiempo.
- **Experiencia del Usuario:** Refiere a la percepción y satisfacción de los pasajeros con respecto al servicio y la experiencia de viaje en la estación durante las horas pico. Se medirá mediante encuestas de satisfacción y análisis de comentarios de usuarios.
- **Horas Pico:** Refiere al período del día en el que se registra la mayor afluencia de pasajeros en la estación, generalmente durante las horas de la mañana, coincidiendo con los horarios laborales típicos. Se medirá mediante el análisis de datos de tráfico de pasajeros en diferentes momentos del día para identificar las horas de mayor demanda (histograma).

## Marco Teórico o Construcción de la Literatura

### Antecedentes del Problema

#### 01. Análisis del Metro de Lima, Línea 1, Para la Optimización del flujo de Transporte.

Luis Luque y Gonzalo Medina presentaron su tesis en el año 2021 con el tema: *“Análisis del Metro de Lima, Línea 1, Para la Optimización del flujo de Transporte”*. En donde exponen sobre que Lima ha tenido un enorme problema en lo que respecta al congestionamiento de tráfico. Según el “TomTom Traffic Index”, Lima durante el 2018 resultó ser la tercera ciudad en el mundo con mayor nivel de congestionamiento de tráfico, siendo a su vez la segunda ciudad latinoamericana en el ranking, después de Bogotá, Colombia. Para el 2018 la demanda de la Línea 1 del Metro de Lima había alcanzado un nivel de más de 370,000 validaciones por día, superando las expectativas.

Es por esto que se plantean la problemática general de *“¿Cómo podemos optimizar el flujo de transporte en las estaciones del Metro de Lima, Línea 1?”* y entre sus objetivos específicos:

- a. ¿Cuáles son las etapas del servicio de transporte de trenes que se deben mejorar en todas las estaciones para optimizar el flujo de transporte?
- b. ¿Cuáles son las etapas del servicio de transporte de trenes que se deben mejorar en las estaciones de mayor tránsito para optimizar el flujo de transporte?
- c. ¿De qué manera podemos mejorar estas etapas de mayor influencia?

Luque y Medina dividieron sus investigaciones y planteamientos en dos etapas. La primera parte de esta investigación consiste en recopilar información por parte de los usuarios mediante encuestas, de la base de datos que registra la concesionaria de la Línea 1 e informes relacionados a los servicios de transporte alternativos a este sistema; en base a ello se realizó un diagnóstico del

servicio de los últimos cinco años de operación, se identificó cada una de las etapas que abarca el servicio, la cantidad de usuarios que hace uso del servicio diariamente, la opinión que se tiene del servicio por parte de los usuarios, el origen y destino de los viajes en base al muestreo obtenido, entre otras cosas.

La segunda parte abarca el planteamiento de propuestas en base a los resultados obtenidos, los cuales consisten en la implementación de dispositivos tecnológicos en la infraestructura existente que mejoren la seguridad en el control de los viajes, permitiendo incrementar la eficacia del servicio; y también se buscó la reducción de los cuellos de botella en ciertos procesos al proponer medios de pago más accesibles y de mayor comodidad a los usuarios. Finalmente, se propone aplicar dos alternativas; la primera consiste en aumentar la frecuencia de llegada de los trenes a las estaciones, para lo cual se requerirá incrementar la frecuencia de los mismos, habiendo la necesidad de adquirir un cierto número de unidades adicionales según se muestra en los cálculos realizados. y la segunda alternativa consiste en implementar la innovadora metodología de Craig Avedisian, la cual permitiría incrementar el aforo de los viajes de cada tren a través de un sistema de codificación de vagones.

## **02. Optimización de la resiliencia de los sistemas ferroviarios urbanos: reprogramación de trenes considerando la congestión de las estaciones.**

La Facultad de Ciencias de Sistemas de la Universidad Jiaotong de Beijing en China publica el 29 de septiembre del 2023 el estudio titulado *“Optimización de la resiliencia de los sistemas ferroviarios urbanos: reprogramación de trenes considerando la congestión de las estaciones”* en el cual exponen sobre el desarrollo de un enfoque de optimización de la resiliencia del sistema en sistemas ferroviarios urbanos. Los expositores entienden que las plataformas abarrotadas y los eventos inesperados, causan retrasos en los trenes, congestionamiento de los andenes y prolongan los retrasos de los trenes, afectando significativamente la calidad del servicio a los pasajeros. Es

por esto que se plantean el siguiente caso práctico: “*El embarque y desembarque de pasajeros en estaciones con exceso de usuarios puede retrasar aún más los trenes*”, conjunto a sus objetivos específicos:

- Mejorar la resiliencia de los sistemas ferroviarios urbanos frente a eventos inesperados, como averías, interrupciones y condiciones climáticas extremas, que causan retrasos y congestión.
- Optimizar la reprogramación de trenes, teniendo en cuenta tanto los retrasos acumulados como la influencia de los flujos de pasajeros en andenes abarrotados.
- Evaluar y cuantificar la resiliencia del sistema mediante un índice específico, que se utiliza como función objetivo en un modelo de programación no lineal de enteros mixtos.

Para salvar las brechas mencionadas anteriormente y aliviar la presión en las estaciones durante las horas pico, este estudio desarrolló un modelo de reprogramación de trenes orientado a la resiliencia para una red ferroviaria urbana. Primero, evaluaron la resiliencia de un sistema ferroviario urbano bajo STOD donde se propone un índice de evaluación cuantitativa orientado a la resiliencia, que considera el nivel de congestión de las estaciones, para medir el desempeño del sistema. En segundo lugar, desarrollaron un enfoque de optimización iterativa de dos fases para la mejora de la resiliencia de los sistemas ferroviarios urbanos para resolver el modelo de programación no lineal de enteros mixtos (MINLP) propuesto.

Los resultados demuestran que el enfoque propuesto puede ser utilizado por los tomadores de decisiones y los operadores de ferrocarriles urbanos para adoptar una estrategia de reprogramación eficiente a tiempo en caso de interrupciones. Los resultados también contribuyen al diseño de la capacidad de las estaciones clave, en particular de las estaciones de transferencia.

### **03. Asignación flexible de capacidad ferroviaria para una línea de metro congestionada: un nuevo enfoque para el control del flujo de pasajeros**



La Facultad de Ingeniería de Transporte de la Universidad Jiaotong del Este de China publica el 21 de septiembre del 2021 el estudio titulado *“Asignación flexible de capacidad ferroviaria para una línea de metro congestionada: un nuevo enfoque para el control del flujo de pasajeros”* en el cual exponen sobre la saturación extrema de las líneas de metro abarrotadas. Debido al gran flujo de pasajeros, muchos sistemas de metro sufren actualmente una gran presión en el transporte en algunas megaciudades. Por ejemplo, el promedio de pasajeros que viajan en los sistemas de metro de Pekín, Moscú y Shanghái ha superado los 10 millones cada día. Debido a esto, una gran cantidad de pasajeros no pueden subir a los trenes de inmediato, ya que la capacidad disponible es insuficiente para la llegada continua de pasajeros, lo que provoca una grave congestión en algunas estaciones.

Es por esto que el estudio se plantea y explora una novedosa estrategia de operación de trenes, es decir, *“la asignación flexible de las capacidades mediante la reserva de vagones en diferentes estaciones de acuerdo con la demanda de pasajeros variable en el tiempo”*. Desarrollando los siguientes objetivos específicos:

- Aliviar la congestión extrema en líneas de metro abarrotadas durante las horas punta mediante la implementación de una nueva estrategia de operación de trenes.
- Desarrollar y aplicar un modelo de programación entera no lineal que tenga en cuenta la dinámica de los pasajeros para optimizar la asignación de capacidad en las estaciones.
- Implementar un algoritmo de búsqueda de vecindad variable (VNS) para resolver el problema de asignación de vagones, logrando así una distribución eficiente de los pasajeros en un corto tiempo de cálculo.

En general, la implementación del control cooperativo del flujo de pasajeros implica un control preciso del flujo de pasajeros entre diferentes estaciones. En este proceso, se deben desarrollar

tecnologías de comunicación más avanzadas en cada estación para recopilar información en tiempo real de la acumulación de pasajeros en otras estaciones.

En el trabajo se propone una nueva estrategia de operación para aliviar la grave acumulación de pasajeros en las líneas de metro congestionadas, es decir, la reserva flexible de vagones en cada tren según la distribución de pasajeros; se formula un modelo matemático riguroso para el problema de interés, y se desarrolla un algoritmo mejorado de búsqueda de vecindad variable para el proceso de solución, en el que se diseña un algoritmo basado en simulación combinado con restricciones relevantes para capturar la dinámica de los pasajeros.

### **Conceptos Clave**

- Sistema ferroviario: Conjunto formado por la infraestructura ferroviaria y el material rodante que circula sobre la misma.
- MSD (Metro de Santo Domingo): El Metro de Santo Domingo es el sistema de transporte ferroviario de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana. Fue inaugurado en 2009 y es operado por la Oficina para el Reordenamiento del Transporte (OPRET).
- Cola: En la Teoría de Colas, una "cola" se refiere a una línea de espera de clientes o "clientes" que están esperando ser atendidos por un "servidor" en un sistema de servicio.
- Reordenamiento de Personas: Es el estudio e implementación de un modelo para asegurar la disminución de aglomeraciones y optimizar los flujos actuales.
- Optimización: Se refiere a la capacidad de hacer o resolver alguna cosa de la manera más eficiente posible y, en el mejor de los casos, utilizando la menor cantidad de recursos.
- Modelos: En el contexto del Metro de Santo Domingo, un "modelo" se refiere a un protocolo u operativos que se implementen con tal de simplificar el flujo de los usuarios,

teniendo en cuenta diversos factores como organización en el ande e impacto de los usuarios en la Línea 1 del *transfer*.

- Estación Juan Pablo Duarte L2: Es la estación objetivo de nuestro estudio. Se encuentra en la Avenida Maximo Gomez esq. Av Jhon F. Kennedy, siendo una estación de transferencia entre la Línea 1 y Línea 2 del sistema del metro, por lo cual se convierte en una estación de gran flujo frente a las demás.
- Usuarios del Metro: Son las personas que utilizan el Metro de Santo Domingo.
- Tiempos de Espera: los tiempos de espera se refieren a los períodos de tiempo que los usuarios pasan en la estación antes de que llegue un tren disponible para abordar.
- Retrasos: los retrasos son los períodos de tiempo adicionales que los usuarios pueden experimentar debido a demoras en la llegada de los trenes, causadas por problemas técnicos, mantenimiento programado, congestión en las vías, etc.
- OPRET: Oficina para el Reordenamiento del Transporte (OPRET) es una institución creada mediante el Decreto No. 477-05 de carácter transitorio, el cual fue ratificado mediante el Decreto No. 708-11.
- Andén: Es una especie de acera a lo largo de la vía, más o menos ancha, y con la altura conveniente para que los viajeros entren y/o salgan de los vagones del tren.
- Estación Maria Montez: Es una estación cabecera del Metro de Santo Domingo de la Línea 2, se encuentra en la av. John F. Kennedy, a la altura de la parada en el km. 9.

## **Marco contextual**

### **Antecedentes del Metro de Santo Domingo**

El proyecto fue propuesto por el presidente brasileño Lula de Silva, aunque no es sino hasta el año 2005 en la gestión del expresidente dominicano Leonel Fernández y con una inversión de más de 750 millones de dólares que se inician los trabajos para la construcción del primer sistema de ferrocarril urbano subterráneo en la República Dominicana.

El primer recorrido oficial se realizó exitosamente con la presencia de las autoridades dominicanas, y con la asesoría y supervisión de técnicos del metro de Madrid el 27 de febrero de 2008 estando el presidente Fernández al frente de los controles. Esta obra ha estado bajo la dirección del ingeniero Diandino Peña, quién ha estado ligado directamente a las grandes construcciones de los gobiernos de Leonel Fernández.

La red de Metro de Santo Domingo desde su apertura en el 2009 ha transportado un total de 977,539,366 usuarios, aumentando significativamente cada año de manera constante. El Metro y el Teleférico han logrado transportar hasta un total de 414,141 usuarios en un día; hecho acontecido el martes 13 de febrero del 2024.

Los beneficios económicos y sociales del Metro, incluyen la mejora en los tiempos de traslado, el impacto en la calidad de vida de los ciudadanos y la modernización del sistema de transporte

público.



### Localización Geográfica

La Estación Juan Pablo Duarte dentro de la red del Metro de Santo Domingo está ubicada específicamente en Avenida Maximo Gomez esq. Av Jhon F. Kennedy, Distrito Nacional.

### Características del Entorno

Las zonas cercanas a la Estación Juan Pablo Duarte tiene una alta densidad de población, especialmente durante las horas pico (específicamente en horas de la mañana) cuando se desplazan grandes cantidades de personas en la ciudad hacia sus labores. Esta alta densidad de población contribuye a la demanda de transporte público y puede generar congestión en la estación.

## **Misión, Visión y Valores**

### **Misión:**

Satisfacer la movilidad de personas y bienes, a través del desarrollo y administración de un sistema ferroviario masivo a fin de contribuir a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

### **Visión:**

Ser el sistema ferroviario a nivel nacional, modelo de referencia por su calidad, seguridad, confiabilidad, eficiencia y responsabilidad con la preservación del medio ambiente.

### **Valores:**

- Responsabilidad: Asumimos con dedicación, puntualidad y esmero las funciones asignadas.
- Honestidad: Manejamos con transparencia y pulcritud los recursos que disponemos, abiertos siempre al escrutinio público.
- Respeto: Tratamos a nuestros semejantes y usuarios con amabilidad y cortesía, cuidando su integridad personal.
- Integridad: Trabajamos siempre apegados a los principios éticos y morales.
- Vocación de Servicio: Realizamos con pasión y entusiasmo nuestras responsabilidades, siempre dispuestos a la colaboración institucional.
- Transparencia: Garantizamos el acceso a la información pública a todos los ciudadanos que lo requieran, siguiendo los procedimientos que se tienen previstos para su obtención.

### **Descripción de Productos y/o Servicios**

El servicio principal del Metro de Santo Domingo es el transporte de pasajeros a lo largo de sus líneas, facilitando el desplazamiento rápido y seguro de miles de personas diariamente. El Metro

opera en diferentes rutas que conectan áreas clave de la ciudad y sus alrededores. Los horarios de operación suelen ajustarse a las demandas de transporte, con servicios que cubren desde las primeras horas de la mañana hasta altas horas de la noche para atender las necesidades de los usuarios.

El Metro ofrece diversas opciones de tarifas para los pasajeros, como la tarjeta de carga única, con un costo de RD \$35.00, y la tarjeta recargable, con un costo de RD \$20.00 por viaje (sin incluir el costo inicial del plástico). Se brindan servicios para garantizar la accesibilidad de personas con movilidad reducida, como ascensores, escaleras mecánicas y espacios reservados en los vagones para sillas de ruedas.

El Metro implementa medidas de seguridad para proteger a los pasajeros, como sistemas de vigilancia, personal de seguridad en las estaciones y protocolos de emergencia. Se proporciona información clara y actualizada sobre horarios, tarifas, cambios en el servicio y otras noticias relevantes a través de paneles informativos en las estaciones, sitios web y aplicaciones móviles. Además del transporte básico, el Metro ofrece servicios complementarios como puntos de venta de boletos en cada estación, áreas de descanso en las estaciones, servicios de atención al cliente y programas de educación vial para fomentar un uso seguro y responsable del sistema de transporte. Asimismo, permiten el asentamiento de tiendas comerciales para compañías telefónicas, bancos, electrónica, entre otros.

## **Marco Metodológico**

### **Diseño de Investigación**

Estaremos realizando levantamiento de datos cuantitativos como entrada y salida de usuarios en el andén, frecuencia de llegada de los trenes a la estación, ocupación de los vagones durante las

horas pico matutinas y las frecuencias de servicio. Asimismo, estaremos realizando encuestas que nos brinden datos demográficos de los usuarios a investigar.

### **Tipos de Investigación**

El proyecto se alinea principalmente con un enfoque de investigación de campo (práctica) y un enfoque cualitativo de investigación. Esto significa que estaremos analizando el flujo y organización de los usuarios del Metro en una estación específica (Juan Pablo Duarte, L2) y recopilando datos dentro del ambiente donde ocurre el fenómeno de estudio. Utilizaremos métodos cualitativos como entrevistas y observaciones directas para comprender las percepciones y experiencias de las personas afectadas por el Metro en la Estación Juan Pablo Duarte.

### **Metodología**

Las metodologías utilizadas para abordar la problemática planteada implica diferentes enfoques para la recolección, análisis e interpretación de datos relevantes. Los aspectos que conllevan estas metodologías incluyen:

- Recolección de datos sobre usuarios diarios durante la hora pico de la mañana en la Estación Juan Pablo Duarte durante los meses de mayo y junio del año 2024.
- Análisis de datos recopilados.
- Encuestas de satisfacción a los usuarios.
- Análisis de las respuestas de las encuestas.

### **Fuentes y Técnicas**

#### **Fuentes:**



- Se obtendrán los datos directamente de la observación y recopilación del flujo de pasajeros y la dinámica en la Estación Juan Pablo Duarte durante horas pico de la mañana.
- Se recopilará información relevante a través de entrevistas con usuarios, personal de la estación y expertos en transporte público.
- Se obtendrán datos cuantitativos sobre tiempos de espera, congestión, satisfacción del usuario, etc., mediante encuestas administradas a una muestra representativa de usuarios.

### **Técnicas:**

- Nos involucraremos activamente en el entorno de la estación para comprender de manera profunda el comportamiento de los pasajeros, el personal y la infraestructura.
- Se realizarán entrevistas con una guía predefinida de preguntas abiertas y cerradas para obtener información cualitativa y cuantitativa.
- Se diseñarán cuestionarios con preguntas específicas y opciones de respuesta para obtener datos cuantitativos de manera estandarizada.

### **Población y Muestra**

Para el análisis de flujo de usuarios, nuestra población consiste de todos los usuarios del Metro de Santo Domingo que utilicen la Estación Juan Pablo Duarte L2 en horas pico de la mañana (7:00 am a 9:00 am) en el andén con dirección este-oeste. Se realizó un promedio de registros cuantitativos de los usuarios en dos ocasiones, en fechas del 13 al 17 de mayo y del 24 al 28 de junio, en las cuales obtuvimos como población un aproximado de 72,000 personas, siendo estas las entradas y las salidas.

Para las entrevistas, consideramos una muestra de 261 personas, contemplando la siguiente fórmula basada en la población del estudio y reflejando un nivel de confianza de 90% :

## Cálculo del tamaño de la muestra para una proporción

Usuario diarios (entrada y salida):

- Lunes: 15,358
- Martes: 14,613
- Miércoles: 13,590
- Jueves: 14,174
- Viernes: 13,864

Total semanal: 71,599 personas

Para calcular el tamaño de la muestra deseada usaremos la fórmula de del tamaño de la muestra para una proporción:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{E^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra
- N = Tamaño de la población
- Z = Porcentaje de confianza (para un 90%)
- p = proporción esperada
- E = margen de error (0.05)

Tomando en cuenta el desglose de cada letra procedemos con los cálculos:

$$Z^2 = 1.645^2 = 2.706$$

$$p \cdot (1 - p) = 0.5 \cdot 0.5 = 0.25$$

$$E^2 = 0.05^2 = 0.0025$$

$$(N - 1) = 71598$$

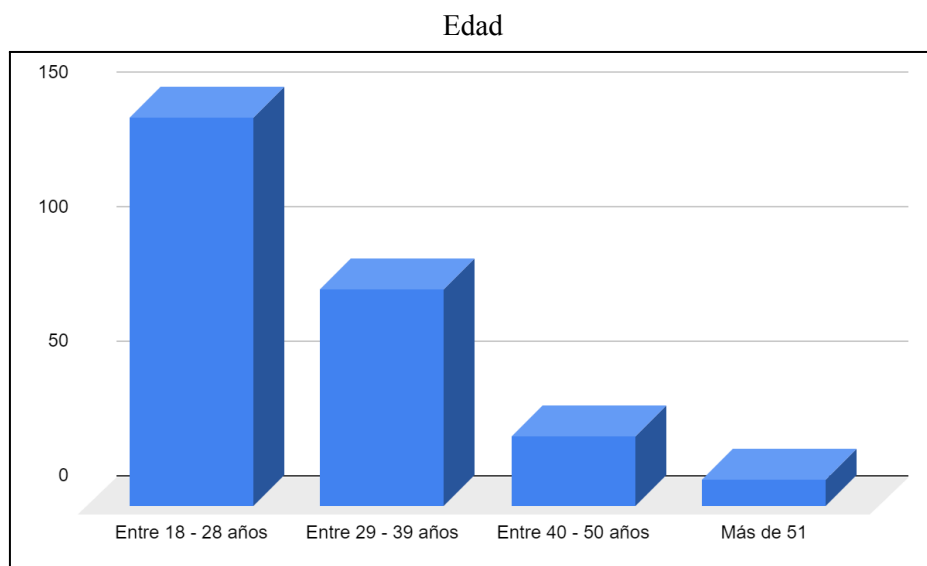
$$n = \frac{71599 \cdot 2.706 \cdot 0.25}{0.0025 \cdot 71598 + 2.706 \cdot 0.25} = \frac{48382.8}{179.6765} \approx 269.2$$

Tomando en cuenta que tenemos una población total de 71,599 usuarios, los resultados de nuestro cálculo indican que debo encuestar un aproximado de 269 personas para lograr obtener resultados representativos con un nivel de confianza del 90%, con un margen de error de 5%.

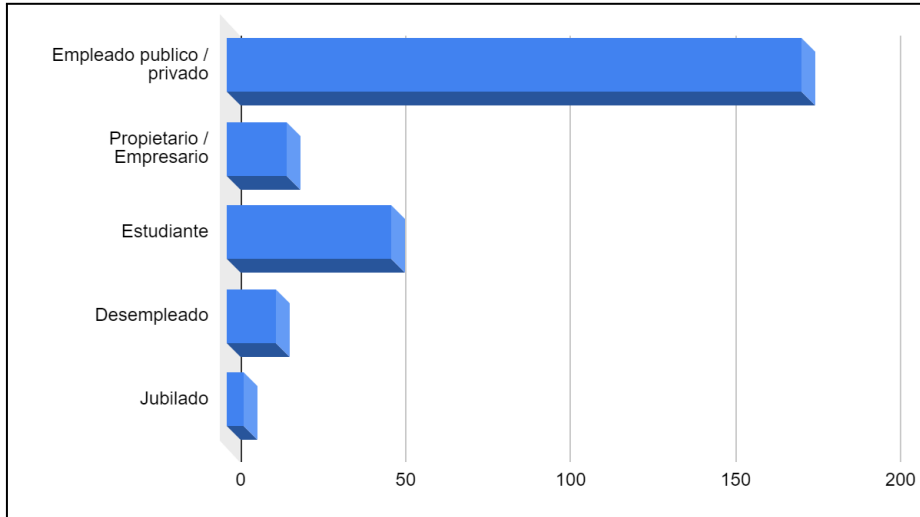
## Situación actual

### Levantamiento y recolección de datos cuantitativos

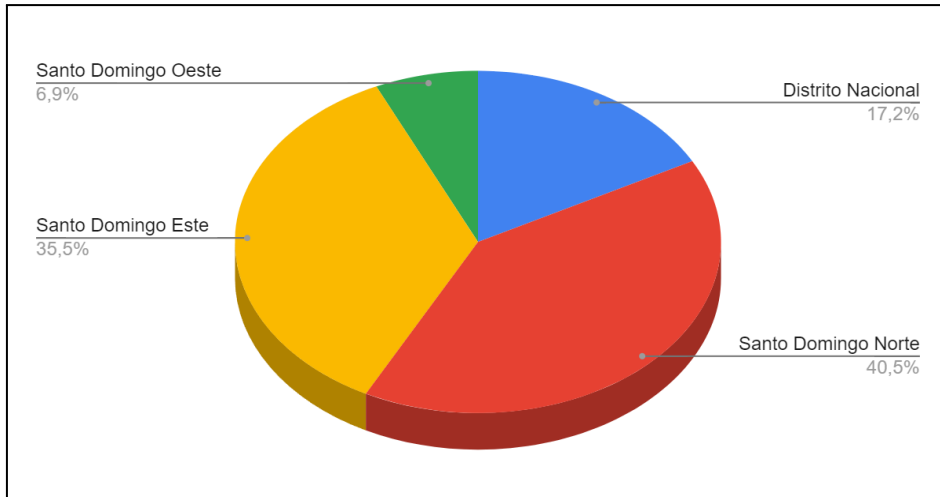
#### 1. Datos Demográficos.



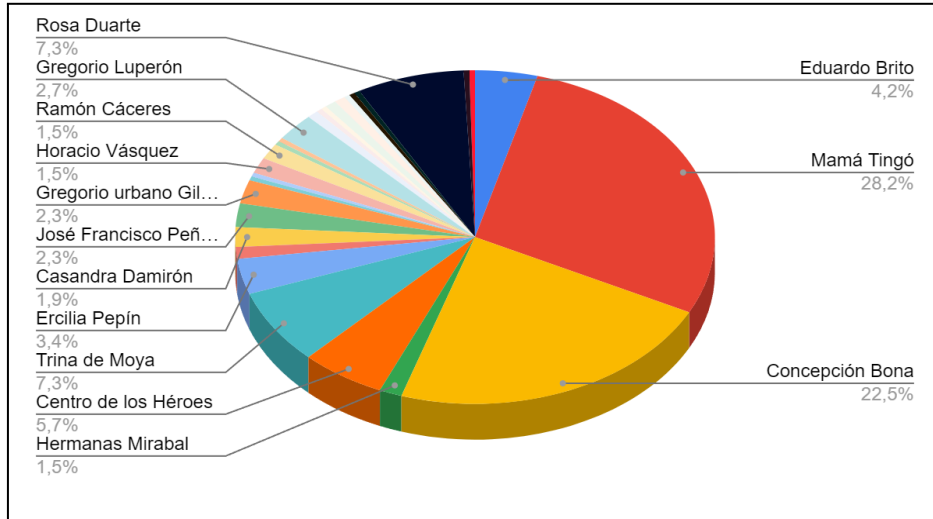
### Ocupación



### Municipio donde reside



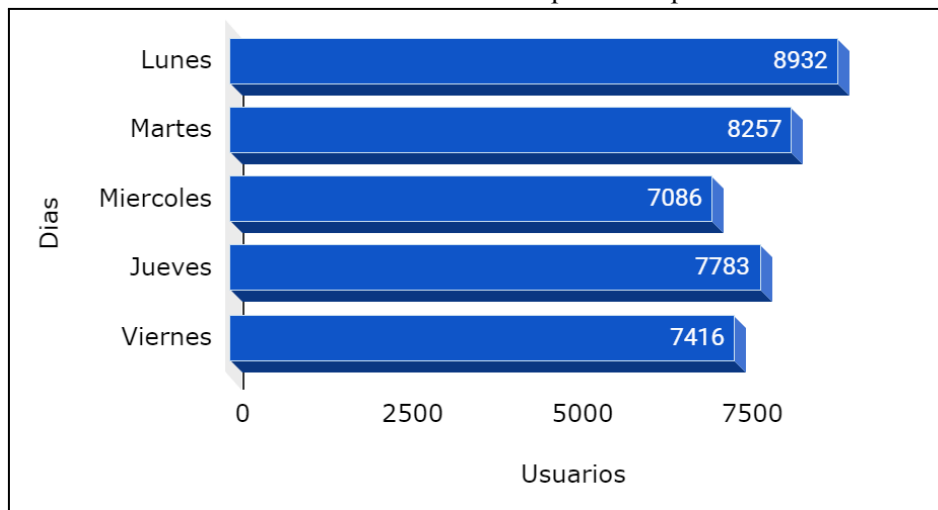
Estación para ingresar al sistema del MSD



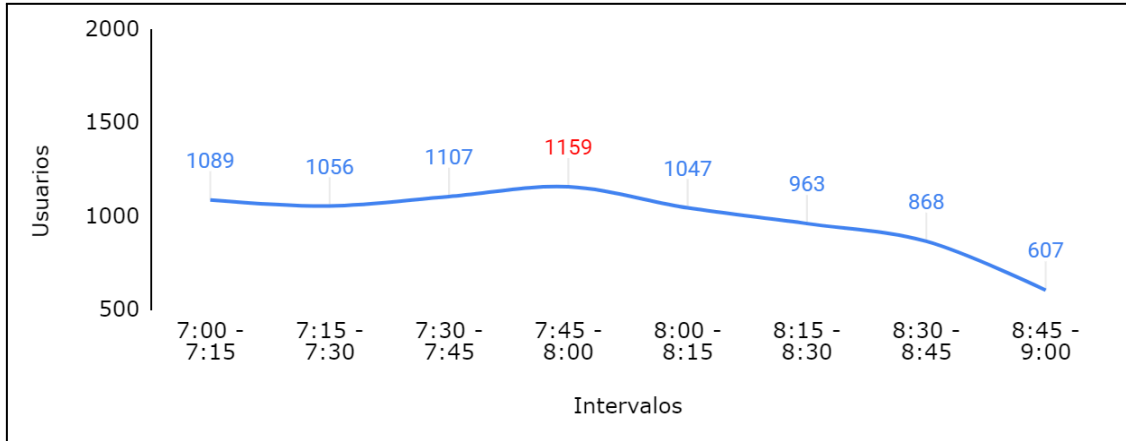
## 2. Entrada de Usuarios.

Durante una semana laboral, la entrada total de usuarios al andén, realizando el transfer de línea 1 hacia línea 2 con dirección Maria Montez fue de 39,474 pasajeros, siendo el lunes el día de mayor demanda y el pico de entrada de estos usuarios de 7:45 a 8:00 am.

Entrada de usuarios al andén promedio por día



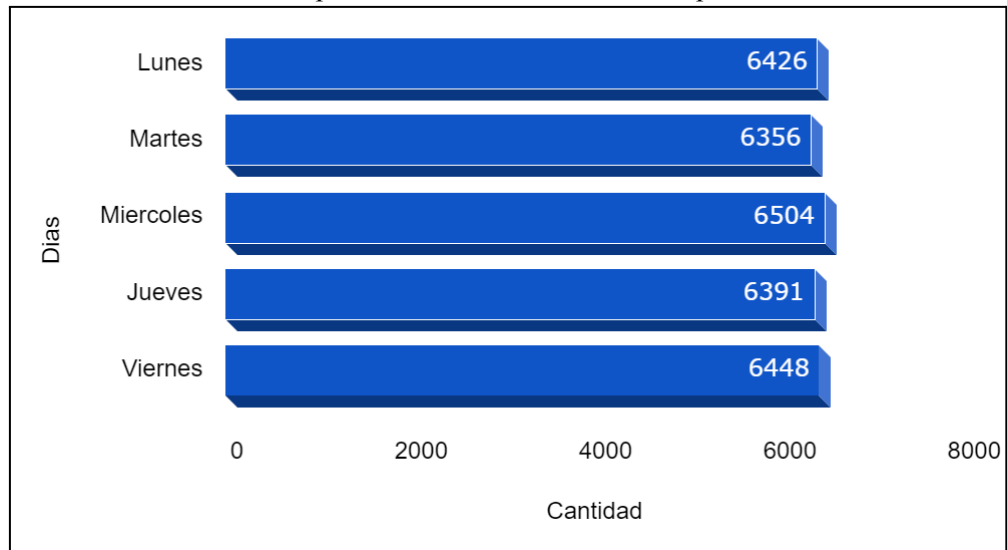
Pico de entrada de usuarios al andén por intervalo



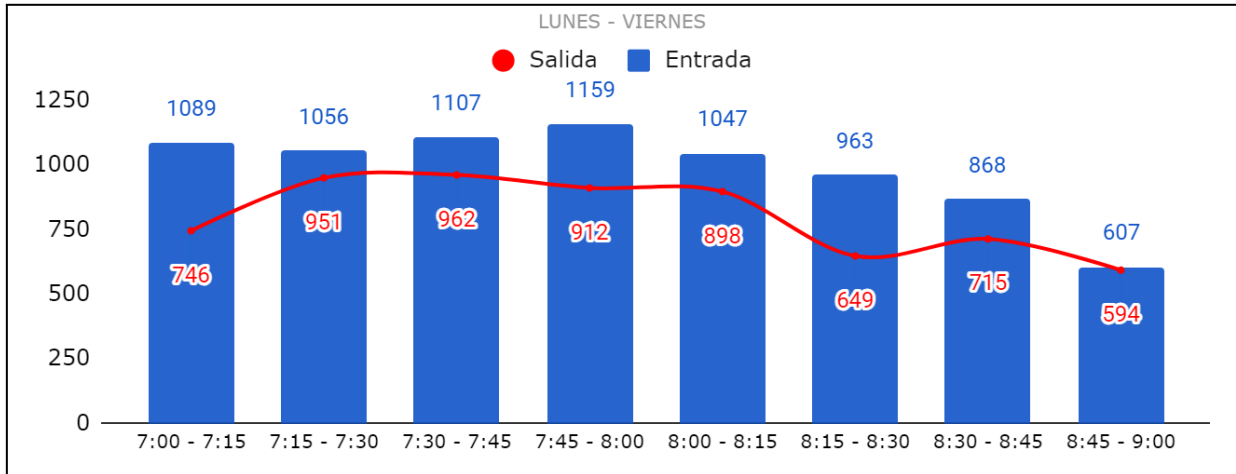
### 3. Salida de Usuarios.

La cantidad total de usuarios que llegaron y desembarcaron en la estación Juan Pablo Duarte, con el fin de realizar el transfer desde línea 1 hacia línea 2 o salir hacia las avenidas Maximo Gomez esq. Kennedy fue de 32,124, promediando entre 6,425 usuarios por día.

Salida promedio de usuarios del andén por día



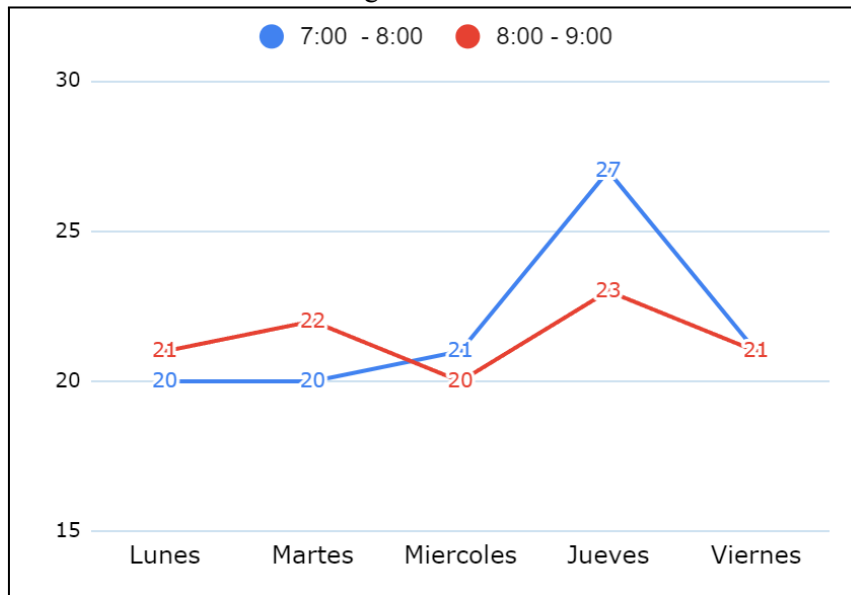
Promedio de entrada y salida de usuarios del andén



#### 4. Llegada y Salida de Tren.

Durante las horas pico matutinas, la frecuencia de llegada de trenes se resume a 22 trenes por hora. Con un intervalo entre cada tren de aproximadamente

Cantidad de llegada de trenes a la estación



#### Visualización: Recorrido de usuario

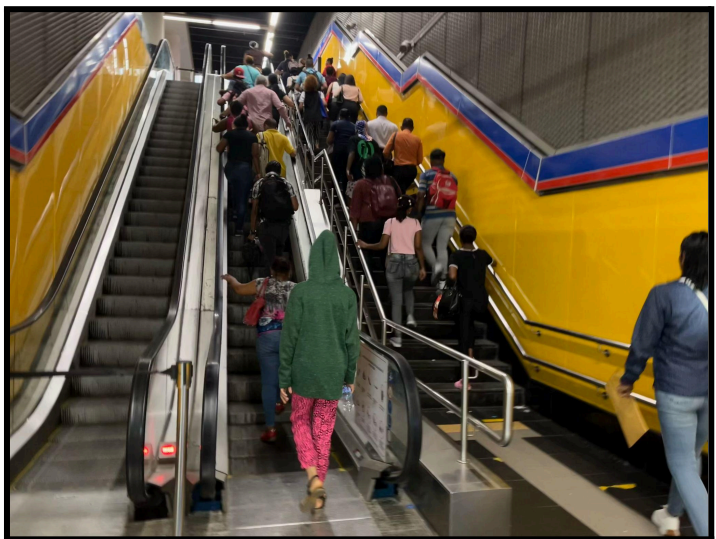
El flujo actual con el operativo de intervención se ve de la siguiente manera, desde el punto del usuario:

1. Usuario recorre el túnel del transfer desde línea 1 hacia línea 2.

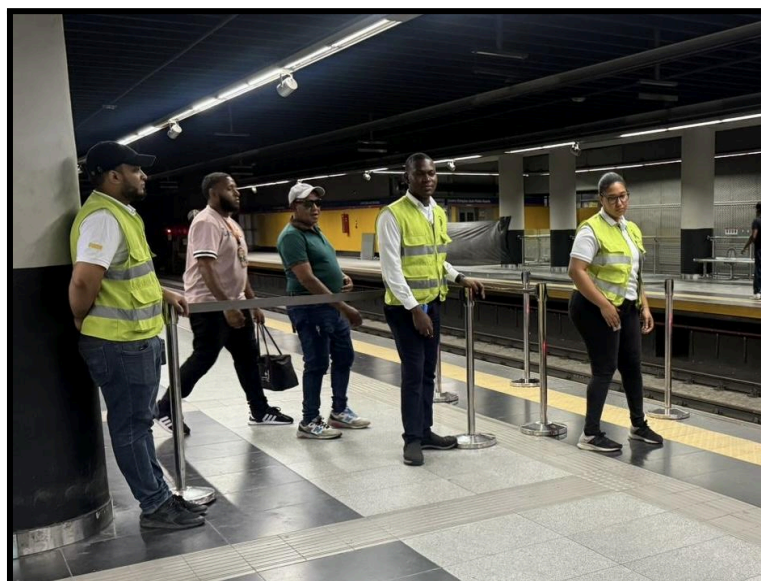


2. Usuario sube las escaleras o utiliza el ascensor para ingresar al andén con dirección hacia la estación María Montez (Km. 9).





3. Usuario pasa el control del operativo, donde se modera la cantidad de pasajeros que puedan entrar al andén, según aplique. El personal del operativo se auxilia de postes separadores (delimitadores) para marcar el espacio de entrada.



4. Usuario se sitúa en cualquier espacio en la longitud del andén para esperar el siguiente tren, el mismo no tiene marcado donde se localizan las puertas de los vagones.



5. Con la llegada del tren, el usuario se acerca a su puerta más cercana y se posiciona hacia un lado en lo que se permite el desembarco de los pasajeros que se quedan en esa estación.



6. Usuario ingresa al tren si el espacio disponible se lo permite, las puertas del tren se cierran y el mismo acelera fuera de la estación hacia la próxima.

## Analisis de situacion actual (Herramientas)

Luego de la recolección de datos cuantitativos (conteo y encuestas), estuvimos implementando distintas herramientas de análisis de datos, con tal de visualizar los puntos de mejora en el procesos de estudio.

### Diagrama de Flujo / Diagrama de Espaguete

En el siguiente diagrama, marcamos el proceso de entrada y salida de usuarios al andén / tren.

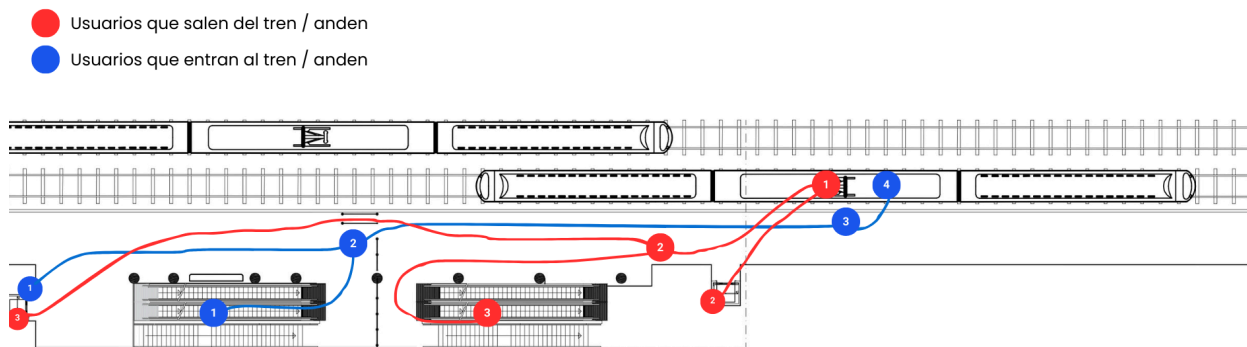


Diagrama de espaguete situación actual

En el mismo, se pueden visualizar distintos puntos de “choque”o interrupciones en el pasillo del andén, entre una dirección y la otra.

### Customer Journey

Llegada al andén					
Etapa	Acciones del usuario	Puntos de Contacto	Emociones y Pensamientos	Problemas / Puntos de Dolor	Oportunidades de Mejora
Llegada al andén	salir del transfer, caminar hasta el andén	Señalización, entradas, seguridad	Expectativa de un viaje rápido y seguro	Entradas congestionadas	Mejorar el flujo de personas en el andén

<b>Espera en el andén</b>					
<b>Etapa</b>	<b>Acciones del usuario</b>	<b>Puntos de Contacto</b>	<b>Emociones y Pensamientos</b>	<b>Problemas / Puntos de Dolor</b>	<b>Oportunidades de Mejora</b>
Esperar en el andén	Esperar la llegada del tren	Equipo de intervención al usuario	Impaciencia, calor por el congestionamiento de personas	Falta de información sobre la llegada del tren, no determina el espacio de la puerta del tren	Mejorar la organización del andén

<b>Abordaje del tren</b>					
<b>Etapa</b>	<b>Acciones del usuario</b>	<b>Puntos de Contacto</b>	<b>Emociones y Pensamientos</b>	<b>Problemas / Puntos de Dolor</b>	<b>Oportunidades de Mejora</b>
Abordaje del tren	Abordar el tren	tren, equipo de intervención al usuario	Preocupación por entrar	Empujones, falta de organización	Mejorar la organización para el abordaje

<b>Desembarque del tren</b>					
<b>Etapa</b>	<b>Acciones del usuario</b>	<b>Puntos de Contacto</b>	<b>Emociones y Pensamientos</b>	<b>Problemas / Puntos de Dolor</b>	<b>Oportunidades de Mejora</b>
Desembarque en el andén	Salir del tren	Tren, usuarios que van a embarcar	Alivio por llegar al destino, inquietud por aglomeración en el andén	Empujones en la salida del tren por demás usuarios, señalizaciones insuficientes	Mejorar / crear espacios suficientes para desembarcar

**Salida del andén**

Etapa	Acciones del usuario	Puntos de Contacto	Emociones y Pensamientos	Problemas / Puntos de Dolor	Oportunidades de Mejora
Salida del andén	Salir del andén	Tren, señalizaciones, equipo de intervención al usuario	No sabe a dónde ir	Señalizaciones insuficientes	Mejorar la señalización

### Teoría de cola

Decidimos realizar un estudio de teoría de cola con el objetivo de mejorar la eficiencia del abordaje y desembarque en el andén de estudio durante las horas pico, para así poder determinar futuras mejoras.

Empezamos tomando los datos de la llegada de pasajeros en el andén lo que nos dio un total de 39,474 usuarios, también, tomamos el tiempo de llegada de los trenes por intervalos de 15 minutos y la duración de las puertas del tren abiertas, lo que representa el desembarque y abordaje de las personas.

La capacidad de los trenes es de 720 personas y cuenta con 9 puertas (cada puerta se usa para entrada y salida).

Datos de entrada de pasajeros al andén					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7:00 - 7:15	1448	1043	902	1151	900
7:15 - 7:30	1099	1046	1083	1058	996
7:30 - 7:45	1172	1227	854	1099	1183
7:45 - 8:00	1174	1310	1141	1223	948
8:00 - 8:15	1207	1057	958	1102	909
8:15 - 8:30	1245	881	830	945	912
8:30 - 8:45	887	942	725	834	950
8:45 - 9:00	700	751	593	371	618
<b>Total:</b>	<b>9932</b>	<b>8257</b>	<b>7086</b>	<b>7783</b>	<b>7416</b>

Datos del servicio		
Hora	Llegada de Trenes	Tiempo de Desembarque y Abordaje
7:00 – 7:15	1 min	33s
	2 min	28s
	2 min	35s
	1.33 min	27s
	1.43 min	29s
	2.27 min	30s
7:15 – 7:30	2.17 min	11s
	1.30 min	12s
	2 min	14s
	1.43 min	16s
	1.6 min	9s
	1.41 min	13s
7:30 – 7:45	1.19 min	12s
	1.46 min	15s
	1.17 min	9s
	1.44 min	12s
	1.41 min	18s
7:45 – 8:00	3.14 min	36s
	5.1 min	34s
	1 min	1 min
	1.21 min	49s
	1.16 min	1 min
8:00 – 8:15	1.09 min	45s
	1.26 min	38s
	1.07 min	56s
	1.09 min	40s
	1 min	1.07 min
	1.02 min	46s
	1.11 min	41s
8:15 – 8:30	1.31 min	30s
	1.24 min	46s
	1.34 min	33s
	1.46 min	30s
	1.18 min	25s
	1.44 min	26s
8:30 – 8:45	1.40 min	23s
	1.50 min	33s
	1.32 min	45s
	5.45 min	43s
8:45 – 9:00	3.18 min	49s
	1.29 min	33s
	1.25 min	38s
	1.25 min	34s
	1.37 min	28s

Datos del servicio		
Hora	Llegada de trenes	Desembarque y abordaje
7:00 – 7:15	3.13 min	30s
	1.34min	22s
	1.34min	23s
	3.53min	33s
	1.42min	40s
7:15 – 7:30	1.07min	52s
	58s	48s
	59s	46s
	1.38min	33s
	2.47min	48s
	2min	35s
7:30 – 7:45	3.49	35s
	2min	42s
	1.10min	1.01 min
	1.25min	39s
7:45 – 8:00	1.22min	40s
	1.15min	35s
	1.35min	30s
	1.26min	32s
8:00 – 8:15	2.37min	29s
	1.30min	26s
	1.58min	34s
	1.14min	28s
	1.15min	35s
	1.35min	30s
8:15 – 8:30	1.26min	32s
	2.37min	29s
	1.30min	26s
	1.58min	34s
	1.14min	28s
8:30 – 8:45	1.25min	25s
	1.52min	26s
	1.36min	1.21 min
	1.02min	49s
8:45 – 9:00	1.31min	21s
	1.38min	23s
	1.53min	22s
	2.47min	31s
	1.26min	21s
	2.34min	20s
8:45 – 9:00	3.15min	50
	1.37min	28s
	1.25min	38s
	1.33min	30s

Para determinar la capacidad del andén tomamos medidas del ancho y largo del andén (tomando en cuenta que para el largo solo se tomó la medida en el espacio donde se acumulan las personas).

El andén tiene un ancho de 3.83 metros y un largo de 78 metros.

Teniendo en cuenta el ancho y largo del andén y las demás informaciones procedemos a realizar los cálculos correspondientes.

Para determinar la capacidad máxima del andén, asumimos que cada persona ocupa aproximadamente 0.5 metros cuadrados, por lo que sería:  $\frac{3.38 \cdot 78}{0.5} = 597$  personas

*(Tasa de llegada ( $\lambda$ ): Número de pasajeros que llegan al andén por minuto)*

Para la hora pico matutina, calculamos la tasa de llegada promedio ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{\text{Número total de llegadas en el intervalo}}{\text{Duración del intervalo en segundos}}$$

$$\lambda = \frac{7894.8}{7200} = 1.097 \text{ pasajero por segundo}$$

Intervalo de 7:00 - 7:15			Intervalo de 8:00 - 8:15		
Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)	Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)
Lunes	1448	96.53	Lunes	1207	80.47
Martes	1043	69.53	Martes	1057	70.47
Miercoles	902	60.13	Miercoles	958	63.87
Jueves	1151	76.73	Jueves	1102	73.47
Viernes	900	60.00	Viernes	909	60.60

Intervalo de 7:15 - 7:30			Intervalo de 8:15 - 8:30		
Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)	Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)
Lunes	1099	73.27	Lunes	1245	83.00
Martes	1046	69.73	Martes	881	58.73
Miercoles	1083	72.20	Miercoles	830	55.33
Jueves	1058	70.53	Jueves	945	63.00
Viernes	996	66.40	Viernes	912	60.80



Intervalo de 7:30 - 7:45			Intervalo de 8:30 - 8:45		
Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)	Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)
Lunes	1172	78.13	Lunes	887	59.13
Martes	1227	81.80	Martes	942	62.80
Miercoles	854	56.93	Miercoles	725	48.33
Jueves	1099	73.27	Jueves	834	55.60
Viernes	1183	78.87	Viernes	950	63.33

Intervalo de 7:45 - 8:00			Intervalo de 8:45 - 9:00		
Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)	Día	Llegadas	$\lambda$ (pasajeros por minuto)
Lunes	1174	78.27	Lunes	700	46.67
Martes	1310	87.33	Martes	751	50.07
Miercoles	1141	76.07	Miercoles	593	39.53
Jueves	1223	81.53	Jueves	371	24.73
Viernes	948	63.20	Viernes	618	41.20

Ahora vamos a calcular la tasa de servicio promedio ( $\mu$ ), (La tasa de servicio promedio se define como el número de servicios completados por unidad de tiempo. En otras palabras, es la inversa del tiempo promedio de servicio) considerando los tiempos de llegada del tren. Para ello vamos a sumar las frecuencias de llegadas en segundos:

[60, 120, 120, 93, 103, 147, 137, 90, 120, 103, 66, 101, 79, 106, 77, 104, 101, 194, 301, 60, 81, 76, 69, 86, 67, 69, 50, 62, 71, 91, 84, 94, 116, 78, 104, 100, 110, 92, 345, 198, 89, 85, 86, 97]

$$\text{Tiempo promedio} = \frac{\text{Suma}}{\text{Número de tiempos}} = \frac{4682}{45} = 104.04 \text{ segundos}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{Tiempo promedio}} = \frac{1}{104.04} = 0.0096 \text{ servicios por segundo}$$

Ya tenemos la tasa de llegada promedio  $\lambda$ : 1.097 pasajeros por segundo y la tasa de servicio promedio  $\mu$ : 0.0096 servicios por segundo.

### Cálculo de Parámetros del Sistema de Colas

- Utilización del sistema:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1.097}{0.0096} = 114.27\% = 1.14$$

Esto indica que el servidor está intentando atender a más clientes de los que puede manejar en promedio. Con una tasa de utilización mayor que 1, el sistema está sobrecargado, lo que lleva a una acumulación de clientes en espera y a tiempos de espera indefinidamente largos.

- La probabilidad de que el sistema esté vacío ( $P_0$ ):

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - \frac{1.097}{0.0096} = -0.14$$

Aquí se puede observar que nos da como resultado un valor negativo, lo cual no tiene sentido en un sistema de colas. Esto indica que el sistema **está en un estado de saturación**, donde la tasa de llegada ( $\lambda$ ) es mucho mayor que la tasa de servicio ( $\mu$ ), sugiriendo que el sistema no puede manejar el flujo de pasajeros de manera eficiente.

- Longitud promedio de la cola ( $L_q$ )

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{1.097^2}{0.0096(0.0096 - 1.097)} = \frac{1.20}{0.0096 \cdot (-1.0874)} = \frac{1.20}{-0.01044} = -114.5$$

Dado que el resultado es negativo, esto confirma que la tasa de llegada ( $\lambda$ ) es mayor que la tasa de servicio ( $\mu$ ), lo que indica que el sistema es inestable y la cola crecerá indefinidamente.

- Tiempo promedio en la cola ( $W_q$ )

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{1.097}{0.0096(0.0096 - 1.097)} = \frac{1.097}{0.0096 \cdot (-1.0874)} = \frac{1.097}{-0.01044} = -105.1 \text{ segundos}$$

- Número promedio de pasajeros en el sistema ( $L$ )

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{1.097}{0.0096 - 1.097} = \frac{1.097}{-1.0874} = -1.009$$

- Tiempo promedio en el sistema (W)

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{0.0096 - 1.097} = \frac{1}{-1.0874} = -0.92 \text{ segundos}$$

Los valores negativos obtenidos en los cálculos sugieren que no se respeta el orden de espera y se permite que algunas personas se adelanten en la prioridad de espera, lo que indica que el sistema no puede manejar la cantidad de pasajeros que llegan. Esto sugiere que el sistema de colas está sobrecargado y requiere una mejora significativa en la tasa de servicio ( $\mu$ ) o una reducción en la tasa de llegada ( $\lambda$ ) para funcionar de manera efectiva.

### **Cálculo de Puntualidad de Llegada de Trenes (Eficiencia en la Frecuencia)**

La puntualidad para las llegadas del metro a la estación Juan Pablo Duarte es el cumplimiento del tiempo de frecuencia inicialmente establecido (1:30 minutos ó 90 segundos) según la rapidez del tren. Con este dato, podemos ver qué desviación tienen los trenes en frecuencias e intervalos al llegar al andén de destino.

Las frecuencias de llegadas de los trenes a la estación de estudio son las siguientes:

<b>Intervalos de llegada de trenes (segundos)</b>									
<b>Intervalos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>Promedio(seg)</b>	<b>Minutos</b>
7:00 -7:15	60	120	120	93	103	147	N/A	107	1:47
7:15-7:30	137	90	120	103	66	101	N/A	103	1:43
7:30-7:45	79	106	77	104	101	N/A	N/A	93	1:33
7:45-8:00	194	301	60	81	76	N/A	N/A	142	2:22
8:00 - 8:15	69	86	67	69	50	62	71	68	1:08
8:15 - 8:30	91	84	94	116	78	104	N/A	95	1:35
8:30 - 8:45	100	110	92	345	N/A	N/A	N/A	162	2:42
8:45 - 9:00	198	89	85	86	97	N/A	N/A	111	1:51

Considerando que:

$$\% \text{ Puntualidad} = \frac{\text{Frecuencia de trenes estándar}}{\text{Frecuencia real}} \times 100$$

Obtenemos que:

Puntualidad por intervalo		
Intervalos	Fórmula	% de Puntualidad
7:00 -7:15	$\frac{90 \text{ seg}}{107 \text{ seg}} \times 100$	84.1%
7:15-7:30	$\frac{90 \text{ seg}}{103 \text{ seg}} \times 100$	87.4 %
7:30-7:45	$\frac{90 \text{ seg}}{93 \text{ seg}} \times 100$	96.8%
7:45-8:00	$\frac{90 \text{ seg}}{142 \text{ seg}} \times 100$	63.4%
8:00 - 8:15	$\frac{90 \text{ seg}}{68 \text{ seg}} \times 100$	132.4%
8:15 - 8:30	$\frac{90 \text{ seg}}{95 \text{ seg}} \times 100$	94.7%
8:30 - 8:45	$\frac{90 \text{ seg}}{162 \text{ seg}} \times 100$	55.6%
8:45 - 9:00	$\frac{90 \text{ seg}}{111 \text{ seg}} \times 100$	81.1%

En general, en la hora pico de la mañana (7:00 -9:00 am) la puntualidad de frecuencia de llegada es:

$$\% \text{ Puntualidad general} = \frac{90 \text{ segundos}}{106 \text{ segundos}} \times 100 = 84.9\%$$

### Net Promoter Score

Para determinar nuestro NPS, empezamos definiendo nuestra pregunta más relevante de la encuesta ya realizada:

- Experiencia en el Metro Durante las Horas Pico

Las respuestas fueron dadas en un intervalo del 1 al 5, donde:

1 (Muy insatisfecho)	2 (Insatisfecho)	3 (Neutral)	4 (Satisfecho)	5 (Muy satisfecho)
-------------------------	---------------------	----------------	-------------------	-----------------------

Luego, decidimos categorizar las respuestas en:

- Promotores: usuarios que respondieron con una puntuación de 9 o 10.

En una escala de 1 a 5, esto se traduce en calificaciones de 4 y 5.

- Pasivos: usuarios que respondieron con una puntuación de 7 u 8.

En una escala de 1 a 5, esto se traduce en calificaciones de 3.

- Detractores: usuarios que respondieron con una puntuación de 0 a 6.

En una escala de 1 a 5, esto se traduce en calificaciones de 1 y 2.

Distribución de respuestas según los usuarios:

- Calificación 1: 18.3%
- Calificación 2: 20.6%
- Calificación 3: 41.6%
- Calificación 4: 11.5%
- Calificación 5: 8%

Para proceder al cálculo del NPS primero hay que calcular el porcentaje de promotores y detractores:

- Porcentaje de Promotores: 11.5% (calificación 4) + 8% (calificación 5) = **19.5%**
- Porcentaje de Detractores: 18.3% (calificación 1) + 20.6% (calificación 2) = **38.9%**

$NPS = (\text{Porcentaje de Promotores}) - (\text{Porcentaje de Detractores}) = 19.5\% - 38.9\%$

$NPS = -19.4\%$

El NPS calculado es **-19.4%**, lo que indica una mayor cantidad de detractores que promotores en la experiencia del metro durante las horas pico. Este valor sugiere que **hay áreas significativas de mejora necesarias** para aumentar la satisfacción y lealtad de los usuarios.

### Diagrama de Causa y Efecto

#### AGLOMERACIÓN DE USUARIOS EN ANDÉN CON DIRECCIÓN ESTE - OESTE



Diagrama de pescado (causa-efecto)

### Situación Propuesta

En respuesta a los desafíos identificados en la operación del Metro de Santo Domingo en la estación JPD línea 2, dirección este-oeste, presentamos una serie de propuestas destinadas a optimizar el flujo de pasajeros, aumentar la capacidad de transporte y reducir la confusión entre los usuarios. Las oportunidades destacadas se dividen en las siguientes tres finalidades, que buscan reducir la aglomeración de usuarios en el andén:

- Método: abarca el diseño del movimiento de los usuarios en el andén y como este aporta en reducir la aglomeración.
- Capacidad: abarca el análisis de la creciente demanda de servicios que supera la capacidad actual de los trenes y el planteamiento de técnicas para remediarlo.
- Instrucción: abarca el desarrollo de técnicas para disminuir la desorientación de los pasajeros en las áreas de transferencia entre líneas durante el operativo.

**1. Problema de Método: Aglomeración y desorganización de usuarios con el flujo de movimiento actual en el andén.**

Debido a que en los andenes no se encuentran marcadas las posiciones donde coinciden las puertas de aquellos vagones que llegan a la estación, el comportamiento de los pasajeros puede ser desordenado. Una vez el usuario A pasa por el control de acceso y recorre la plataforma del andén, si cuando llega el tren la posición que había escogido no le permitió asegurar un espacio en el tren, pues aunque haya entrado antes que otro usuario B, este usuario B puede que si logre entrar al vagón, teniendo el usuario A que esperar al siguiente tren.

Asimismo, el comportamiento de los usuarios del andén cuando llega el tren y se acercan a la puerta se puede visualizar en forma de U, en donde no se le permite un espacio adecuado a los usuarios que van a salir de los vagones puesto que , y cuando la desesperación crece (el pasajero quiere asegurarse de entrar en el tren, ver Customer Journey) pueden bloquear el paso y aumentar el caos.

Teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- El promedio de salida de usuarios por cada tren que llega a la estación es de 151 pasajeros, siendo la mayor cantidad registrada de salidas de 255 pasajeros y la menor de 101. Ver tabla:

### Salida de usuarios promedio por cada tren (en los intervalos)

Intervalos	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7:00 - 7:15	149	167	167	101	154
7:15 - 7:30	179	175	180	162	156
7:30 - 7:45	172	178	193	146	255
7:45 - 8:00	169	199	179	115	151
8:00 - 8:15	149	128	151	128	180
8:15 - 8:30	135	138	147	102	112
8:30 - 8:45	131	127	116	155	113
8:45 - 9:00	182	108	125	127	142

- El tren tiene 4 puertas de acceso por vagón, 12 en su totalidad. Para cada puerta, los usuarios se colocan hacia ambos lados y forman un pasillo de salida (estrecho) y luego entran todos al mismo tiempo. Ver imagen:



- Cuando la cantidad de usuarios en espera para abordar el tren es mayor al espacio disponible, se crea la situación de que se queda una cantidad de usuarios fuera del tren y

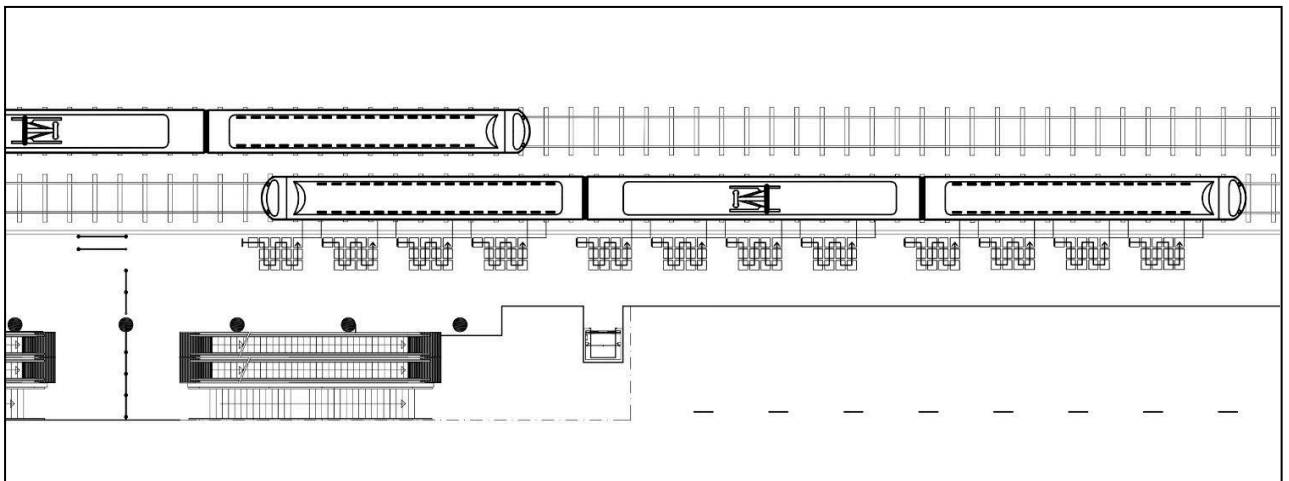


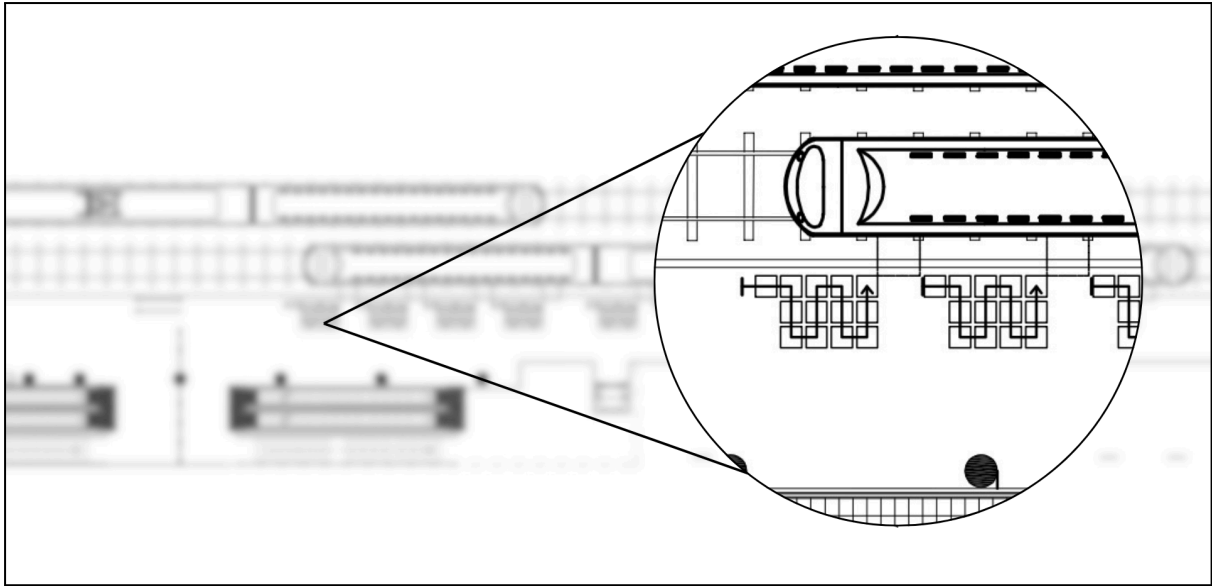
tendrán que esperar al próximo tren. En este caso, se sigue permitiendo pasar usuarios al andén sin tener un control de la cantidad existente ni de cuántos espacios disponibles habrá en el próximo tren, por lo que se generan aglomeraciones desordenadas de pasajeros en la plataforma.

- Debido a que los pasajeros se encuentran desesperados por abordar el tren que los llevara a su lugar de destino (el 54% se dirige hacia su trabajo, ver Anexo 1), al momento de abordar el tren la aglomeración en la puerta puede causar que no cierre correctamente y deba abrirse de nuevo (así como los ascensores). Esta acción puede retrasar la operación del tren en la salida de la estación y afectar la frecuencia de llegada de los siguientes trenes.

Con el fin de guiar a los pasajeros sobre dónde ubicarse mientras esperan el tren y por dónde deben entrar y salir, evitando obstrucciones y choques entre ellos, pretendemos implementar el siguiente Modelo de Reordenamiento, organizando por matrices a un solo lado de cada puerta de embarque de los vagones para las entradas lo que designa el espacio de salida automáticamente.

En el siguiente plano, se ilustra la vista superior de cómo diseñamos el modelo propuesto:





Se pretende delimitar los espacios de la matriz con stickers adhesivos colocados en la superficie de la plataforma (Ver **Anexo 3**), con el fin de que los pasajeros puedan ubicarse encima de estos durante su espera del siguiente tren. Los pasajeros que esperan el tren se ubicaran en el lateral izquierdo de las puertas, siguiendo los stickers, y para las salidas se designa el área central frente a las puertas el cual estará libre para que los pasajeros puedan salir del tren sin obstrucciones.

## **2. Problema de Capacidad: La demanda del servicio es mayor que la capacidad de los vagones (capacidad < demanda)**

La aglomeración de los usuarios se debe en parte a que la demanda esta por encima de la capacidad actual para el servicio en la hora pico, además, la interrupción de la frecuencia de los trenes aumenta esta aglomeración, pues mientras más espacio haya entre la llegada de un tren y otro, más se acumulan los usuarios que están realizando el transfer hacia la Línea 2.

Asimismo, teniendo en cuenta que la demanda de usuarios del Metro de Santo Domingo (MSD) crece anualmente en un 6%, es necesario considerar alternativas a largo plazo para abordar esta creciente demanda. Una de las soluciones más viables y efectivas es el acoplamiento de trenes,

una práctica que permite duplicar la capacidad de transporte y, por lo tanto, atender a un mayor número de usuarios en cada servicio.

El acoplamiento de trenes implica unir dos o más unidades de tren, permitiendo que operen como un único tren durante ciertos tramos del recorrido. Esta técnica permitirá atender a 1,440 pasajeros por tren (6 vagones de 240 pasajeros) pudiendo reducir las filas que se generan para entrar al andén. Asimismo, esta técnica no solo maximiza la eficiencia del sistema, sino que también reduce la frecuencia de trenes necesarios para manejar el mismo número de pasajeros, optimizando así los recursos y mejorando la experiencia de los usuarios.

Puede visualizar el **Anexo 2**, el cual incluye un ejemplo de su aplicación exitosa en otro sistema ferroviario.

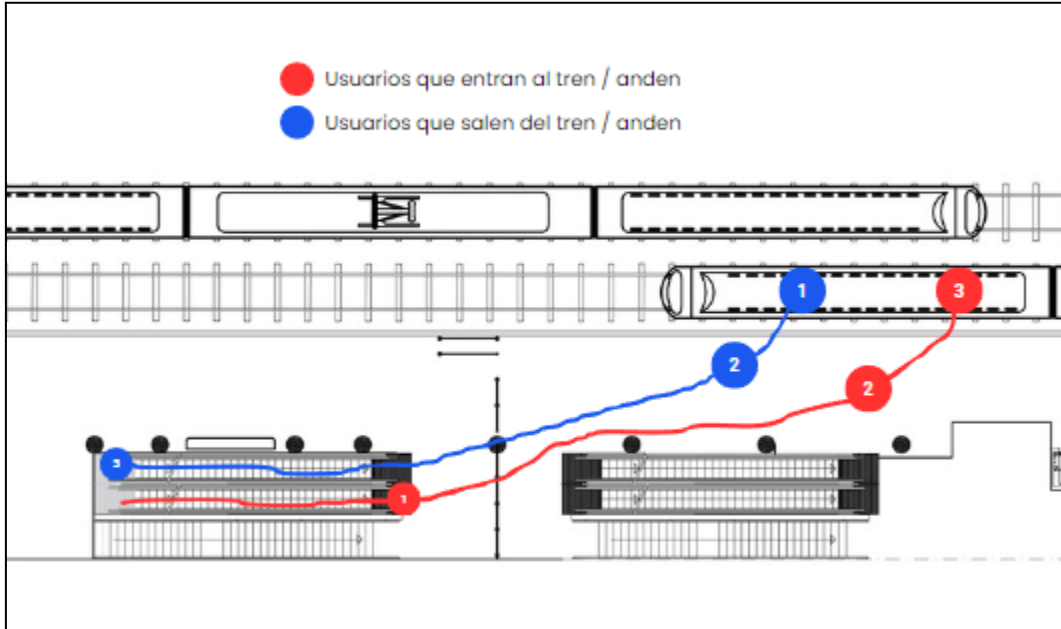
### **3. Problema de Instrucción: Usuarios extraviados e interrupción del flujo por confusión en la vía hacia el transfer (Línea 1)**

Uno de los factores que pudimos observar fue la cantidad de usuarios que no estaban conscientes del operativo matutino en la estación del transfer, y los cambios que presenta el flujo estándar de movimiento entre Línea 2 y Línea 1. Estos mismo usuarios que están confundidos, interrumpen el flujo de los demás al pararse y devolverse, con tal de hacer la pregunta al personal de intervención sobre a donde tienen que ir si quieren hacer el transfer hacia la Línea 1, debido a que no existen señalizaciones.

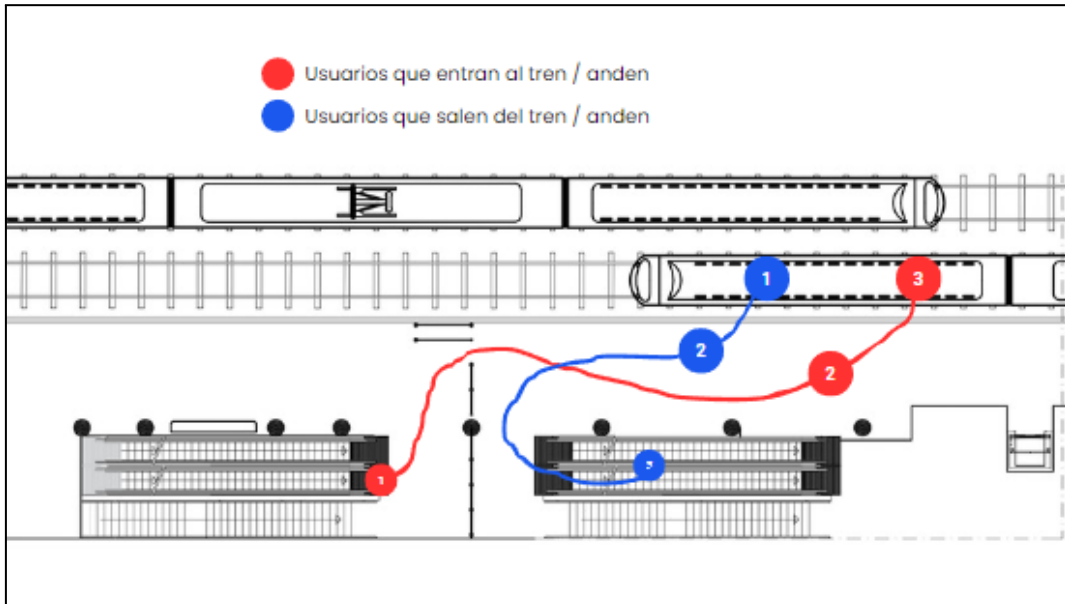
Asimismo, aquellas personas que necesitan atención preferencial (envejecientes, embarazadas, discapacitadas y niños) se les permite la excepción de este operativo, facilitándoles el paso hacia los ascensores que inicialmente están restringidos para los pasajeros que salen del tren. A veces estos pasajeros no saben de esta ventaja y son sometidos a un largo camino sin necesidad, por desconocimiento.

Durante el operativo matutino, el flujo de los usuarios que realizan el transfer de línea 2 a línea 1, cambia de la siguiente manera:

Situación estándar



Situación en Operativo



Por lo que puede generar confusión en los usuarios que están utilizando el transfer por primera vez en la hora pico matutina.

Debido a esto, proponemos implementar diversas herramientas que ayuden a crear consciencia del operativo en proceso y disminuya la confusión en aquellos usuarios que no saben sobre el cambio de flujo. Asimismo, dar a entender a los usuarios el esquema total del operativo y lo necesario que es, puesto que agregar distancia en el camino genera molestia e inconformidades.

- a. Anuncios informativos en los trenes: con el objetivo de informar a los usuarios sobre el flujo del operativo, desarrollar y colocar anuncios visuales informativos en las pantallas de los trenes (ver Anexo 4) el cual indique hacia donde dirigirse una vez salga del tren, que tener en cuenta y el porqué del operativo.
  - Horario: Los anuncios se colocarán en los trenes durante las horas pico de la mañana, de 6:00 am a 9:00 am.
  - Contenido específico: Instrucciones claras y concisas sobre el procedimiento adecuado para desembarcar y dirigirse al área de *transfer* Línea 1.
  - Impacto: Reducir la confusión y el desconocimiento de los usuarios, demostrandoles el cómo y porqué del operativo.
  
- b. Anuncio movibles a lo largo del flujo hacia Línea 1: con el objetivo de señalar a los usuarios sobre el nuevo camino hacia el transfer (Línea 1), colocar postes con indicaciones direccionales (ver **Anexo 5**).
  - Ubicaciones: En la columna situada frente a la escalera principal del andén, en el pasillo del Nivel 1 por donde cruzan para bajar y en la planada de las escaleras al bajar.
  - Contenido: Un mensaje direccional que indique claramente que se debe subir por la escalera para continuar al área de transferencia.

- Impacto: Reducir las paradas innecesarias de los usuarios que desembarcan y mejorar el flujo de entrada al andén.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

Luego de realizar el levantamiento de información y datos, el análisis de la situación actual con sus causas y sus efectos utilizando herramientas exploratorias, la investigación de técnicas y métodos aplicados en situaciones similares con sus resultados favorables, y por último, el desarrollo y diseño de ideas y propuestas para remediar los desafíos observados, presentamos las siguientes conclusiones:

- Esta investigación puso de manifiesto el impacto del sistema ferroviario público en la urbanización del país. El Metro de Santo Domingo se destaca como el servicio de transporte con mayor provecho para la ciudadanía que reside en las afueras de la ciudad, y busca movilizarse hacia el centro de la misma. Su bajo costo, rapidez, seguridad, ubicación y confiabilidad ha generado una movilización aproximada mensual de 9 millones de usuarios. Esto implica que la directiva del OPRET debe saber remediar el alto flujo de pasajeros en los espacios físicos y las situaciones de aglomeraciones que se puedan dar.
- De acuerdo a los análisis de la situación actual del andén en la estación Juan Pablo Duarte Línea 2, dirección este-oeste, se debe tener muy en cuenta los siguientes factores: el método en cómo van a ordenar y manejar el alto volumen de los pasajeros, teniendo en cuenta su seguridad, satisfacción y comodidad; ajustar la capacidad de servicio con la demanda real actual y provista del servicio del transfer en la estación Juan Pablo Duarte e implementar siempre apoyo visual que permitan orientar al usuario sobre direcciones e informaciones relevantes

- El sistema de colas analizado está en un estado de saturación, donde la tasa de llegada de los pasajeros supera la capacidad del sistema para atenderlos. Esto se refleja en los valores negativos obtenidos en los cálculos de Teoría de Cola, que también indica que no se está respetando el orden de espera y se está permitiendo que algunos pasajeros se adelanten en la fila. Para mejorar el funcionamiento del sistema, es necesario aumentar la tasa de servicio o reducir la tasa de llegada de pasajeros, ya que, en su estado actual, el sistema no es capaz de manejar eficientemente el flujo de pasajeros.
- La encuesta puso en evidencia que un 66% de los usuarios que usan el metro (en base a la muestra tomada y la población de estudio) se dirigen hacia sus trabajos, esto puede generar un sentido de urgencia en los pasajeros y la aglomeración y confusiones puede generar incomodidades encima del cansancio del empleado común. Esta inconformidad se manifiesta en el 62% de usuarios que colocan un puntaje de 2 y 3 (en la escala del 1 al 5) en su experiencia en las horas pico de la mañana, demostrando una baja satisfacción.
- La tasa de utilización del servicio del andén implica que la tasa de llegada de clientes es mayor que la tasa de servicio de los trenes, puesto que con una tasa de utilización mayor que 1, el sistema está sobrecargado, lo que lleva a una acumulación de clientes en espera y a tiempos de espera indefinidamente largos. En otras palabras, la cola de espera crecerá sin límite, ya que la demanda excede la capacidad del servidor y que el sistema no es estable y no alcanzará un estado de equilibrio. Esto significa que el número de clientes en el sistema (incluyendo los que están siendo atendidos y los que están en la cola) aumentará continuamente.
- Se pudo observar que la frecuencia de la llegada de los trenes tiene una puntualidad de un 85%, el cual manifestamos que uno de los factores principales por las cuales se presenta este delay, es por los retrasos que ocurren cuando las puertas no cierran correctamente y

tienen que volver a abrir, esto pudiera estar agregando entre 12-18 segundos más de tiempo de espera antes de que el tren pueda acelerar fuera de la estación, afectando la llegada de los otros lo genera un impacto en cadena.

- La implementación de un modelo que organice a los pasajeros a la espera de un tren es una técnica que se implementa en casi todas las industrias de servicios que manejan un gran flujo de clientes, como bancos, supermercados, tiendas por departamento, conciertos, etc. Este proceso de *transfer* de una línea a otra debe manejarse como estos servicios antes mencionado, pues se debe velar por mantener el orden y la comodidad y satisfacción del cliente en cualquier industria. El Modelo de Reordenamiento busca suplir a los trenes ya con la capacidad estudiada y registrada por los levantamientos realizados, sin rebosar el sistema (creando posibles retrasos por la situación del cierre de las puertas antes mencionado) y teniendo en cuenta la comodidad y seguridad de los usuarios.



## Referencias

*Características de un sistema de colas.* (s. f.).

<https://www.um.es/or/ampliacion/node3.html#:~:text=Se%20entiende%20por%20Teor%C3%ADa%20de,Erlang%20por%20el%20a%C3%B1o%201909>.

De la Rosa, A. (2024, 24 junio). Metro de Santo Domingo reducirá tiempos de transbordo con nuevas conexiones y mejoras operativas - Diario Libre. *Diario Libre*.

<https://www.diariolibre.com/actualidad/ciudad/2024/06/23/el-metro-de-santo-domingo-amplia-zona-de-transfer/2763795#:~:text=La%20concurancia%20de%20hasta%2070%2C000,este%20sistema%20de%20transporte%20colectivo>.

*ICE 2: el acoplable.* (s. f.). [https://int.bahn.de/es/trenes/trenes-de-larga-distancia/ice\\_2](https://int.bahn.de/es/trenes/trenes-de-larga-distancia/ice_2)

*INFORME TRIMESTRAL DE EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA 2024.* (2024, 4 abril). Opret.

<https://opret.gob.do/Documentos/Estad%c3%adsticas%20Institucionales/Informe%20Trimestral%20de%20Demanda%20%20Enero%20-%20Marzo%202024.pdf>

Li, Z., Yin, J., Chai, S., Tang, T., & Yang, L. (2023). Optimization of system resilience in urban rail systems: Train rescheduling considering congestions of stations. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 109657. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109657>

Listin Diario. (2008, 29 diciembre). El hito del Metro. *listindiario.com*.

<https://listindiario.com/puntos-de-vista/2008/12/29/86029/el-hito-del-metro.html>

*Net Promoter Score (NPS): The ultimate guide - Qualtrics.* (2024, 16 julio). Qualtrics.

<https://www.qualtrics.com/experience-management/customer/net-promoter-score/#:~:text=An%20NPS%20score%20measures%20customer,gold%20standard%20customer%20experience%20metric>.

NPS: Qué es y cómo calcular el Net Promoter Score (fórmula y ejemplos). (2023, 20 enero).

*Hubspot.* <https://blog.hubspot.es/service/como-calcular-nps#como-uno>

*Oficina para el Reordenamiento del Transporte - ¿Quiénes somos?* (s. f.-a).

<https://www.opret.gob.do/SobreNosotros/QuienesSomos>

*Queuing Theory: On-Line lesson.* (s. f.).

<https://jan.ucc.nau.edu/~pinto/ba501/class/pom2/queuing2-7/QueuingLesson2-7-1.html#Single>

Rae, R. A. E.-. (s. f.). sistema ferroviario. *Diccionario Panhispánico del Español Jurídico - Real Academia Española.*

<https://dpej.rae.es/lema/sistema-ferroviario#:~:text=Conjunto%20formado%20por%20la%20infraestructura.que%20circula%20sobre%20la%20misma.>

*Renfe.*(s.f.).

<https://blog.renfe.com/asi-funciona-el-sistema-scharfenberg-para-acoplar-trenes/%20https://valenciaplaza.com/inteligencia-artificial-evitar-aglomeraciones-metro%20https://es.dreamstime.com/acoplador-de-scharfenberg-dos-trenes-acoplados-clase-en-hamburg-hauptbahnhof-hamburguesa-alemania-julio-image237842433>

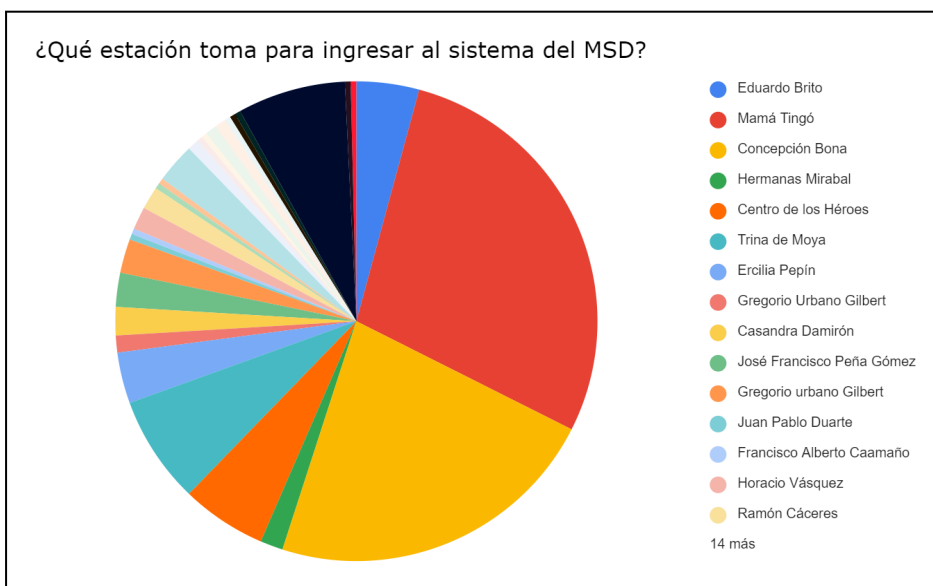
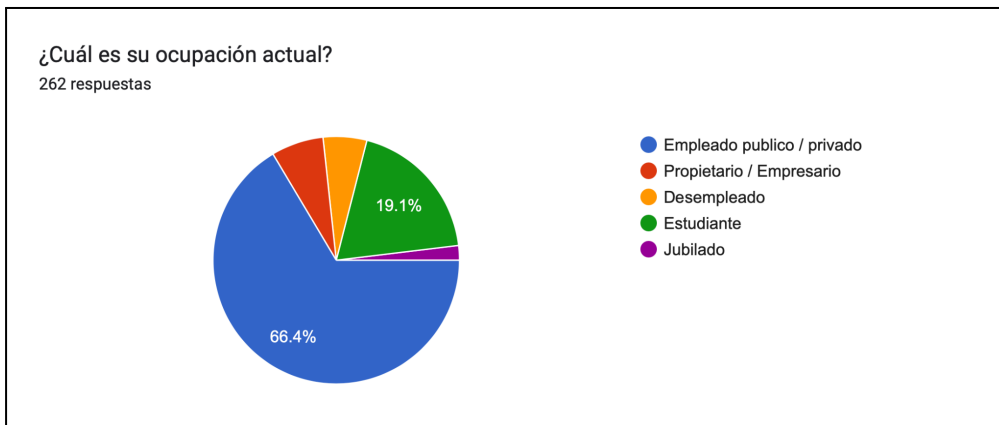
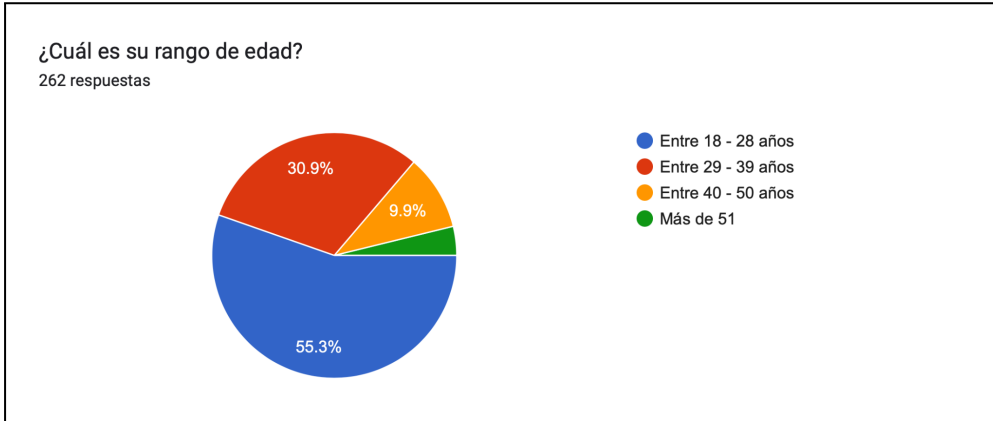
Wang, P., Ge, J., Xiao, X., Ye, Y., & Lu, M. (2024). Transport capacity analysis for sharing-corridor metro lines under virtual coupling. *Computers & Industrial Engineering*, 192, 110217. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110217>

Wikipedia. (2023, 18 noviembre). *Optimización (matemática)*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Optimizaci%C3%B3n\\_\(matem%C3%A1tica\)#:~:text=Optimizaci%C3%B3n%20hace%20referencia%20a%20la,la%20menor%20cantidad%20de%20recursos.](https://es.wikipedia.org/wiki/Optimizaci%C3%B3n_(matem%C3%A1tica)#:~:text=Optimizaci%C3%B3n%20hace%20referencia%20a%20la,la%20menor%20cantidad%20de%20recursos.)

Wikipedia. (2024, 7 marzo). *Metro de Santo Domingo*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Metro\\_de\\_Santo\\_Domingo](https://es.wikipedia.org/wiki/Metro_de_Santo_Domingo)

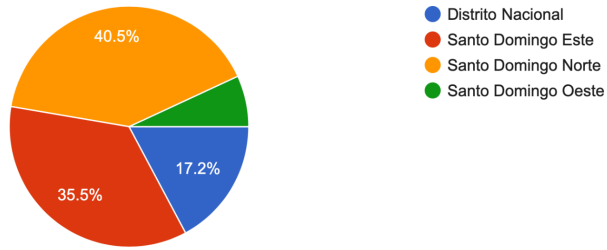
# Anexos

## Anexo 1



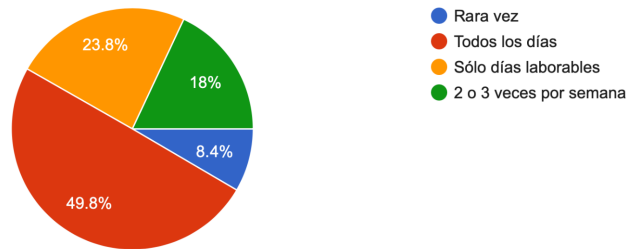
¿En qué Municipio reside?

262 respuestas



¿Con qué frecuencia utiliza el Metro de Santo Domingo?

261 respuestas



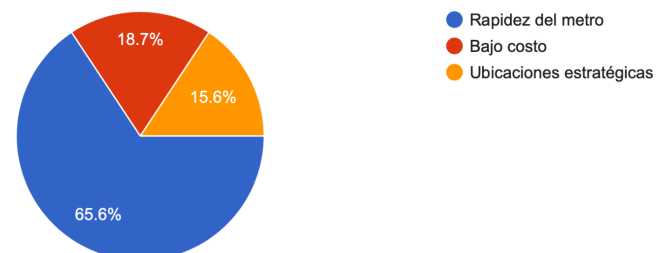
Cual es su objetivo principal por el cual utiliza el metro de Santo Domingo

261 respuestas



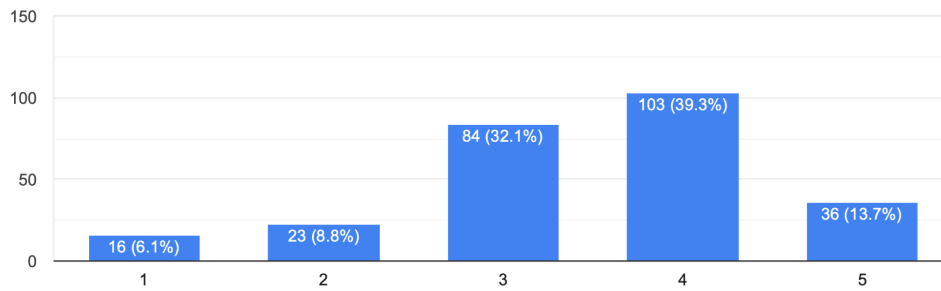
¿Qué factores considera al decidir utilizar el metro en lugar de otros medios de transporte?

262 respuestas



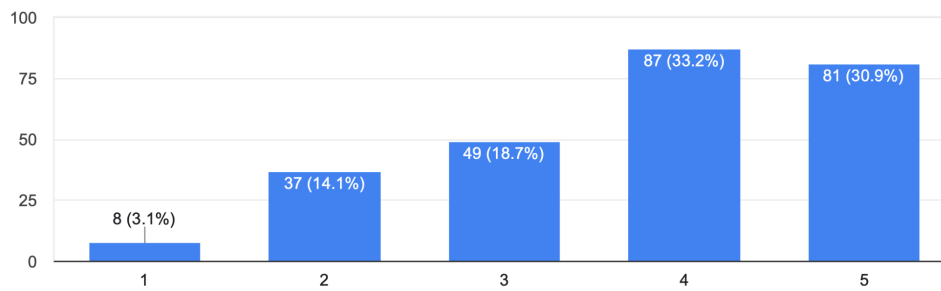
Del 1 al 5, ¿cómo considera la puntualidad y frecuencia de los trenes? (Siendo 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta)

262 respuestas



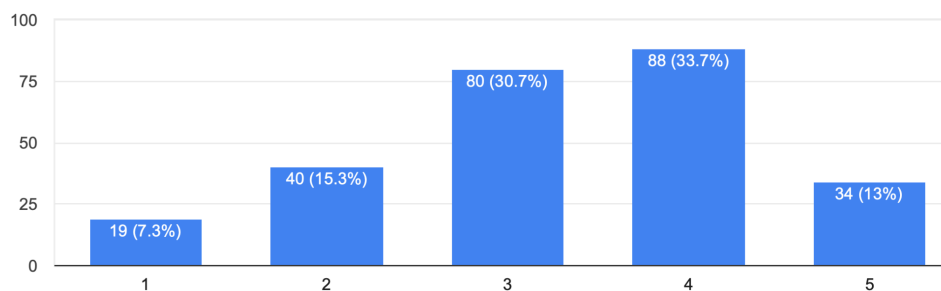
Del 1 al 5, ¿cómo considera la seguridad en la estación? (Siendo 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta)

262 respuestas



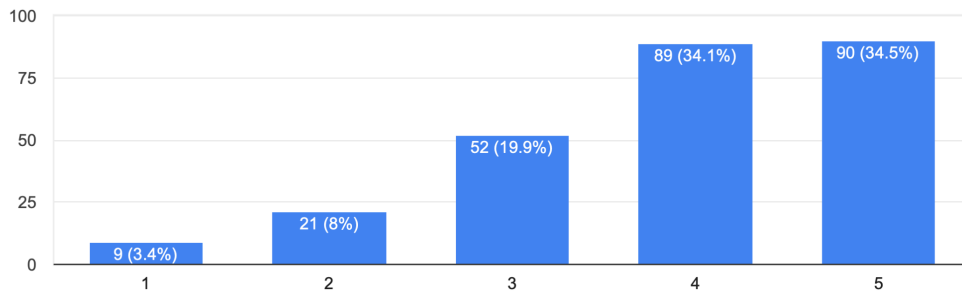
Del 1 al 5, ¿cómo considera la organización de la estación? (Siendo 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta)

261 respuestas



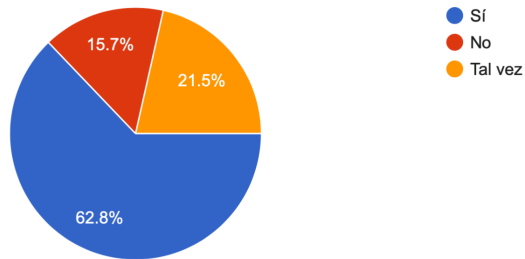
Del 1 al 5, ¿cómo considera las señalizaciones de la estación? (Siendo 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta)

261 respuestas



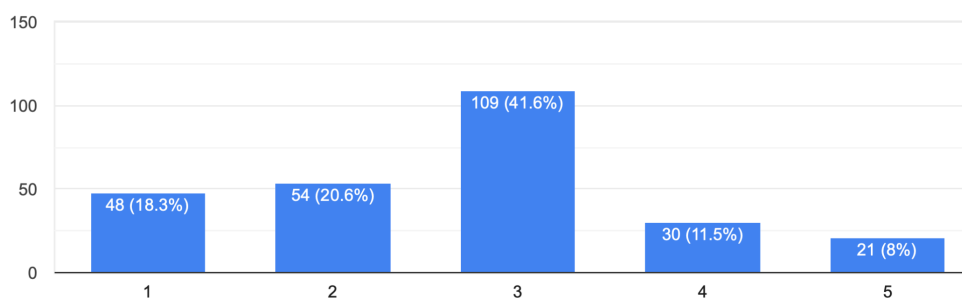
¿Considera útiles los anuncios informativos en las pantallas del metro?

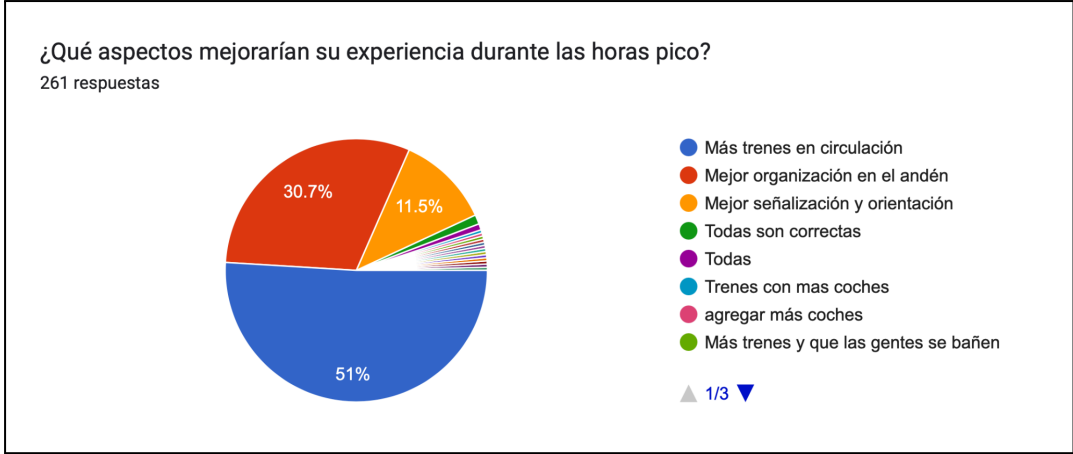
261 respuestas



¿Cómo calificaría su experiencia en el metro durante las horas pico? (Siendo 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta)

262 respuestas





**Anexo 2**

Encontramos en la página de Deutsche Bahn (DB), la compañía que controla la mayor parte del tráfico ferroviario en Alemania y los trenes que viajan desde Alemania al extranjero, información sobre la segunda generación de trenes de alta velocidad en Alemania, conocidos como ICE 2.

Estos trenes utilizan el método de acoplamiento para manejar el flujo de usuarios en ciertos tramos. Por ejemplo, dos trenes ICE 2 cubren la línea de Berlín a Hamm/Westfalia como un tren doble. Luego, se dividen en dos líneas separadas, una en dirección a Essen/Düsseldorf y la otra a Hagen/Wuppertal.



Anexo 3



Anexo 4





**Anexo 5**

