



Institución Universitaria

# **Caracterización intermodal de la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho, caso de estudio: corredor vial calle 49 en la ciudad de Medellín, Colombia.**

**Julián Sánchez Corredor**

Instituto Tecnológico Metropolitano

Ciencias Exactas y Aplicadas, Antioquia

Medellín Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colombia

2024



# **Caracterización intermodal de la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho, caso de estudio: corredor vial calle 49 en la ciudad de Medellín, Colombia**

**Julián Sánchez Corredor**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Desarrollo Sostenible**

Director (a):

(Ph.D., Doctor, Estadística) Cristian David Correa Álvarez.

Línea de Investigación:

Planificación y el ordenamiento sostenible del territorio.

Instituto Tecnológico Metropolitano

Ciencias Exactas y Aplicadas, Antioquia

Medellín Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colombia

2024



## *Dedicatoria*

*A mi padre,*

*Por ser mi guía y apoyo incondicional en cada paso de mi vida y en esta travesía académica. Gracias por inspirarme con tu ejemplo y por alentarme a explorar y entender mi pasión por la movilidad.*

*A mi madre,*

*Por ser mi polo a tierra y mi fuente inagotable de amor y fortaleza. Gracias por siempre creer en mí y por ser mi principal motivación. Tu constante aliento y comprensión han iluminado mi camino en mis estudios.*

*A mi prometida,*

*Por ser mi compañera de vida y por compartir cada logro, cada desafío y cada momento. Gracias por tu amor, paciencia y apoyo inquebrantable. Tu presencia ha sido mi inspiración y motivación para mi camino académico.*

*A mi hermano,*

*Por ser mi cómplice, mi confidente y mi amigo incondicional. Gracias por tu apoyo constante, por las conversaciones inspiradoras y por compartir este viaje conmigo. Tu apoyo ha enriquecido mi perspectiva y ha fortalecido mi dedicación en mis estudios.*



# Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han colaborado y apoyado en la realización de este trabajo académico.

Agradezco de manera especial a Cristian David Correa Álvarez, mi director de trabajo de grado, por su guía, apoyo y valiosos consejos que fueron fundamentales en cada etapa de este proceso. Su experiencia y compromiso fueron cruciales para la culminación de este proyecto.

Agradezco a Marta Luz Arango Uribe, Docente Enlace de la Maestría en Desarrollo Sostenible del ITM, por su apoyo, orientación y por brindarme la oportunidad de conectarme con recursos valiosos que enriquecieron mi investigación.

A mis compañeros y docentes de la Corporación Universitaria Remington de la Especialización en Transporte y Movilidad Inteligente cohorte 1 - 2021, les retribuyo por ser la base y fuente de inspiración para este trabajo. Su conocimiento compartido y las discusiones enriquecedoras han sido esenciales para mi formación académica en este campo.

Expreso mi gratitud a la Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Limitada Metro de Medellín Ltda. y la Secretaría de Movilidad de Medellín por su disposición en proporcionar la información necesaria y por colaborar activamente en mis consultas académicas. Su contribución ha permitido un análisis más profundo y detallado en el desarrollo de este trabajo de grado.

Finalmente, un agradecimiento especial a mis compañeros de cohorte de la Maestría en Desarrollo Sostenible del ITM. Gracias por compartir conocimientos, experiencias y por generar un ambiente colaborativo que fomentó el aprendizaje y el crecimiento conjunto en el ámbito del desarrollo sostenible. Su compañerismo y apoyo fueron esenciales para alcanzar los objetivos de este trabajo de grado.

## Resumen

El presente trabajo de grado, titulado *“Caracterización intermodal de la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho: caso de estudio en el corredor vial calle 49 en Medellín, Colombia”*, tiene como objetivo caracterizar la intermodalidad de la movilidad activa en dicho corredor. La movilidad activa se refiere al uso de medios de transporte no motorizados, como caminar y andar en bicicleta, en el contexto de la sostenibilidad urbana y el desarrollo de ciudades inteligentes. Se empleó una metodología que incluye la recopilación y análisis de datos abiertos de Medellín, procesados en Power BI, para evaluar la oferta y demanda de movilidad activa en relación con el tranvía. El análisis abarcó la evaluación de impactos sociales y la caracterización de la seguridad vial en la comuna 10, obteniendo datos sobre la percepción de seguridad de los usuarios. Los resultados indican que la intermodalidad ha mejorado la accesibilidad y la seguridad percibida, además de reducir los tiempos de desplazamiento gracias al diseño del espacio vial. Como parte de este estudio, se proponen estrategias de mejora, entre ellas la implementación de programas de educación vial y la optimización de la infraestructura. Se concluye que la intermodalidad entre el Tranvía de Ayacucho y la movilidad activa es viable y beneficiosa para promover un transporte más sostenible en Medellín.

**Palabras clave:** Movilidad activa, intermodalidad, sostenibilidad, seguridad vial, transporte público, accesibilidad, infraestructura.

## Abstract

This thesis, titled *“Intermodal Characterization of Active Mobility with the Ayacucho Tram: A Case Study of the Calle 49 Road Corridor in Medellín, Colombia”*, aims to characterize the intermodality of active mobility in this corridor. Active mobility refers to the use of non-motorized transportation modes, such as walking and cycling, within the context of urban sustainability and the development of smart cities. The methodology involved collecting and analyzing open data from Medellín, processed in Power BI, to assess the supply and demand of active mobility in relation to the tram. The analysis included an evaluation of social impacts and road safety characterization in Comuna 10, gathering data on users'



perceived safety. The results indicate that intermodality has improved accessibility and perceived safety, while also reducing travel times due to the design of the road space. As part of this study, improvement strategies are proposed, including the implementation of road safety education programs and infrastructure optimization. It is concluded that intermodality between the Ayacucho Tram and active mobility is viable and beneficial for promoting more sustainable transportation in Medellín.

**Keywords:** Active mobility, intermodality, sustainability, road safety, public transportation, accessibility, infrastructure.

## Tabla de Contenido

|                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capítulo 1 – introducción a la movilidad urbana .....</b>                                                                         | <b>17</b> |
| 1. Movilidad .....                                                                                                                   | 17        |
| 1.1 Movilidad urbana sostenible y planificación .....                                                                                | 19        |
| 1.2 Movilidad activa .....                                                                                                           | 22        |
| 1.3 Contexto nacional .....                                                                                                          | 24        |
| 1.4 Contexto internacional .....                                                                                                     | 28        |
| 1.5 Caracterización de la movilidad urbana .....                                                                                     | 31        |
| 1.6 Conclusiones del capítulo 1: movilidad urbana sostenible .....                                                                   | 32        |
| <b>Capítulo 2 – Objetivos y metodología.....</b>                                                                                     | <b>34</b> |
| 2. Datos generales caso de estudio .....                                                                                             | 34        |
| 2.1 Localización del caso de estudio .....                                                                                           | 35        |
| 2.1.1 Características del área de estudio.....                                                                                       | 36        |
| 2.1.2 Uso del suelo predominante .....                                                                                               | 42        |
| 2.1.3 Infraestructura vial existente .....                                                                                           | 45        |
| 2.2 Caracterización del Tranvía de Ayacucho con los tramos de San José y Pabellón del Agua .....                                     | 48        |
| 2.2.1 Definición y características técnicas .....                                                                                    | 48        |
| 2.2.2 Operación de la línea T del Metro de Medellín.....                                                                             | 50        |
| 2.2.3 Relación con la movilidad activa .....                                                                                         | 51        |
| 2.2.4 Consideraciones .....                                                                                                          | 51        |
| 2.3 Objetivos .....                                                                                                                  | 52        |
| 2.3.1 Objetivo General.....                                                                                                          | 52        |
| 2.3.2 Objetivos Específicos.....                                                                                                     | 52        |
| 2.4 Desarrollo metodológico de los objetivos del caso de estudio.....                                                                | 52        |
| 2.4.1 Diseño de investigación .....                                                                                                  | 52        |
| 2.4.2 Desarrollo metodológico para la Identificación de la oferta y demanda. ....                                                    | 53        |
| 2.4.3 Recopilación de datos.....                                                                                                     | 54        |
| 2.4.4 Procesamiento de datos .....                                                                                                   | 54        |
| 2.4.5 Análisis de variables .....                                                                                                    | 55        |
| 2.4.6 Identificación de la oferta .....                                                                                              | 55        |
| 2.4.7 Identificación de la demanda .....                                                                                             | 55        |
| 2.4.8 Visualización de datos .....                                                                                                   | 56        |
| 2.5 Desarrollo metodológico de los impactos sociales de la movilidad .....                                                           | 57        |
| 2.5.1 Diseño y aplicación de encuestas .....                                                                                         | 58        |
| 2.5.2 Datos abiertos Medellín .....                                                                                                  | 62        |
| 2.6 Desarrollo metodológico de las estrategias para fomentar la intermodalidad de la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho ..... | 63        |
| <b>Capítulo 3 – Oferta y demanda para la caracterización de la movilidad.....</b>                                                    | <b>67</b> |
| 3. Resultados de la caracterización de la movilidad y el cálculo de la oferta y demanda. 68                                          |           |
| 3.1.1 Oferta de movilidad.....                                                                                                       | 68        |
| 3.1.2 Demanda de movilidad .....                                                                                                     | 69        |
| 3.1.3 Caracterización de la movilidad urbana .....                                                                                   | 69        |
| 3.2 Conclusiones del Capítulo 3: Oferta y demanda para la caracterización de la movilidad. ....                                      | 80        |
| <b>Capítulo 4 – Impactos sociales de la intermodalidad y el Tranvía de Ayacucho en la movilidad activa .....</b>                     | <b>83</b> |

|                                                                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4. Definiciones .....                                                                                                                       | 84         |
| 4.1.1 Impactos sociales .....                                                                                                               | 84         |
| 4.1.2 Tiempos de desplazamiento .....                                                                                                       | 84         |
| 4.1.3 Accesibilidad .....                                                                                                                   | 85         |
| 4.1.4 Seguridad vial .....                                                                                                                  | 85         |
| 4.1.5 Satisfacción de los usuarios .....                                                                                                    | 85         |
| 4.2 Intermodalidad de la movilidad urbana .....                                                                                             | 86         |
| 4.3 Impactos sociales de la movilidad en América latina y Colombia .....                                                                    | 87         |
| 4.3.1 Impactos sociales de la movilidad en Medellín .....                                                                                   | 88         |
| 4.3.2 Variables de evaluación de la intermodalidad .....                                                                                    | 89         |
| 4.4 Antropología de las vías en la ciudad de Medellín. ....                                                                                 | 91         |
| 4.5 Causas de los incidentes viales en la ciudad de Medellín. ....                                                                          | 92         |
| 4.6 Resultados de la caracterización de la seguridad vial de la comuna 10 y encuesta de movilidad. ....                                     | 94         |
| 4.7 Conclusiones del capítulo 4: Impactos sociales de la intermodalidad y el Tranvía de Ayacucho en la movilidad activa .....               | 111        |
| <b>Capítulo 5 - Diseño de estrategias para fomentar la intermodalidad de la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho.....</b>              | <b>113</b> |
| 5. Revisión de buenas prácticas en el contexto local .....                                                                                  | 114        |
| 5.1.1 Contexto .....                                                                                                                        | 114        |
| 5.1.2 Iniciativas y Programas Actuales .....                                                                                                | 115        |
| 5.1.3 Desafíos y Oportunidades .....                                                                                                        | 116        |
| 5.2 Políticas pro movilidad .....                                                                                                           | 119        |
| 5.3 Estrategias de Intermodalidad para el Tranvía de Ayacucho: Evaluación, Diseño y Seguimiento .....                                       | 120        |
| 5.3.1 Evaluación .....                                                                                                                      | 121        |
| 5.3.2 Diseño preliminar de estrategias.....                                                                                                 | 122        |
| 5.3.2.1 Evitar .....                                                                                                                        | 122        |
| 5.3.2.2 Cambiar .....                                                                                                                       | 123        |
| 5.3.2.3 Mejorar .....                                                                                                                       | 126        |
| 5.3.3 Validación de Estrategias .....                                                                                                       | 127        |
| 5.3.4 Refinamiento y priorización de las estrategias propuestas.....                                                                        | 129        |
| 5.4 Desarrollo de indicadores de seguimiento .....                                                                                          | 132        |
| 5.4.1 Marco SMART para Monitoreo .....                                                                                                      | 133        |
| 5.4.2 Consideración sobre los indicadores y objetivos:.....                                                                                 | 136        |
| 5.4.3 Explicación del Marco SMART aplicado a los KPIs:.....                                                                                 | 136        |
| 5.5 Conclusiones del capítulo 5: Diseño de estrategias para fomentar la intermodalidad de la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho..... | 137        |
| <b>6. Conclusiones y recomendaciones .....</b>                                                                                              | <b>139</b> |
| 6.1 Conclusiones .....                                                                                                                      | 139        |
| 6.2 Recomendaciones .....                                                                                                                   | 140        |
| <b>Bibliografía .....</b>                                                                                                                   | <b>142</b> |

# Lista de Figuras

|                                                                                                              | <b>Pág.</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1 – 1 Pirámide de la movilidad.....                                                                   | 21          |
| Figura 2 – 1 Movilidad activa en el corredor vial del Tranvía de Ayacucho.....                               | 22          |
| Figura 3 – 1 Beneficios de la movilidad activa .....                                                         | 24          |
| Figura 4 – 2 Mapa zona de estudio .....                                                                      | 36          |
| Figura 5 – 2 Mapa estrato socioeconómico .....                                                               | 37          |
| Figura 6 – 2 Pasajeros movilizados día – datos abiertos Metro MED .....                                      | 38          |
| Figura 7 – 2 Datos movilidad activa – comuna 10 encuesta origen - destino 2022 .....                         | 39          |
| Figura 8 – 2 Accidentalidad vial biciusuarios – comuna 10 .....                                              | 40          |
| Figura 9 – 2 Características generales de la zona de estudio.....                                            | 42          |
| Figura 10 – 2 Uso general del suelo – acuerdo 048 plan de ordenamiento territorial 2014 Medellín .....       | 44          |
| Figura 11 – 2 Cicloinfraestructura vial – lugar de estudio .....                                             | 47          |
| Figura 12 – 2 Características generales tranvía Ayacucho .....                                               | 49          |
| Figura 13 – 2 Información general línea T Metro .....                                                        | 51          |
| Figura 14 – 2 Diagrama para la caracterización de la movilidad con la oferta y demanda de la movilidad ..... | 53          |
| Figura 15 – 2 Diagrama para la caracterización de la movilidad con los impactos sociales .....               | 58          |
| Figura 16 – 2 QR Encuesta Movilidad – evaluación impactos sociales Tranvía de Ayacucho .....                 | 60          |
| Figura 17 – 2 Diagrama para proponer las estrategias de fomento de la intermodalidad para la movilidad. .... | 64          |
| Figura 18 – 3 Resultados generales de la graficación Power Bi – oferta y demanda de la movilidad .....       | 71          |
| Figura 19 – 3 Resultados 1: encuesta origen – destino 2017 .....                                             | 72          |
| Figura 20 – 3 Resultados 2: Caracterización uso de la bicicleta .....                                        | 75          |
| Figura 21 – 3 Resultados 3: Afluencia y población. ....                                                      | 78          |
| Figura 22 – 4 Actores viales .....                                                                           | 89          |
| Figura 23 – 4 Caracterización de la seguridad vía en la comuna 10 de Medellín.....                           | 94          |
| Figura 24 – 4 Caracterización de la seguridad vía en la comuna 10 de Medellín.....                           | 97          |
| Figura 25 – 4 Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Perfil Demográfico.....             | 98          |
| Figura 26 – 4 Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Motivos de Viaje.....               | 100         |
| Figura 27 – 4 Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Tiempos de Desplazamiento.....      | 103         |
| Figura 28 – 4 Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Seguridad Vial.....                 | 105         |
| Figura 29 – 4 Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Accesibilidad.....                  | 108         |

## Lista de Ecuaciones

**Pág.**

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1 – 2 Estimación de la muestra representativa para las encuestas ..... | 61 |
| Ecuación 2 – 2 Cálculo de la muestra con población infinita.....                | 61 |

## Lista de Tablas

**Pág.**

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 – 5 Estadísticas basadas en datos abiertos Medellín de Accidentes, Comuna 10 ..... | 121 |
| Tabla 2 – 5 Resultados Encuesta de Movilidad Corredor Vial Tranvía .....                   | 122 |
| Tabla 3 – 5 Validación de estrategias de intermodalidad.....                               | 128 |
| Tabla 4 – 5 Priorización de estrategias.....                                               | 130 |
| Tabla 5 – 5 Indicadores y objetivos de seguimiento. ....                                   | 134 |



## Introducción

En el contexto urbano contemporáneo, la movilidad sostenible se ha consolidado como un pilar esencial para el desarrollo de ciudades resilientes y eficientes, alineándose con los principios de las ciudades inteligentes (Martínez, 2023). La intermodalidad, entendida como la integración de diversos modos de transporte para optimizar su uso, es una estrategia clave para mejorar la calidad de los desplazamientos urbanos y reducir el impacto ambiental (Medellín, 2022). En este sentido, la movilidad activa, que incluye caminar y andar en bicicleta, complementa el transporte público y refuerza los principios de sostenibilidad y accesibilidad (Concejo de Medellín, 2023).

Esta investigación analiza la intermodalidad como una herramienta para fomentar la movilidad activa en combinación con el sistema de transporte público, tomando como caso de estudio el Tranvía de Ayacucho en Medellín, Colombia. La integración de la movilidad activa con el transporte público es fundamental para lograr un sistema urbano más eficiente y equitativo (Cano, 2024; Castellanos, 2023; Centeno, 2024).

El objetivo general de este estudio es caracterizar la intermodalidad entre la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho, centrándose en el corredor vial de la calle 49 en Medellín. Se busca comprender cómo estos dos modos de transporte interactúan para favorecer una movilidad urbana más sostenible y eficiente (Bocarejo, 2014; Fernández, 2024).

El primer capítulo introduce los conceptos fundamentales de la movilidad urbana, contextualizando la importancia de la movilidad sostenible en el desarrollo de ciudades inteligentes (Gehl, 2010; Chakraborty, 2021). También se presenta el marco teórico del estudio, abordando definiciones clave como movilidad activa, intermodalidad y sus principios asociados (Chen, 2017; Concejo de Medellín, 2023). Además, se analiza brevemente el panorama nacional e internacional sobre movilidad sostenible y los desafíos que enfrentan las ciudades en la implementación de soluciones intermodales (Corinto, 2023; Dalton, 2019).

Los capítulos siguientes conectan la teoría con la práctica mediante un análisis detallado del caso de estudio. En el segundo capítulo, se examina la situación en Medellín, describiendo las características del corredor vial de la calle 49 y los diferentes modos de

transporte que convergen en esta área (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022; González, 2024). Se empleó una metodología basada en la recopilación y el análisis de datos abiertos de Medellín, procesados en Power BI, para evaluar la oferta y demanda de movilidad activa en relación con el tranvía (Giménez, 2024).

En el tercer capítulo, se analizan los impactos sociales de la intermodalidad, explorando sus implicaciones en términos de seguridad vial, accesibilidad y calidad de vida de los residentes. Este análisis considera estudios comparativos de ciudades que han implementado modelos similares (Giménez, 2024; Gómez, 2023) y evalúa cómo la integración de la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho puede transformar las dinámicas sociales y mejorar la convivencia urbana (Stull, 2023).

El capítulo final presenta conclusiones y recomendaciones, con estrategias para fortalecer la intermodalidad en Medellín. Estas estrategias se basan en buenas prácticas internacionales y en la participación ciudadana, con el objetivo de maximizar los beneficios de ambos modos de transporte y promover una movilidad más equitativa y respetuosa con el entorno (Torres, 2019).

Este estudio contribuye al conocimiento sobre la intermodalidad en entornos urbanos específicos, proporcionando información valiosa para diseñadores de políticas públicas, planificadores urbanos y otros actores clave en la construcción de sistemas de transporte más sostenibles y eficientes (Gehl, 2014). A lo largo de la investigación, se examina cómo la integración de la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho puede transformar la movilidad urbana en Medellín, tomando como referencia experiencias de otras ciudades latinoamericanas y europeas que han implementado soluciones similares (Vanegas, 2020; Velásquez, 2024).

No obstante, esta investigación presenta algunas limitaciones. Una de las principales es la disponibilidad de datos actualizados, ya que las encuestas de movilidad y las estadísticas de uso de bicicletas pueden no reflejar completamente la realidad actual debido a desfases en su recopilación y procesamiento. Además, el estudio se circunscribe al corredor vial de la calle 49, lo que restringe la generalización de los hallazgos a otras áreas de Medellín o ciudades con dinámicas distintas. Por último, la integración intermodal en esta zona aún



está en desarrollo, lo que limita la efectividad de algunas estrategias propuestas para fomentar la movilidad activa en combinación con el transporte público.

## **Capítulo 1 – introducción a la movilidad urbana**

En este capítulo se van a abordar conceptos claves relacionados a la movilidad urbana como un aspecto fundamental en la configuración y funcionamiento de las ciudades modernas, siendo clave para garantizar la eficiencia, equidad y sostenibilidad en el desplazamiento de personas y bienes dentro de los entornos urbanos. En este sentido, la planificación integral de la movilidad se erige como un desafío crucial en el contexto de un crecimiento demográfico y expansión urbana acelerados, tanto a nivel nacional como internacional.

### **1. Movilidad**

La movilidad urbana debe centrarse en las necesidades de las personas, promoviendo un entorno que favorezca la interacción social y el bienestar. Esto implica diseñar espacios que prioricen la movilidad activa, como caminar y andar en bicicleta, y que integren de manera armónica los diferentes modos de transporte. En este sentido, la movilidad urbana se convierte en un elemento clave para crear ciudades más habitables, donde la accesibilidad y la sostenibilidad sean fundamentales para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. (ONU, 2021; Gehl, 2014). Al igual se puede precisar como un factor inherente de la vida cotidiana, su desarrollo permite generar mejores condiciones de vida y su olvido conlleva a un inminente colapso de la ciudad (Medellín, 2022). El término se refiere a la capacidad de desplazamiento de personas y bienes en un determinado espacio, generalmente en un entorno urbano (Gehl, 2014). En el contexto de Medellín, Colombia, la movilidad urbana se ha desarrollado de manera integral a través de la implementación de diversos sistemas de transporte público y soluciones complementarias que buscan mejorar la accesibilidad, la eficiencia y la sostenibilidad en el desplazamiento de los ciudadanos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022).

En el contexto de ciudades como Medellín, Colombia, la movilidad urbana se caracteriza por la presencia de diversos medios de transporte, incluyendo el metro, el tranvía, los cables teleféricos y los buses de tránsito rápido, los cuales operan de manera integrada para ofrecer opciones variadas a los ciudadanos (Bocarejo, 2014; Daza, 2024). Además, se complementa con soluciones que promueven la accesibilidad y la sostenibilidad, como el fomento de la caminata y el ciclismo, así como la implementación de políticas para reducir la congestión vehicular y las emisiones de contaminantes (Medellín, 2022). Estos sistemas de transporte público han sido gestionados por la Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Limitada (Metro de Medellín Ltda.), la cual ha sido clave en la planificación, construcción, administración y operación de estos servicios (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022). Además, Medellín ha apostado por soluciones complementarias que refuerzan las acciones ya tomadas en materia de movilidad urbana, buscando orientar el crecimiento de la ciudad de manera sostenible y eficaz (Mejía, 2022). Estas acciones han contribuido a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos al facilitar su desplazamiento, reducir los tiempos de viaje y promover un transporte público más accesible y amigable con el medio ambiente (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022).

Cabe resaltar que el análisis de datos y estadísticas respalda la importancia de una movilidad urbana eficiente, mostrando reducciones significativas en los tiempos de viaje y la congestión vehicular, así como cambios positivos en los patrones de desplazamiento (Medellín, 2021). Además, se evidencia una serie de beneficios socioeconómicos, como el aumento de la productividad laboral y la reducción de costos para individuos y empresas (Hensher, 2020). En términos de impacto ambiental, una movilidad urbana bien gestionada contribuye a la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad del aire al promover modos de transporte más sostenibles y la reducción de emisiones contaminantes (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022; Cervero, 2017).

Por último, la movilidad urbana se concibe como un elemento clave para promover la inclusión social y la equidad, garantizando el acceso equitativo al transporte público y teniendo en cuenta las necesidades de grupos vulnerables, como personas de bajos ingresos o con discapacidades (Gehl, 2014; Cervero, 2017), y como reflexión adherida a lo anterior; La calle ideal sería aquella que prioriza el respeto hacia los peatones y biciusuarios. Para lograr esto, es fundamental generar confianza en el entorno urbano.

Esto implica desarrollar políticas inclusivas que involucren a diversas entidades y a la ciudadanía en colaboraciones activas (Escobar, 2019) De esta manera, se evita la toma de decisiones desde una única perspectiva con el fomento de un espacio más seguro y amigable para todos (Gehl, 2022).

El próximo apartado abordará la movilidad urbana sostenible, destacando la importancia de crear sistemas de transporte eficientes y sostenibles, promoviendo el transporte público, la bicicleta y el caminar.

## **1.1 Movilidad urbana sostenible y planificación**

La movilidad urbana se define como el conjunto de procesos, sistemas y servicios que facilitan el desplazamiento eficiente, equitativo y sostenible de personas y bienes dentro de un entorno urbano, el concepto de sostenibilidad tiene tres pilares que son el económico, social y ambiental. Este concepto abarca tanto los medios de transporte motorizados como no motorizados, así como la infraestructura física de transporte, las políticas, estrategias y prácticas relacionadas con la planificación y gestión del movimiento urbano (ONU, 2021; Gehl, 2014; Cervero, 2017). La movilidad urbana es un factor inherente a la vida cotidiana; su desarrollo contribuye a generar mejores condiciones de vida, mientras que su descuido puede llevar a un inminente colapso de la ciudad (Junyent, 2024). En este sentido, se refiere a la capacidad de desplazamiento de personas y bienes en un espacio determinado, siendo fundamental para garantizar la accesibilidad y la eficiencia del transporte en general (Gehl, 2014; Cervero, 2017).

En el contexto de Medellín, Colombia, la movilidad urbana se ha desarrollado de manera integral a través de la implementación de diversos sistemas de transporte público y soluciones complementarias que buscan mejorar la accesibilidad, la eficiencia y la sostenibilidad en el desplazamiento de los ciudadanos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022). La planificación urbana que considera estos aspectos es crucial para fomentar un entorno urbano más habitable y resiliente.

Sin embargo, la movilidad urbana vista desde la perspectiva de la construcción de ciudad y la planeación es un elemento fundamental para el desarrollo sostenible y la calidad de

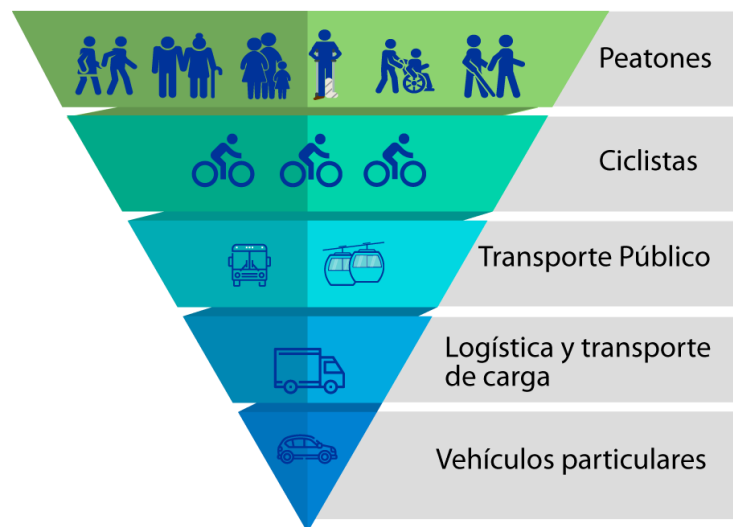
vida de los habitantes. En el contexto actual de crecimiento demográfico y expansión urbana, la planificación adecuada de la movilidad se convierte en un desafío crucial para asegurar ciudades más eficientes, equitativas y amigables con el medio ambiente (Ministerio de Transporte, 2020; Cervero, 2017). Ser "amigable con el medio ambiente" implica adoptar enfoques y prácticas que minimicen el impacto negativo de las actividades humanas sobre el entorno natural. Esto incluye la promoción de medios de transporte sostenibles, como la bicicleta y el transporte público, que reducen la dependencia de vehículos motorizados y, por ende, las emisiones de gases de efecto invernadero (Cervero, 2017). Una planificación integral de la movilidad implica considerar una serie de aspectos interrelacionados, que van desde la infraestructura vial hasta el transporte público, pasando por el fomento de medios de desplazamiento activos como la bicicleta y la peatonalización de espacios urbanos (Bocarejo, 2014). En este sentido, se busca promover un modelo de movilidad que priorice el acceso equitativo a los servicios y oportunidades, reduciendo la dependencia del automóvil privado y fomentando modos de transporte más sostenibles (Falaki, 2021; Gehl, 2014). La construcción de ciudad, entendida como el proceso de configuración del espacio urbano, juega un papel clave en la definición de la movilidad. La distribución de usos del suelo, la densidad poblacional, la ubicación de equipamientos y la conectividad entre barrios son aspectos determinantes que influyen en la forma en que las personas se desplazan dentro de la ciudad (Gehl, 2014; Cervero, 2017).

Por lo tanto, es fundamental integrar la planificación de la movilidad con la planificación urbana, buscando generar un entorno propicio para la movilidad activa y el transporte público eficiente (Gehl, 2014; Cervero, 2017). En este sentido, la participación ciudadana y la inclusión de diversos actores sociales en el proceso de planificación son aspectos cruciales. Escuchar las necesidades y demandas de la comunidad, así como involucrar a los usuarios en la toma de decisiones, contribuye a diseñar soluciones de movilidad más adaptadas a las realidades locales y más aceptadas por la población (Gehl, 2014; Bocarejo, 2014). Adherido a lo anterior, la micromovilidad tiene el potencial de transformar las ciudades en lugares más sostenibles y habitables. Es importante que las autoridades locales consideren la micromovilidad como una parte importante de la planificación de la movilidad urbana, ya que hay estudios recientes que indican que se pueden identificar los principales factores, y se exploran los patrones y comportamientos de los usuarios que

podrían guiar la identificación de las medidas apropiadas a adoptar en pro de los resultados, que pueden ser de interés para las autoridades locales en la integración de la micromovilidad en la planificación de la movilidad urbana y su promoción de nuevas alternativas de transporte sostenible (Comi, 2024; Hensher, 2023).

Además de conectar ideas, es esencial analizar los patrones espaciotemporales de movilidad humana. Esto implica estimar el potencial de cada región en el campo de la movilidad para cuantificar y caracterizar su atractivo, así como para diagnosticarla adecuadamente (Yang, 2024). Por consiguiente, se podría estudiar los movimientos cotidianos de las personas, agregados en unidades espaciales, las cuales dan forma a flujos de movilidad que pueden ser modelados por redes geoespaciales y estas estructuras de estas redes reflejan e influyen en la forma en que se viven, perciben y planifican las ciudades (Gehl, 2014).

**Figura 1 – 1** Pirámide de la movilidad



*Nota.* Según la figura anterior se infiere que el peatón ocupa la cima de la pirámide de la movilidad. Le siguen, en orden descendente: 2) biciusuarios; 3) usuarios del servicio de transporte público de pasajeros; 4) prestadores del servicio de transporte de carga y distribución de mercancías; y 5) usuarios de transporte particular automotriz. Tomado de <https://movilidadynoticias.com.gt/piramide-de-la-movilidad-urbana-sostenible/>.

El próximo apartado se centrará en el tema de la movilidad activa, destacando la importancia de crear sistemas de transporte eficientes y sostenibles.

## **1.2 Movilidad activa**

La movilidad activa se define como la capacidad de desplazarse utilizando el cuerpo humano, ya sea mediante caminatas u otros medios de transporte que aprovechen la energía humana como su motor principal. Esta estrategia forma parte de una política integral que se basa en dar prioridad a los viajes que no requieren de motorización, como los desplazamientos a pie o en bicicleta, seguidos por el uso del transporte público (como autobuses o metros) y la reducción progresiva de los viajes en vehículos privados individuales, promoviendo en su lugar alternativas más eficientes en términos de energía, como el transporte compartido o vehículos impulsados por fuentes de energía limpia. En la figura 2 -1 se desarrolla el concepto (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022).

Asimismo se define como un concepto arraigado en prácticas sociales que priorizan el uso de la energía humana para satisfacer las necesidades de desplazamiento representa un enfoque clave dentro de las políticas de transporte en el país. En consonancia con los lineamientos establecidos por el Consejo Nacional de Política Económica y Social 3991 - Política Nacional de Movilidad Urbana y Regional, se ha emprendido la elaboración de la Estrategia Nacional de Movilidad Activa. Esta estrategia abarca un exhaustivo diagnóstico de las diversas aglomeraciones del territorio, así como una metodología para evaluar los beneficios económicos derivados de la implementación de proyectos de movilidad activa y un sistema de información geográfica para respaldar las decisiones en este ámbito (Departamento Nacional de Planeación, 2020).

El Grupo de Asuntos Ambientales y Desarrollo Sostenible del Ministerio de Transporte desempeña un papel fundamental en la materialización de estos esfuerzos. A través de labores de estructuración, seguimiento, acompañamiento y formulación, este grupo impulsa una serie de proyectos y programas destinados a fomentar y respaldar la movilidad activa en el país. Entre estas iniciativas destacan la Semana Nacional por la Movilidad, como se contempla en el artículo 18 de la Ley 1811, y la elaboración de la Estrategia Nacional de Movilidad Activa (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

**Figura 2 – 1** Movilidad activa en el corredor vial del Tranvía de Ayacucho.



*Nota.* Corredor vial del Tranvía de Ayacucho en la ciudad de Medellín, Cuenta con una afluencia importante de peatones y biciusuarios, lo que fue un hito en el 2016 para el urbanismo en la ciudad.

Es importante destacar que el compromiso del país con la mitigación de los gases de efecto invernadero, reflejado en sus contribuciones determinadas a nivel nacional, incluye la implementación del transporte activo y gestión de la demanda. Esta iniciativa tiene como objetivo principal aumentar el número de desplazamientos en bicicleta en 17 ciudades del país para el año 2030. Además, se encuentra en marcha en el transporte activo y gestión de la demanda, la cual integra los principios del desarrollo orientado al transporte para la planificación de territorios más sostenibles y resilientes (Ministerio de Transporte Colombia, 2022).

Por lo anterior, podemos inferir que la movilidad activa es un componente clave de la movilidad urbana sostenible, que fomenta el uso de modos de transporte no motorizados, como caminar y andar en bicicleta. Esto no solo contribuye a la reducción de emisiones y la congestión, sino que también promueve un estilo de vida más saludable y activo para los ciudadanos (Gehl, 2014). Los Planes de Movilidad Urbana Sostenible son herramientas estratégicas para promover el uso de formas de transporte más sostenibles, como caminar, andar en bicicleta y utilizar el transporte público, en el contexto de una ciudad (Bocarejo et al., 2014). Estos planes buscan revertir el modelo de transporte insostenible basado en el

uso de combustibles fósiles, colocando a las personas en el centro de las ciudades a través de una planificación urbana inteligente (Cervero, 2017). En la siguiente figura se refleja los beneficios en salud con la movilidad activa.

**Figura 3 – 1** Beneficios de la movilidad activa



*Nota.* La figura anterior se basa en la Organización Mundial de la Salud (OMS), que indica que al menos el 60% de la población global no cumple con el nivel de ejercicio necesario para mantener una buena salud. Este fenómeno se atribuye, en parte, a la falta de actividad física durante el tiempo libre y al aumento de comportamientos sedentarios en el trabajo y en las tareas domésticas. Sin embargo, estudios indican que incorporar actividad física en la rutina diaria de movilidad, como caminar o andar en bicicleta, puede tener beneficios significativos para la salud. Por ejemplo, una persona que pedalea en bicicleta durante 18 minutos al día puede reducir en un 28% las probabilidades de morir por causas relacionadas con la inactividad física durante el transcurso de un año. Tomado de <https://www.metropol.gov.co/movilidad/Paginas/movilidad-activa.aspx>.

El siguiente apartado abordará el contexto de la movilidad a nivel nacional, destacando logros en las principales ciudades.

### 1.3 Contexto nacional

En Colombia, la movilidad urbana es un tema de gran relevancia debido al rápido crecimiento de las ciudades y los desafíos asociados con la congestión del tráfico, la contaminación ambiental y la inequidad en el acceso al transporte. En los últimos años, el



gobierno colombiano ha implementado una serie de políticas y programas para mejorar la movilidad en el país, especialmente en las ciudades más grandes como Bogotá, Medellín y Cali. Para lo anterior se cuenta con los Planes Nacionales de Desarrollo de Colombia, que incluye objetivos específicos relacionados con la movilidad sostenible, como la promoción del transporte público, el fomento del uso de la bicicleta y la peatonalización de áreas urbanas. Además, el país ha adoptado medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte, como la implementación de vehículos eléctricos y la mejora de la infraestructura para el transporte público (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

En el ámbito legislativo, Colombia cuenta con la Ley 1811 de 2016, que establece disposiciones para la promoción de la movilidad sostenible y la seguridad vial en el país. Esta ley incluye medidas para mejorar la infraestructura vial, regular el transporte público y fomentar el uso de medios de transporte no motorizados (Congreso de Colombia, 2016).

A nivel local, varias ciudades colombianas han implementado Planes de Movilidad Urbana Sostenible con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y reducir los impactos negativos del transporte en el medio ambiente. Estos planes incluyen acciones como la construcción de ciclorutas, la ampliación del transporte público y la promoción del transporte compartido (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020).

En la ciudad capital de Colombia, se implementó el plan maestro de movilidad como eje central de la planificación e implementación de proyectos de transporte (Bogotá, 2009) en esta ciudad determinan como objetivo principal, el poder alcanzar una movilidad segura, equitativa, inteligente, articulada, respetuosa con el medio ambiente y que sea sostenible para la ciudad. Por lo que el sistema de bicicletas públicas en Bogotá cuenta con las siguientes características:

**Estaciones y bicicletas:** En su primera fase, el sistema de Bogotá contará con 150 estaciones y 3,300 bicicletas, de las cuales 1,500 son eléctricas, 1,500 son mecánicas o convencionales, 150 tienen cajón para carga o sillas para transportar niños, y 150 son manocletas para personas en condición de discapacidad.

**Inclusividad:** El sistema incluye bicicletas inclusivas para toda la población, con 75 manocletas para personas con movilidad reducida y 75 bicicletas con cajón para carga.

**Conexión con el transporte público:** El proyecto permitirá una fácil conexión con el sistema de transporte público de la ciudad.

**Cobertura y expansión:** Se espera que el sistema funcione al 50% en su primera fase, con planes de expansión para cubrir más áreas de la ciudad.

**Regulación y calidad del servicio:** La Secretaría de Movilidad de Bogotá regula la calidad del servicio, incluyendo la calidad de las bicicletas y estaciones.

Estas características hacen del sistema de bicicletas públicas en Bogotá uno de los más grandes y diversos de América Latina, con un enfoque en la inclusividad y la sostenibilidad, así funcionará el sistema de bicicletas públicas más grande de Colombia (Señal Colombia, 2022).

Es por esto, por lo que esta ciudad ha pensado en darle prioridad a los medios de transporte sostenibles como lo son el transporte público y el no motorizado para alcanzar estos lineamientos como lo expone Tanikawa (2021) encontrando en la bicicleta un potencial medio de transporte en la ejecución de viajes cortos o complementarios con el transporte público dadas sus características topográficas y climáticas.

Programas y planes pro biciusuarios que se enfocan en el fortalecimiento y respaldo a un sistema de integración de la bicicleta con el transporte público, tienen el potencial factor que permitiría aumentar el número de estos actores viales al sistema de transporte ya que esto les facilitaría recorrer mayores distancias, convirtiendo así a la bicicleta en un alimentador del sistema público gestando la reducción en los costos de operación y porque no, generar incentivos a los biciusuarios como por ejemplo, descuentos en el valor de los tickets de ingreso al servicio público (Centeno, 2024).

Ahora bien, según el Consejo Nacional de Política Económica y Social de República de Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2020) los casos de estudio aportantes en una caracterización de la movilidad activa con énfasis en el transporte público y el uso de bicicletas en entornos urbanos sostenibles, es esencial utilizar una metodología de diagnóstico con la recolección de datos para hacer caracterización en las que se adapten a estas modalidades de desplazamiento.

En base a esta política se lograron aplicar las siguientes sistemáticas a la caracterización de la movilidad:

- **Encuesta origen - destino:** Área Metropolitana del Valle de Aburra (2022) explica que la encuesta de movilidad es una iniciativa del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que se realiza cada 5 años para conocer el origen y destino de los viajes en el territorio metropolitano. Esta encuesta permite a las autoridades planificar y mejorar la movilidad en la región.
- **Evaluación de la cicloinfraestructura:** según lo indica el Ministerio de Transporte de Colombia (2020) es un proceso que permite medir el impacto de la infraestructura biciusuario en la movilidad urbana. La evaluación puede incluir aspectos como la seguridad, la accesibilidad, la comodidad y la eficiencia de la infraestructura biciusuario. En Colombia, se han desarrollado varias metodologías para evaluar la cicloinfraestructura. La Guía de cicloinfraestructura para ciudades colombianas del Ministerio de Transporte es una de las referencias más importantes en este campo.
- **Estudios de velocidad y tiempos de viaje:** como lo denota Ministerio de Transporte de Colombia (2020) es una evaluación que se realiza para medir la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito. Este estudio puede incluir aspectos como la velocidad, el tiempo de recorrido, las causas de retraso y la eficiencia del sistema de transporte.
- **Índices de accesibilidad:** es un indicador que mide la facilidad con la que las personas pueden desplazarse en una ciudad. En Medellín, Colombia, la accesibilidad geográfica se refiere a la extensa red vial que abarca un total de 18,017 kilómetros, distribuidos en 2,718 vías que incluyen carreteras nacionales, departamentales y municipales. Esta red vial se complementa con la infraestructura de transporte aéreo y fluvial, lo que contribuye a mejorar la conectividad y el desplazamiento de los ciudadanos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020).
- **Evaluación de la seguridad vial:** comprende la medición y análisis de la prevención de accidentes de tránsito, así como la protección de la vida y la salud de las personas en las vías públicas de la ciudad. A continuación, se destacan los

siguientes aspectos relevantes relacionados con esta evaluación: gestión integral de los datos e información relacionados con la movilidad y la seguridad vial en la ciudad; análisis de la información recopilada para identificar tendencias y patrones en la movilidad y la seguridad vial; socialización y divulgación de la información y los análisis realizados, permitiendo que la ciudadanía tenga acceso a ellos; y gestión estratégica de la información y los análisis para que sean utilizados en la toma de decisiones y la planificación de políticas y estrategias relacionadas con la movilidad y la seguridad vial en la ciudad (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020).

A partir de estas metodologías que ofrecen una visión holística de la movilidad activa y su relación con el transporte público, se pueden obtener datos para la planificación urbana sostenible y para el diseño de políticas que fomenten una movilidad más eficiente, saludable y respetuosa con el medio ambiente en las ciudades. Así como, identificar oportunidades para mejorar las redes de carriles bici, el transporte público, las interconexiones entre ellos, tendencias de crecimiento a lo largo de un periodo determinado, evaluar la igualdad de acceso a la movilidad activa y al transporte público desde diferentes zonas de la ciudad y la reducción de las emisiones de carbono y la mejora de la salud pública, como lo proporciona el CONPES 3991 (Departamento Nacional de Planeación, 2020).

El próximo apartado abordará en el contexto internacional de la movilidad urbana sostenible, destacados por organismos como las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud. Ejemplos en el continente de Europa, en países como Países Bajos y España en ciudades como Ámsterdam y Barcelona, que muestran políticas exitosas de movilidad sostenible.

## **1.4 Contexto internacional**

A nivel internacional, la movilidad urbana es un tema prioritario en la agenda de desarrollo sostenible, ya que las ciudades juegan un papel crucial en la lucha contra el cambio climático y la promoción de un desarrollo urbano sostenible. Organismos internacionales como las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud han destacado la importancia de una movilidad urbana sostenible para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En este sentido, se promueve la implementación de políticas que fomenten el

transporte público, la movilidad activa y la planificación urbana orientada al peatón (ONU, 2021).

Europa es un ejemplo destacado de regiones que han adoptado medidas ambiciosas para mejorar la movilidad urbana. Ciudades como Ámsterdam, Copenhague y Barcelona son reconocidas internacionalmente por sus políticas de transporte sostenible (Gehl, 2022), que incluyen extensas redes de ciclovías, sistemas de transporte público eficientes y la peatonalización de áreas urbanas.

En América Latina, varias ciudades también están trabajando en la implementación de políticas de movilidad sostenible. Bogotá, por ejemplo, ha sido pionera en la promoción del transporte público y el uso de la bicicleta a través de iniciativas como la empresa de transporte del tercer milenio (TRANSMILENIO S.A.) y el programa de ciclovías dominicales (Señal Colombia, 2022).

Casos de éxito se resaltan como la ciudad de Huesca en Aragón España cuenta con un Plan Estratégico de Ciudad creado desde el año 2013 que para la época contaba con más de 52.000 habitantes. Según lo tratado en el informe del Plan de Movilidad de Huesca, pretendía un ambicioso plan, el cual consistía en construir un modelo de ciudad saludable, segura y accesible con una planeación de ciudad amable con el medio ambiente, situación que se pretendía lograr con unos importantes cambios en lo que respecta a la movilidad, pues a manera de ejemplo, en la zona peatonal del ayuntamiento los recorridos a pie aumentaron en un 53% y los recorridos o viajes en bicicleta aumentaron un 38% (Giménez, 2024)

Estas situaciones demuestran que los habitantes de esta localidad se desplazan de una manera saludable y sostenible, lo cual ha llevado a la revitalización de las áreas comerciales con la aparición de nuevos negocios en las zonas peatonales (Giménez, 2024). Como parte de este plan, se ha considerado peatonalizar el centro histórico reorganizando un área de 32 hectáreas, restringiendo el acceso solo a vehículos autorizados, lo que finalmente ha mejorado la calidad de vida para los residentes en esta zona. Uno de los aspectos más importantes que queremos destacar en este plan de movilidad de Huesca es la necesidad de proporcionar más espacios urbanos que fomenten

la interacción entre diferentes grupos sociales y promuevan el crecimiento económico para el beneficio colectivo (Giménez, 2024)

El uso y el interés por utilizar alternativas diferentes al transporte tradicional, como es el caso de la bicicleta, era escaso no solo aquí sino también en muchas otras ciudades. Por tanto, fue necesario encontrar un modelo urbano saludable y de calidad como sugiere (Giménez, 2024).

En función a lo anterior hay algunos ejemplos del éxito a la propuesta de integralidad de la bicicleta a nivel mundial como los siguientes: Barcelona en España, el cual funciona desde 2007 y con servicio para los biciusuarios las 24 horas que le suma 5 puntos porcentuales a este modo de transporte (Ayuntamiento de Barcelona, 2007), Berlín en Alemania que, a diferencia de otras ciudades, cobra por el uso de la bicicleta (Gobierno Federal de Berlín, 2002), Bruselas en Bélgica, al igual que el sistema de Berlín, el uso de la bicicleta tiene un costo de alquiler que es cobrado a través de tarjeta de crédito (JCDecaux, 2009) y París en Francia, quizás con uno de los sistemas de red de biciusuarios más grandes a nivel mundial con 20.600 bicicletas que están distribuidas en 1451 estaciones en 370 kilómetros de calles para los usuarios de la bicicleta y con un récord de más de 27,9 millones de viajes en un año; es decir, un promedio de 90.000 viajes por día (Syndicat Autolib' Vélib' Métropole, 2007).

Estas acciones que se toman en materia de institucionalidad, la educación sobre este tipo de transporte, la integración con el transporte público, y por, sobre todo, el mejoramiento de la infraestructura acompañado del empeño político hicieron que el uso de la bicicleta como medio de transporte se lograra consolidar y permanecer inclusive apoyándose en elementos jurídicos como la “Leyes pro bicicleta” que facilitaron la articulación de toda la normatividad en este tema para que su incentivo en uso con unas normas básicas de seguridad resultara beneficioso para la movilidad activa y el transporte público, según lo expuesto por Ministerio de Transporte de Colombia, (2016).

El próximo apartado abordará la caracterización de la movilidad urbana, donde organismos como las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud subrayan la relevancia de una movilidad urbana sostenible para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## 1.5 Caracterización de la movilidad urbana

La movilidad urbana sostenible constituye un pilar fundamental en la configuración de ciudades modernas, eficientes y respetuosas con el entorno. En este sentido, es esencial abordarla desde una perspectiva integral que considere diversos aspectos interrelacionados, tal como lo establece el Plan de movilidad urbana sostenible (Alcaldía de Medellín, 2020). Este enfoque integral implica no solo la infraestructura vial y la planificación urbana, sino también la implementación de soluciones innovadoras y sostenibles, como la micromovilidad (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022).

Desde una perspectiva integral, la movilidad urbana puede ser caracterizada y diagnosticada mediante la consideración de múltiples factores. Entre estos, se incluyen la congestión del tráfico, la accesibilidad a diferentes modos de transporte, y la implementación de soluciones de movilidad sostenible. El análisis y estudio de la movilidad urbana constituye un campo multidisciplinario de gran importancia en el desarrollo y funcionamiento de las ciudades modernas. Diversos recursos bibliográficos ofrecen valiosas perspectivas sobre este tema, abordando desde aspectos teóricos hasta prácticas concretas en la planificación y gestión del transporte en entornos urbanos (Chakraborty, 2021).

Desde una perspectiva integral, la movilidad urbana puede ser comprendida y evaluada mediante la consideración de diversos factores intervinientes. Entre estos, destacan la congestión del tráfico, la accesibilidad a distintos modos de transporte y la implementación de soluciones de movilidad sostenible. Es evidente que el análisis y estudio de la movilidad urbana constituyen un campo multidisciplinario de gran importancia para el desarrollo y funcionamiento adecuado de las ciudades modernas (Dalton, 2019).

En adición a lo anterior, la micromovilidad emerge como un elemento transformador con el potencial de hacer que las ciudades sean más habitables y sostenibles. Es crucial que las autoridades locales consideren la micromovilidad como una parte integral de la planificación urbana, como sugieren estudios recientes. Estos estudios indican que es posible identificar los principales factores y explorar los patrones y comportamientos de los usuarios, lo que podría guiar la adopción de medidas apropiadas para integrar la micromovilidad en la planificación de la movilidad urbana y promover nuevas alternativas de transporte sostenible (Daou, 2024; Daza, 2024).

Para comprender la movilidad urbana en profundidad, también es esencial analizar los patrones espaciotemporales de movilidad humana. Estudios como los de (Yang, 2020) muestran cómo se puede estimar el potencial de cada región en términos de movilidad, lo que permite una caracterización y diagnóstico más precisos. Además, es fundamental estudiar los movimientos cotidianos de las personas y cómo se agrupan en unidades espaciales, ya que estos flujos de movilidad pueden ser modelados por redes geoespaciales. Dichas estructuras de redes reflejan e influyen en la forma en que las ciudades se viven, perciben y planifican, como indican las investigaciones de (Escolano, 2024).

Finalmente, la comprensión integral de la movilidad urbana requiere considerar una variedad de factores interrelacionados, el análisis detallado de los patrones, comportamientos de los usuarios. Solo mediante un enfoque multidisciplinario, una planificación cuidadosa se pueden desarrollar soluciones efectivas que promuevan ciudades más sostenibles, habitables para todos sus habitantes (Gómez, 2024).

## **1.6 Conclusiones del capítulo 1: movilidad urbana sostenible**

El análisis de la movilidad urbana expuesto en el capítulo 1 proporciona una visión integral y profunda sobre la relevancia de este tema para el desarrollo sostenible de las ciudades modernas. Se destaca que la movilidad no solo es un aspecto operativo clave para el funcionamiento de las urbes, sino también un componente fundamental para garantizar la sostenibilidad en el desplazamiento de personas y bienes. En un contexto de crecimiento demográfico y urbanización acelerada, la planificación integral de la movilidad se presenta como un reto crucial. Es indispensable una estrategia que considere tanto la infraestructura física como las dinámicas sociales y ambientales, a fin de crear ciudades más habitables y sostenibles (ONU, 2021).

Uno de los casos más representativos de avances en movilidad urbana es Medellín, Colombia. Esta ciudad ha implementado un sistema de transporte público integrado que se complementa con otras soluciones de micromovilidad, como bicicletas, priorizando la accesibilidad y eficiencia del transporte público, con un enfoque en la sostenibilidad. Este tipo de enfoques permite no solo mejorar el flujo de personas dentro de la ciudad, sino



también reducir el impacto ambiental, al incentivar el uso de medios de transporte menos contaminantes (Páez, 2017). De esta manera, Medellín se posiciona como un referente regional en la búsqueda de soluciones integradas que promuevan la equidad y el acceso a la movilidad, demostrando que el transporte eficiente es también un derecho social (Díaz, 2021).

Además, el análisis de datos y estadísticas sobre los patrones de movilidad en las ciudades proporciona una base sólida para la toma de decisiones. El estudio espaciotemporal de estos patrones permite a los planificadores urbanos identificar las áreas que requieren intervención, facilitando el diseño de políticas públicas que favorezcan una movilidad más inclusiva. La participación ciudadana es otro factor destacado, ya que involucra a diversos actores en la toma de decisiones, garantizando que las soluciones de movilidad respondan a las necesidades reales de la población (Klar, 2023; Martínez, 2023). Esa así como la inclusión de la comunidad y actores sociales en los procesos de planificación refuerza el sentido de pertenencia y la sostenibilidad a largo plazo de las políticas de movilidad. (Klar, 2023; Martínez, 2023).

En conclusión, se resalta el papel de los Planes de Movilidad Urbana Sostenible como herramientas clave para fomentar la movilidad activa y reducir la dependencia del automóvil particular. Estos planes no solo promueven modos de transporte más sostenibles, como caminar, el uso de bicicletas y la micromovilidad, sino que también permiten un mejor aprovechamiento del espacio público, contribuyendo a crear ciudades más saludables y seguras (Porto, 2024; Fernández, 2024). La movilidad urbana sostenible, entonces, no es solo un imperativo ecológico, sino también social, en la medida en que garantiza el acceso equitativo al transporte, reduciendo las brechas entre diferentes sectores de la población.

## **Capítulo 2 – Objetivos y metodología**

En este capítulo se presenta una descripción general del caso de estudio, que incluye la localización, características del área, uso del suelo y la infraestructura vial existente. A continuación, se aborda la caracterización del Tranvía de Ayacucho, analizando sus características técnicas, operación y su relación con la movilidad activa. Posteriormente, se establecen los objetivos de la investigación, tanto generales como específicos, seguidos de un desarrollo metodológico detallado que incluye el diseño de la investigación, la recopilación y procesamiento de datos, así como el análisis de variables. Finalmente, se exploran los impactos sociales de la movilidad y se proponen estrategias para fomentar la intermodalidad entre la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho. Este enfoque integral busca contribuir a una mejor comprensión de la movilidad urbana en Medellín y a la formulación de políticas que promuevan un sistema de transporte más eficiente y sostenible.

### **2. Datos generales caso de estudio**

Este proyecto de investigación se ubica en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación en la ciudad de Medellín. Se centra en uno de los puntos más importantes para la movilidad sostenible en entornos urbanos contemporáneos. En este contexto, se evidencia la coexistencia del transporte público masivo con la movilidad activa, que incluye caminar y andar en bicicleta. Además, se analiza cómo estas modalidades de transporte se entrelazan con la infraestructura del Tranvía, específicamente en el corredor vial de la calle 49 (Ayacucho) (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020).

A partir de este enfoque y basado en el estudio de urbanismo (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020). se pretende arrojar luz sobre los patrones de movilidad y la elección de transporte en un área definida, proporcionando entendimiento sobre la utilización del Tranvía y la movilidad activa. Además, se propone evaluar cómo la coexistencia de estos modos de transporte impacta la vida urbana, la convivencia social y la calidad de vida de los residentes.

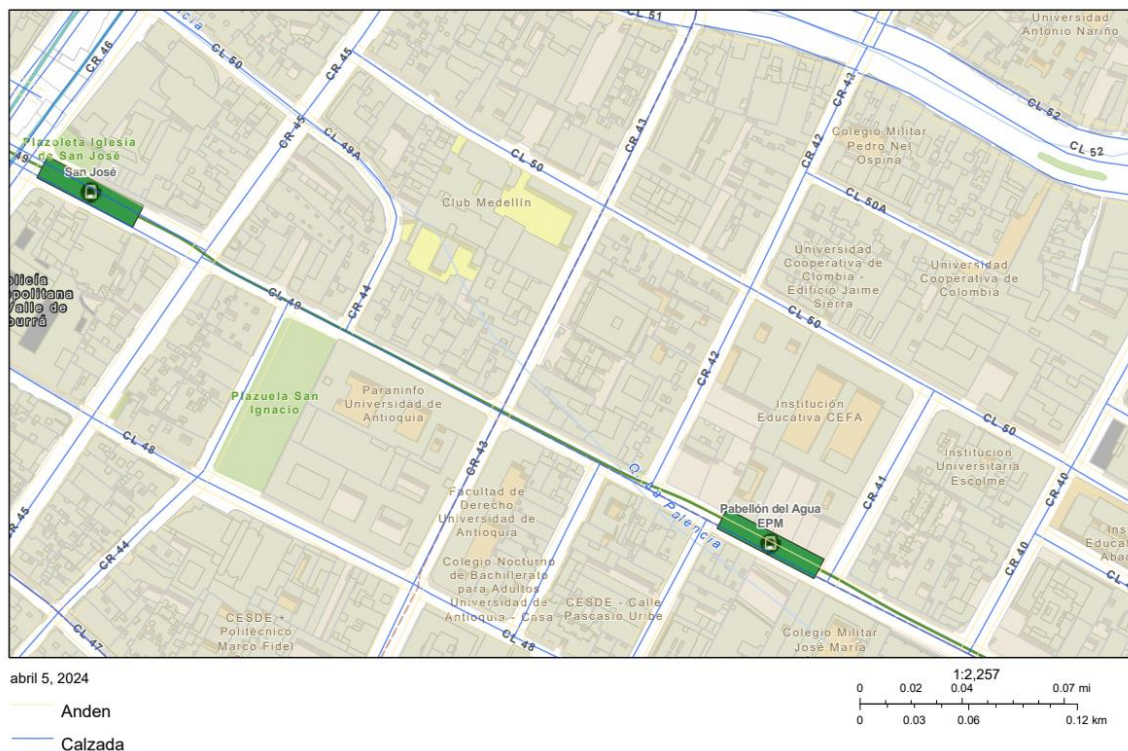
En el próximo apartado, se hablará del corredor del Tranvía de la Calle 49 en Medellín y datos relevantes como la localización, características y estadísticas de este corredor vial.

## **2.1 Localización del caso de estudio**

El caso de estudio se sitúa en el corazón del centro de Medellín, específicamente en el corredor del Tranvía de la Calle 49, comprendido entre las carreras 46 y 42. Esta área emblemática forma parte de la comuna 10, La Candelaria, una de las zonas más transitadas y dinámicas de la ciudad. La comuna 10 es reconocida por su rica historia, arquitectura distintiva y su papel crucial como epicentro cultural y comercial. El corredor del Tranvía de la Calle 49 se extiende a través de una travesía urbana que abarca diversas actividades comerciales, culturales y residenciales. Este tramo en particular se destaca por albergar una mezcla ecléctica de establecimientos, desde pequeños negocios locales hasta edificios de significativa importancia histórica. La presencia del Tranvía de Ayacucho en este corredor aporta una dimensión adicional a la movilidad en la zona, conectando de manera eficiente la parte norte y sur del centro de Medellín (Martínez, 2020).

La elección de este lugar como caso de estudio no solo responde a su relevancia geográfica y funcional, sino también a su condición como punto de convergencia de distintas formas de movilidad y actividades urbanas. La intersección entre la movilidad activa, representada por los desplazamientos a pie y en bicicleta, y el sistema de transporte público representado por el Tranvía, crea un entorno propicio para examinar la complejidad de la intermodalidad y su impacto en la vida cotidiana de los residentes y visitantes del área (Escobar, 2019). Así, la localización estratégica en el corredor del Tranvía de la Calle 49 entre las carreras 49 y 43 ofrece un escenario único para explorar las interacciones entre los diferentes modos de movilidad, comprender la dinámica social y urbana, y proponer estrategias que contribuyan a una movilidad más eficiente y sostenible en el corazón de Medellín (Martínez, 2020).

**Figura 4 – 2** Mapa zona de estudio



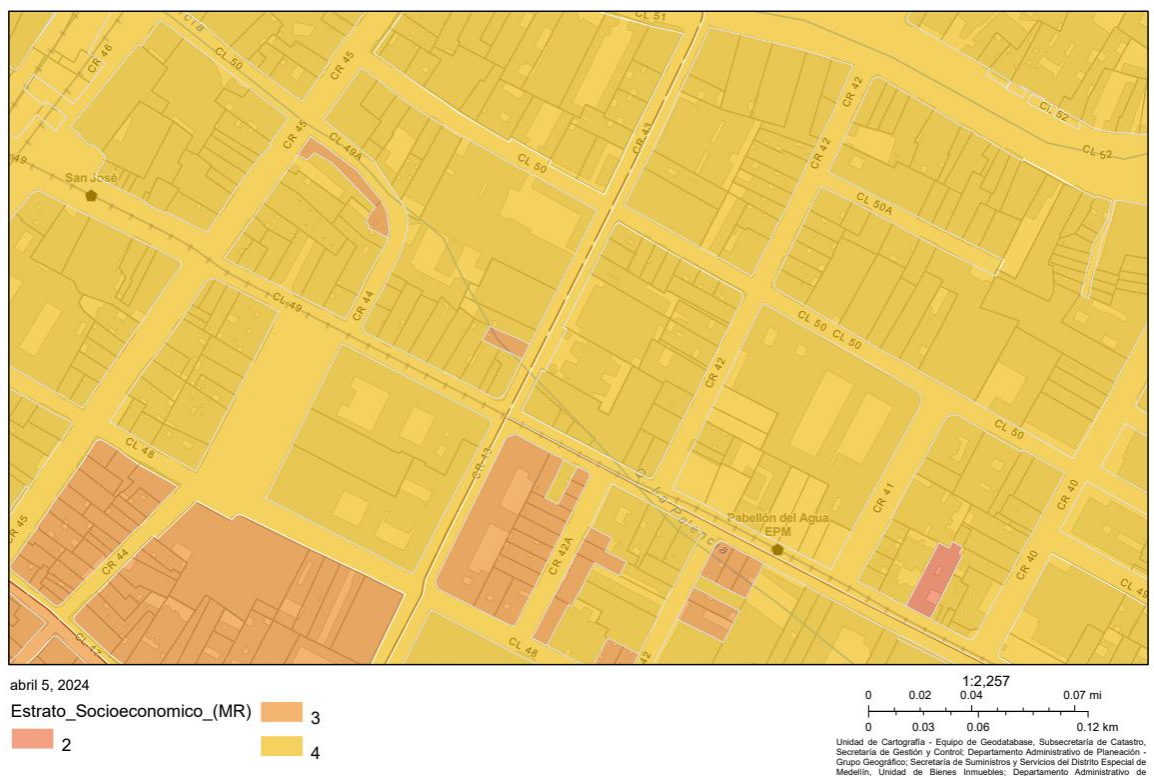
*Nota.* En la Figura basada en el acuerdo 048 del 2014 plan de ordenamiento territorial de Medellín, donde se muestra la zona del caso de estudio, en la calle 49 (Ayacucho) entre la estación del Tranvía San José y Pabellón del Agua, adicional se aprecian las zonas aferentes al caso de estudio. Tomado de [https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app\\_mapas\\_medellin.css](https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app_mapas_medellin.css).

### 2.1.1 Características del área de estudio

El análisis de las características del área de estudio en el corredor del Tranvía de la Calle 49, entre las carreras 46 y 42, destaca la importancia de este entorno urbano para la investigación en movilidad urbana. Al abordar estas características con cifras y datos concretos, se puede obtener una visión más precisa y fundamentada de la dinámica de este espacio clave en el centro de Medellín, así:

**Densidad poblacional:** Según datos del censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística en el 2018 más reciente, la zona del corredor del Tranvía de la Calle 49 alberga una densidad poblacional de aproximadamente 12.483,13 habitantes por el 0,1 kilómetro cuadrado del caso de estudio. Se presenta según datos un rango estimado para la comuna 10 de 52.628 entre 88.710 personas. Esta cifra refleja la alta concentración de personas que habitan y transitan por el área de estudio, lo que subraya un sitio de importancia y gestión en el contexto urbano denso y diverso (Medellin, Datos Abiertos, 2021).

**Figura 5 – 2** Mapa estrato socioeconómico

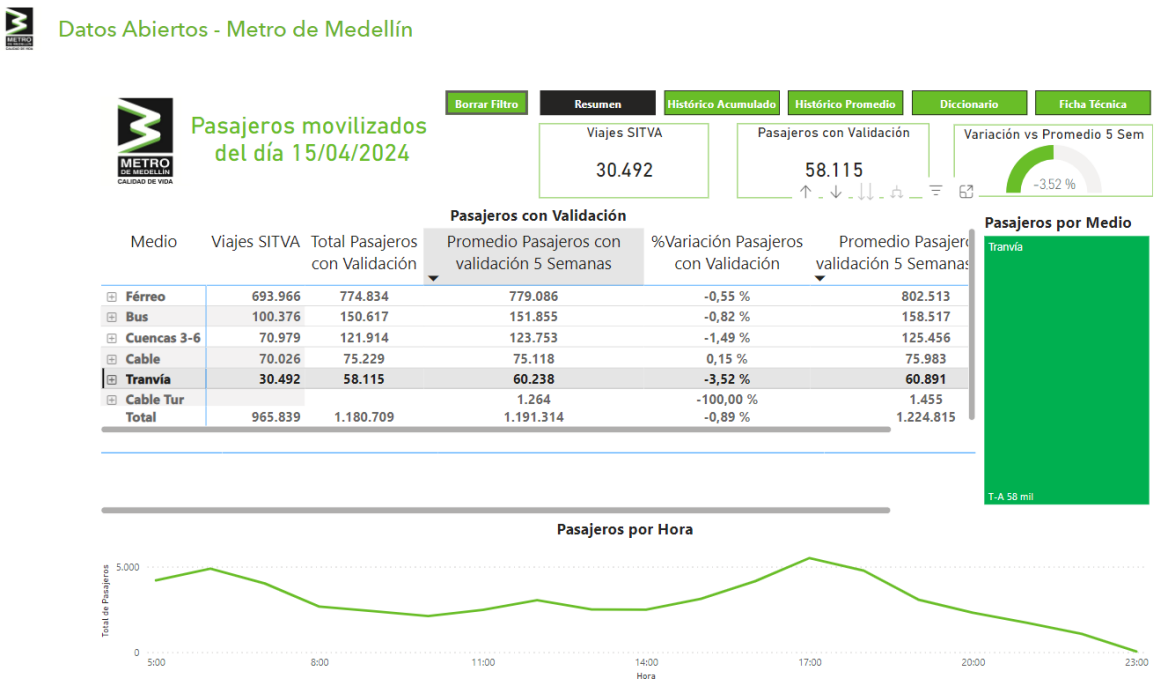


*Nota.* Basada en el Plan de ordenamiento territorial de 2014, ofrece una representación visual de los estratos socioeconómicos que se encuentran en la zona de estudio. Tomado de

[https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app\\_mapas\\_medellin.css](https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app_mapas_medellin.css).

**Flujo de usuarios del tranvía:** Durante un día laboral promedio, se estima que el Tranvía de Ayacucho, que atraviesa este corredor, transporta por año 2.255.494 pasajeros y 313 diarios entre las estaciones San José y Pabellón del Agua. Esta cifra muestra la relevancia del tranvía como un componente central del sistema de transporte público en la zona, así como la necesidad de garantizar su eficiencia y accesibilidad para satisfacer la demanda de movilidad de los usuarios. El anterior dato basado en los datos abiertos de Afluencia promedio del 2019 al 2023 del Metro de Medellín (Medellin, Datos Abiertos, 2021).

**Figura 6 – 2 Pasajeros movilizados día – datos abiertos Metro MED**



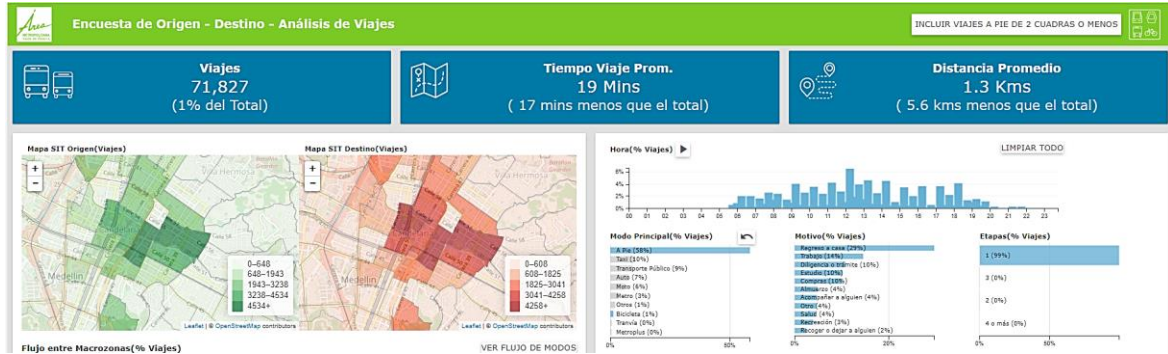
*Nota.* Se indica en la interfaz el total de viajes por la línea T del Tranvía con un total de 60.238 usuarios promedio día. Tomado de <https://datosabiertos-metrodemedellin.opendata.arcgis.com/>.

**Uso de bicicletas y movilidad activa:** Según registros de la Secretaría de Movilidad en sus datos abiertos de caracterización y uso de la bicicleta, se estima que aproximadamente 1251 personas utilizan la bicicleta en promedio para el año 2019, como dato más reciente; este medio de transporte en el corredor del Tranvía de la Calle 49 diariamente. Esta cifra resalta la importancia de considerar la movilidad activa como una parte integral del sistema de transporte en el área de estudio, así como la necesidad de proporcionar infraestructura



adecuada para fomentar y garantizar la seguridad de los biciusuarios (Medellin, Datos Abiertos, 2021).

**Figura 7 – 2** Datos movilidad activa – comuna 10 encuesta origen - destino 2022



*Nota.* Se programa la interfaz para arrojar los datos más relevantes de la movilidad activa donde se registran 71.827 viajes entre a pie y bicicleta, con el mayor pico a las 12 am. Tomado de <https://www.metropol.gov.co/observatorio/Paginas/encuestaorigendestino.aspx>.

**Índices de accidentes y seguridad vial:** Datos recopilados por la Secretaría de Movilidad de Medellín muestran que, en el histórico del 2008 al 2023, se han registrado un saldo de 7 incidentes accidentes de tránsito en el área de estudio, con 10 víctimas, de ellos involucrando a usuarios vulnerables como peatones y biciusuarios. Estos números subrayan un buen índice, sin embargo, se tiene la importancia de implementar medidas de seguridad vial y mejorar la infraestructura urbana para reducir los accidentes en la promoción de una movilidad sostenible (Medellin, Datos Abiertos, 2021).

**Figura 8 – 2** Accidentalidad vial biciusuarios – comuna 10



*Nota.* Se presenta el histórico de datos de la secretaria de Movilidad a través del Observatorio donde se resaltan los datos de seguridad vial con los biciusuarios, donde 7 incidentes, 10 víctimas en interacción con 7 diferentes modos o vehículos. Tomado de <https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-de-movilidad/observatorio-de-movilidad/tableros-del-observatorio-de-movilidad-de-medellin/>.

Basado en lo anterior, al integrar estos datos cuantitativos con las características cualitativas del área de estudio, se obtiene una imagen completa y matizada de la movilidad urbana en el corredor del Tranvía de la Calle 49, proporcionando así una base sólida para la investigación y el desarrollo de estrategias de mejora de la movilidad sostenible, el sitio de estudio también se distingue por una serie de características que lo convierten en un escenario clave para la investigación sobre la intermodalidad, así:

- **Diversidad urbana:** El corredor abarca una zona urbana diversa y multifacética, caracterizada por una mezcla de edificaciones históricas y modernas, comercios locales, instituciones culturales y espacios residenciales con una alta mixtura. Esta cohesión contribuye a la complejidad de las interacciones entre la movilidad activa y el Tranvía, reflejando la diversidad de actividades y usuarios en la zona.
- **Conectividad estratégica:** La ubicación estratégica del corredor entre las carreras 49 y 43 lo convierte en un punto de convergencia crucial para la movilidad en el



centro de Medellín. El Tranvía de Ayacucho, como elemento central de transporte público, conecta de manera eficiente distintas áreas del centro oriente de la ciudad a través de la Línea T con la A del Metro, facilitando la movilidad entre la parte norte y sur de la ciudad.

- **Historia y cultura:** La comuna 10, La Candelaria, donde se encuentra el corredor, es conocida por su importancia histórica y cultural a la ciudad. La presencia del paraninfo de la UdeA, la plazoleta San Ignacio, la universidad Bellas Artes y la calle la Pascasia imparten una identidad única al entorno, influyendo en los patrones de movilidad y en la percepción del espacio urbano.
- **Intermodalidad de modos de movilidad:** El corredor sirve como un espacio de encuentro entre la movilidad activa, representada por los desplazamientos a pie y en bicicleta, y el sistema de transporte público del Tranvía. Esta intermodalidad plantea desafíos y oportunidades para entender cómo estos modos de transporte coexisten, influyendo en la elección de los ciudadanos y en la configuración del entorno urbano, sin embargo, no existe integralidad entre el transporte público con la movilidad activa.

**Figura 9 – 2** Características generales de la zona de estudio



*Nota.* Basada en el Plan de ordenamiento territorial de 2014, ofrece una representación visual de la dinámica de este espacio clave en la zona de estudio. Tomado de [https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app\\_mapas\\_medellin.css](https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app_mapas_medellin.css).

### 2.1.2 Uso del suelo predominante

El análisis del uso predominante del suelo en el corredor del Tranvía de la Calle 49, en el centro de Medellín, revela la complejidad y la diversidad de actividades que coexisten en este espacio urbano clave. En consonancia con las directrices establecidas en el plan de ordenamiento territorial Acuerdo 048 de 2014, se observa una zonificación mixta que promueve la integración de actividades comerciales, residenciales e institucionales. Esta categorización permite una interacción dinámica entre diversos sectores de la sociedad, generando un entorno urbano multifuncional y vibrante (Gutiérrez, 2024).

Las áreas comerciales y de servicios ocupan un lugar destacado en el corredor, aprovechando su ubicación estratégica en el centro de la ciudad para ofrecer una amplia gama de opciones comerciales y de ocio. Establecimientos comerciales, restaurantes y negocios diversos contribuyen a la vitalidad y la actividad económica del área, atrayendo tanto a residentes como a visitantes (Gutiérrez, 2024).

La preservación del patrimonio histórico, impulsada por el plan de ordenamiento territorial, se refleja en la conservación y restauración de edificaciones con valor cultural, lo que enriquece la identidad arquitectónica única de la zona y fomenta el sentido de pertenencia de la comunidad (Gutiérrez, 2024).

Asimismo, la priorización de la movilidad sostenible y la accesibilidad se traduce en la presencia del Tranvía de Ayacucho, que facilita la conectividad eficiente entre distintas partes del centro de Medellín, promoviendo así un transporte público accesible y respetuoso con el medio ambiente. Junto con estas actividades comerciales e institucionales, el corredor también alberga áreas residenciales, que contribuyen a la creación de comunidades urbanas integradas y proporcionan a los residentes acceso conveniente a servicios y opciones de movilidad (Gutiérrez, 2024; Guzmán, 2023), por lo que se describe el corredor vial del Tranvía, así:

- **Zona mixta:** El plan de ordenamiento territorial designa la zona del corredor como mixta, evidenciando una combinación de actividades comerciales, residenciales e institucionales. Esta categoría permite una diversidad de usos del suelo que coexisten de manera integrada, generando un entorno urbano dinámico y multifuncional (Gutiérrez, 2024; Guzmán, 2023).
- **Áreas comerciales y de servicios:** Dada su ubicación en el centro de la ciudad, el corredor alberga áreas comerciales y de servicios vibrantes. Establecimientos comerciales, restaurantes, y negocios de diversa índole forman parte integral del tejido urbano, atrayendo tanto a residentes como a visitantes (Gutiérrez, 2024; Guzmán, 2023).
- **Preservación del patrimonio:** En concordancia con el interés en preservar el patrimonio histórico de la comuna 10, el plan de ordenamiento territorial establece medidas para la conservación y restauración de edificaciones con valor cultural.

Esto contribuye a la preservación del carácter arquitectónico único de la zona (Gutiérrez, 2024; Guzmán, 2023).

- **Movilidad y accesibilidad:** El plan de ordenamiento territorial prioriza la movilidad sostenible y la accesibilidad en zonas urbanas. La presencia del Tranvía de Ayacucho en el corredor refleja esta orientación, buscando facilitar la conexión eficiente entre distintas partes del centro de Medellín (Gutiérrez, 2024; Guzmán, 2023).
- **Zonas de uso residencial:** A pesar de su carácter mixto, el corredor también cuenta con áreas destinadas al uso residencial. Este componente contribuye a la creación de comunidades urbanas integradas, donde los residentes pueden acceder fácilmente a servicios y opciones de movilidad (Gutiérrez, 2024; Guzmán, 2023).

**Figura 10 – 2** Uso general del suelo – acuerdo 048 plan de ordenamiento territorial 2014 Medellín



*Nota.* Basada en el Plan de ordenamiento territorial de 2014, ofrece una representación visual de la diversidad y complejidad del uso del suelo en la zona de estudio, subrayando la importancia de abordar de manera integral la planificación urbana y la movilidad en entornos urbanos dinámicos como este. Tomado de [https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app\\_mapas\\_medellin.css](https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app_mapas_medellin.css).

### 2.1.3 Infraestructura vial existente

Para caracterizar el sitio de estudio ubicado en el corredor del Tranvía de la Calle 49 entre las carreras 46 y 42, específicamente entre las estaciones San José y Pabellón del Agua, en el centro de Medellín, se abordan diversos aspectos que destacan su relevancia en el contexto de la movilidad urbana. Este espacio urbano clave será analizado desde sus características físicas y funcionales, incluyendo su infraestructura vial existente, la intermodalidad de los sistemas de transporte público, la integración de la ciclovía y la dinámica de la demanda de movilidad (Wessel, 2019).

A través de este enfoque detallado, se busca comprender la complejidad y los desafíos inherentes a la gestión de la movilidad en un área central y transitada de la ciudad, proporcionando así un marco integral para la investigación sobre la interacción entre el espacio urbano y los sistemas de transporte (Wessel, 2019)

A continuación, se presentan las variables más importantes de la infraestructura vial del sitio de estudio:

- **Flujo de tránsito:** Según datos recopilados por la Secretaría de Movilidad de Medellín, se estima que el corredor del Tranvía de la Calle 49 registra una frecuencia de un viaje por hora por vagón del Tranvía, con picos de mayor densidad durante las horas pico de la mañana (6 a 8 am) y la tarde (5 a 7 pm). Entonces se entiende la demanda y la presión sobre la infraestructura vial existente (Medellin, Datos Abiertos, 2021).
- **Demanda de transporte público:** El Tranvía de Ayacucho, que atraviesa este corredor, ha experimentado un incremento notable en la demanda de usuarios desde su inauguración en 2016. Se estima que diariamente 8.500 pasajeros utilizan



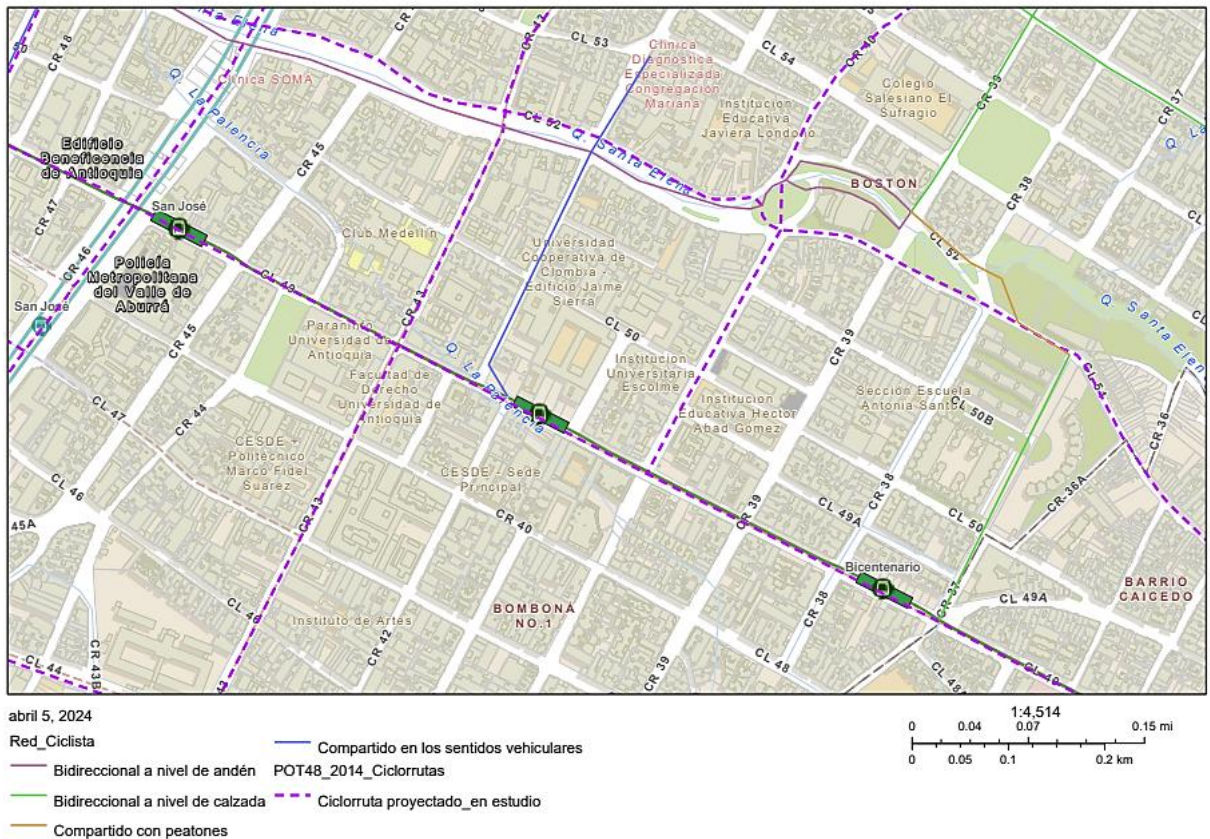
este medio de transporte para desplazarse o transitar entre las estaciones San José y Pabellón del Agua (Medellin, Datos Abiertos, 2021).

- **Uso de la ciclovía:** La cicloinfraestructura vial, como se observa en la Figura 7 – 2 basada en el acuerdo 048 del 2014 Plan de ordenamiento territorial de Medellín, es una parte integral del corredor del Tranvía de la Calle 49. Según datos proporcionados por la Secretaría de Infraestructura Física de la ciudad, se estima que 1.425 biciusuarios utilizan el corredor vial diariamente como medio de transporte activo y sostenible. Esta cifra refleja el 1% de viajes en el reparto modal en los motivos (Medellin, Datos Abiertos, 2021), (Area Metropolitana Valle de Aburrá, 2022).
- Al incorporar estos datos en el análisis de la infraestructura vial existente en el área de estudio, se puede comprender los patrones de movilidad urbana así como las necesidades latentes de los usuarios y se promueva una movilidad más sostenible y eficiente. Por lo tanto es importante también hacer un análisis cualitativo de las características de la infraestructura para complementar el análisis, así:
- **Carril exclusivo del tranvía:** El componente central de la infraestructura vial es el carril exclusivo del Tranvía de Ayacucho. Este carril, que se extiende por el centro del corredor, permite la circulación eficiente del tranvía, conectando puntos clave en el centro de Medellín y mejorando la movilidad en la zona (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020).
- **Carriles para vehículos y ciclovías:** A ambos lados del carril del tranvía, se disponen carriles para vehículos particulares y ciclovías. Esto promueve la coexistencia de diferentes modos de transporte, incentivando la movilidad activa y brindando opciones para la circulación segura de bicicletas y peatones (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020).
- **Espacios peatonales y zonas de descanso:** La infraestructura vial incluye también espacios destinados a los peatones, como aceras amplias y zonas de descanso. Estos elementos no solo fomentan la seguridad peatonal, sino que también contribuyen a la creación de un entorno urbano más amigable y propicio para la interacción social (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020).
- **Señalización y semáforos:** La presencia de una señalización clara y semáforos estratégicamente ubicados facilita la regulación del tráfico vehicular y peatonal.

Esto contribuye a la seguridad de los usuarios y a la eficiencia en la gestión del flujo de tránsito en el corredor (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020).

- **Estaciones y paraderos del tranvía:** La infraestructura vial se complementa con estaciones y paraderos del Tranvía de Ayacucho a lo largo del corredor. Estos puntos no solo sirven como lugares de abordaje y desembarque, sino también como elementos arquitectónicos que enriquecen la estética urbana (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020).
- **Integración con Redes de Transporte Público:** La infraestructura vial está diseñada para integrarse de manera eficiente con otras formas de transporte público, como estaciones de metro, paradas de buses y sistemas de bicicletas públicas. Esto promueve una movilidad intermodal y facilita la conexión con diferentes partes de la ciudad (Torres, 2019; Mejía, 2012; Martínez, 2020).

**Figura 11 – 2** Cicloinfraestructura vial – lugar de estudio



*Nota.* En la Figura basado en el acuerdo 048 del 2014 plan de ordenamiento territorial de Medellín, la Cicloinfraestructura vial entre la estación del Tranvía San José y Pabellón del Agua, adicional se aprecian las zonas aferentes al caso de estudio. Tomado de [https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app\\_mapas\\_medellin.css](https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app_mapas_medellin.css).

En el siguiente apartado se muestra cómo funciona el Tranvía, también definiciones y datos técnicos relevantes.

## **2.2 Caracterización del Tranvía de Ayacucho con los tramos de San José y Pabellón del Agua**

El Tranvía de Ayacucho, que comprende los tramos de San José y Pabellón del Agua, es una parte integral del sistema de transporte público en la ciudad de Medellín, Colombia. Este sistema de tranvía tiene como objetivo principal mejorar la movilidad en el área urbana, ofreciendo una alternativa de transporte eficiente, sostenible y accesible para los ciudadanos (Medellín, 2021).

### **2.2.1 Definición y características técnicas**

El Tranvía de Ayacucho es un sistema de transporte ligero que utiliza vehículos tranviarios eléctricos para desplazarse a lo largo de una vía dedicada. Conecta diversos puntos de la ciudad, incluyendo la estación San José y la estación Pabellón del Agua. Estos tramos están diseñados para operar de manera integrada con otros modos de transporte, como el metro y el sistema de autobuses, proporcionando una red de transporte público completa y eficiente (Medellín, 2021).

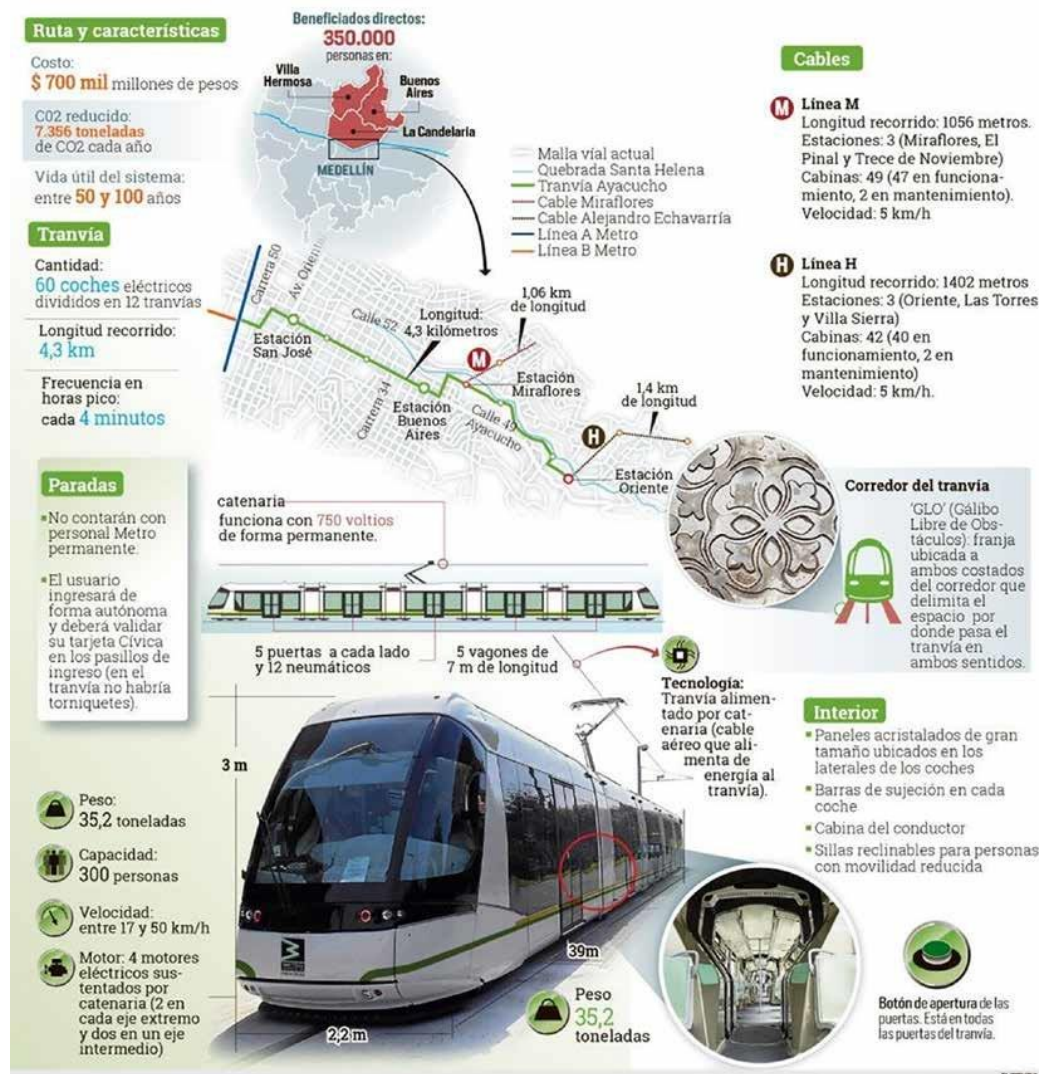
El tranvía opera con tecnología moderna y cuenta con características técnicas específicas para garantizar su funcionamiento óptimo:

- Los vehículos tranviarios del sistema Translohr, un innovador tranvía guiado por un solo carril construido por Lohr Industrie, son eléctricos y tienen una capacidad de hasta 300 usuarios por coche.



- La frecuencia mínima de operación durante las horas pico es de 4 minutos y 44 segundos, lo que garantiza un servicio regular y constante.
- La velocidad comercial del tranvía es de 16 kilómetros/hora, aunque puede alcanzar velocidades máximas de hasta 80 kilómetros/hora en tramos específicos.
- La distancia entre las estaciones San José y Pabellón del Agua es de 0,48 Kilómetros.
- El tiempo de recorrido entre las estaciones San José y Pabellón del Agua es de aproximadamente 0,18 minutos, lo que proporciona una opción rápida y eficiente para los usuarios.
- 

Figura 12 – 2 Características generales tranvía Ayacucho



*Nota.* En la imagen se evidencian las características generales del Tranvía de Ayacucho. Tomado de <https://www.eltiempo.com/multimedia/especiales/tranvia-en-medellin/16404053/1/index.html>.

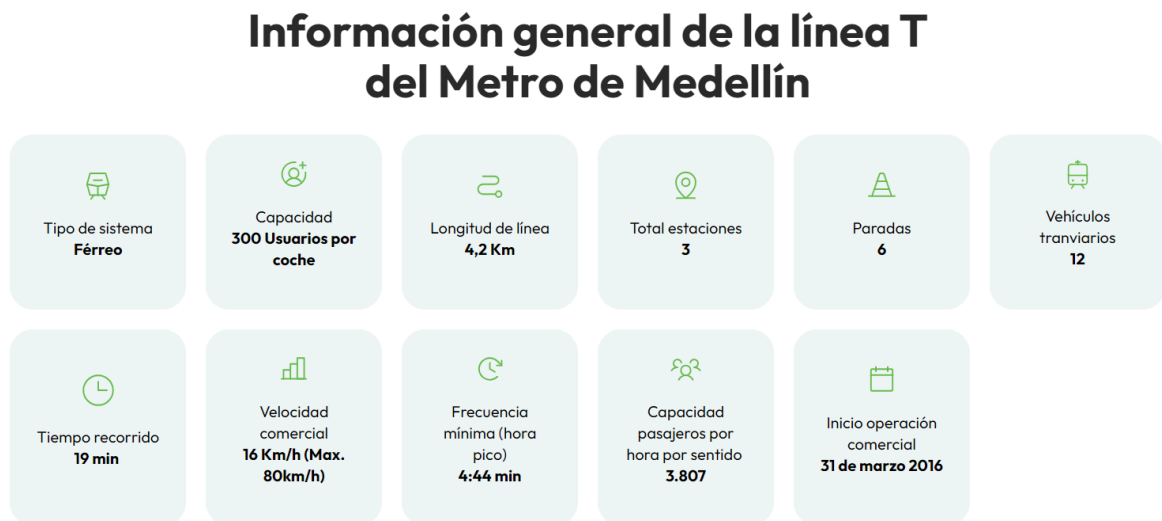
### **2.2.2 Operación de la línea T del Metro de Medellín**

La Línea T del Metro de Medellín, que incluye los tramos de San José y Pabellón del Agua del Tranvía de Ayacucho, es una parte vital del sistema de transporte público de la ciudad. La línea T opera de manera integrada con otras líneas del metro y con el tranvía, proporcionando una red de transporte público completa y eficiente para los ciudadanos (Medellín, 2021).

Algunas características técnicas y operativas relevantes de la Línea T del Metro de Medellín son:

- La línea T cuenta con estaciones modernas y accesibles que están diseñadas para facilitar el flujo de pasajeros y garantizar su comodidad y seguridad.
- El tiempo de espera entre trenes es mínimo, lo que garantiza una frecuencia de servicio óptima y reduce los tiempos de espera para los usuarios.
- El sistema de señalización y control de la línea T está diseñado para garantizar la seguridad y eficiencia operativa del metro y del tranvía.
- La integración tarifaria entre el metro y el tranvía permite a los usuarios realizar trasbordos entre ambos sistemas de manera fácil y conveniente, lo que fomenta el uso del transporte público y la movilidad sostenible en la ciudad.

**Figura 13 – 2** Información general línea T Metro



*Nota.* Se presenta los datos más relevantes de la operación del Tranvía de Ayacucho.  
Tomado de <https://www.metrodemedellin.gov.co/usuarios/sistema-integrado/linea-t>.

### 2.2.3 Relación con la movilidad activa

El Tranvía de Ayacucho, junto con la Línea T del Metro de Medellín, promueve la movilidad activa al proporcionar una alternativa de transporte público accesible que se integra con otros modos de transporte, como caminar y andar en bicicleta. Las estaciones del tranvía están diseñadas para ser accesibles, lo que facilita la intermodalidad fomentando un estilo de vida más activo y saludable para los ciudadanos (Medellín, 2021).

### 2.2.4 Consideraciones

El Tranvía de Ayacucho en su línea T, en los tramos de San José y Pabellón del Agua, constituye un componente fundamental del sistema de transporte público de la ciudad. Con características técnicas modernas y una operación integrada, estos sistemas de transporte ofrecen una opción eficiente, sostenible y accesible para los ciudadanos, contribuyendo así a mejorar la movilidad urbana y la calidad de vida en Medellín (Medellín, 2021).

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo General**

Caracterizar la intermodalidad en la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho, para mejorar la integración del sistema de transporte público en corredor vial de la calle 49 de la ciudad de Medellín, Colombia, contribuyendo a la movilidad urbana sostenible de este sector.

### **2.3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar la oferta y demanda de la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho.
- Analizar los impactos sociales de la intermodalidad en la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho.
- Proponer el diseño de estrategias para fomentar la intermodalidad en la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho, basadas en buenas prácticas internacionales, la participación ciudadana, la educación vial, infraestructura y señalización adecuadas.

El próximo apartado se abordará el desarrollo metodológico para el desarrollo de los objetivos específicos del caso de estudio.

## **2.4 Desarrollo metodológico de los objetivos del caso de estudio.**

### **2.4.1 Diseño de investigación**

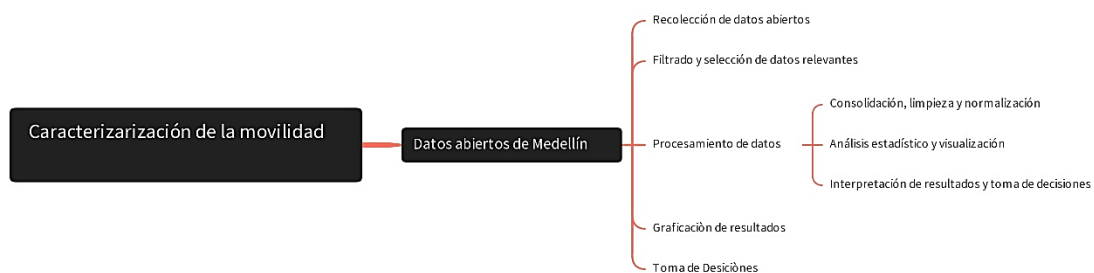
- Tipo de investigación: Es un enfoque cuantitativo para analizar datos obtenidos de encuestas y fuentes abiertas, con el uso de herramientas para el análisis y visualización de datos como Microsoft Power BI, Excel y Power Query.
- Enfoque: El estudio empleará un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una visión completa de la movilidad.

- Tipo de estudio: El estudio será descriptivo y correlacional, enfocándose en la caracterización y evaluación de la movilidad en el área de estudio.

### 2.4.2 Desarrollo metodológico para la Identificación de la oferta y demanda.

Para el presente apartado, se explica el desarrollo del objetivo específico “Identificar la oferta y demanda de la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho”. Es por lo que comprender los patrones de movilidad dentro de una ciudad como Medellín es crucial para la planificación urbana, la gestión del transporte, la evaluación de impactos ambientales y la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. La disponibilidad de datos abiertos por parte de las entidades gubernamentales ofrece una valiosa oportunidad para analizar estos patrones de manera detallada y basada en evidencia. Este diagrama de flujo se centra en cómo se pueden utilizar los datos abiertos específicos de Medellín para caracterizar su movilidad.

**Figura 14 – 2** Diagrama para la caracterización de la movilidad con la oferta y demanda de la movilidad



*Nota.* En la anterior figura, explica el proceso sistemático para utilizar los datos abiertos disponibles en Medellín con el fin de comprender y caracterizar los patrones de movilidad dentro de la ciudad. Este enfoque se basa en la recopilación, selección, procesamiento, análisis, visualización e interpretación de datos para finalmente informar la toma de decisiones relacionadas con la movilidad urbana.

A continuación, se detallan los pasos a seguir para su ejecución:

### 2.4.3 Recopilación de datos

- Utilizar fuentes de datos abiertas como el Geoportal del Municipio de Medellín, la Encuesta de satisfacción del transporte público, el Sistema de Bicicletas Públicas ENCICLA, el Estadístico Poblacional del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Datos abiertos Colombia, portal de datos abiertos del Metro de Medellín, entre otros.
- Obtener información sobre la cantidad de pasajeros que utilizan el tranvía diariamente, distribuida por estaciones y horarios, así como datos sobre la capacidad del tranvía, frecuencia de servicio, horarios de operación, características demográficas y socioeconómicas de los usuarios.

Para la recolección de datos, se trabajará con los sitios web institucionales:

- Geoportal Municipio de Medellín:  
[https://www.medellin.gov.co/MAPGISV5\\_WEB/mapa.jsp?aplicacion=0](https://www.medellin.gov.co/MAPGISV5_WEB/mapa.jsp?aplicacion=0)
- Encuesta de satisfacción del transporte público:  
<https://www.metropol.gov.co/observatorio/Paginas/encuestaorigendestino.aspx>
- Sistema de Bicicletas Públicas -ENCICLA:  
<https://encicla.metropol.gov.co/Paginas/Tableros.aspx>
- Estadístico Poblacional - Departamento Administrativo Nacional de Estadística:  
<https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/registro-estadistico-personas/>
- Datos abiertos Colombia: <https://www.datos.gov.co/>
- Metro de Medellín: <https://datosabiertos-metrodemedellin.opendata.arcgis.com/>

### 2.4.4 Procesamiento de datos

- Depurar y organizar los datos recopilados para eliminar duplicados, errores o inconsistencias.
- Agregar los datos relevantes en una base de datos estructurada que facilite su análisis posterior.
- Se utiliza la metodología de trabajo de a partir de una muestra del territorio de la comuna 10, en un polígono de estudio.

### **2.4.5 Análisis de variables**

- Analizar las variables relacionadas con la oferta y la demanda del servicio de tranvía, como el flujo de pasajeros, horarios pico, frecuencia de servicio, capacidad del tranvía, datos demográficos y socioeconómicos, infraestructura vial y datos de tráfico.
- Identificar tendencias y patrones en los datos que puedan ayudar a comprender el comportamiento de la movilidad en el sector.

### **2.4.6 Identificación de la oferta**

- Se evaluó la afluencia de pasajeros en cada modo de transporte, destacando el tranvía como el más utilizado, seguido por autobuses y bicicletas. Se consideraron porcentajes de uso en la Comuna 10 para entender la distribución del transporte.
- Se analizó la infraestructura existente que soporta cada modo de transporte, como paradas de autobús, carriles para bicicletas y estaciones de tranvía, para determinar su capacidad y efectividad.
- Se calculó el número de viajes que puede realizar cada tranvía en un período de tiempo determinado (por ejemplo, una hora) utilizando la frecuencia de servicio. Luego, se multiplicó la capacidad total del sistema por el número de viajes para obtener la oferta total del servicio de tranvía en ese período.

### **2.4.7 Identificación de la demanda**

- Se realizó un estudio de la población de la Comuna 10, observando el crecimiento proyectado de habitantes de 50,000 en 2010 a 100,000 en 2030. Este análisis demográfico es fundamental para anticipar la demanda futura de transporte.
- Se examinaron los patrones de uso del transporte en diferentes horarios, especialmente durante las horas pico de la mañana, para identificar momentos de alta demanda. Esto se llevó a cabo a través de encuestas, conteos manuales y datos de uso de transporte.
- Se consideraron las tendencias de crecimiento poblacional y el aumento de la demanda de movilidad para evaluar cómo la infraestructura actual podría verse afectada en el futuro.

## 2.4.8 Visualización de datos

- Graficar la oferta y demanda del servicio de tranvía en una visualización de coordenadas cartesianas para una comprensión clara.
- Identificar el punto de equilibrio donde la oferta y la demanda se intersecan.

Una vez recopilada y procesada la información, se procederá a analizar las siguientes variables y correlacionarlas para comprender el fenómeno de la movilidad en el sector. Se definen las siguientes variables de estudio:

- **Flujo de pasajeros:** Se obtendrá información sobre la cantidad de personas que utilizan el tranvía diariamente, desglosada por estaciones y horarios.
- **Horarios pico:** Se identificarán los momentos del día con mayor concentración de pasajeros para dimensionar la capacidad necesaria.
- **Frecuencia de servicio:** Se conocerá con qué frecuencia opera el tranvía, lo cual afecta directamente la oferta.
- **Capacidad del Tranvía:** Se sabrá cuántas personas puede transportar el tranvía en cada viaje, lo que es crucial para determinar la oferta.
- **Datos de demografía:** Se obtendrá información sobre la población circundante, cambios demográficos y patrones de movilidad para prever cambios en la demanda a largo plazo.
- **Infraestructura vial:** Se evaluará la infraestructura vial alrededor del tranvía para entender las limitaciones y oportunidades.
- **Datos de tráfico:** Se examinarán datos de tráfico, como congestiones y tiempos de viaje, para comprender cómo influyen en la oferta y demanda.

Además de los datos proporcionados y otros, para obtener los siguientes datos adicionales para la identificación de la oferta y demanda del Tranvía de Ayacucho en Medellín:

- **Demanda:**
  - Flujo de pasajeros por hora pico, distribución horaria de la demanda y demanda por estación.
  - Perfiles socioeconómicos de los usuarios y motivos de viaje.



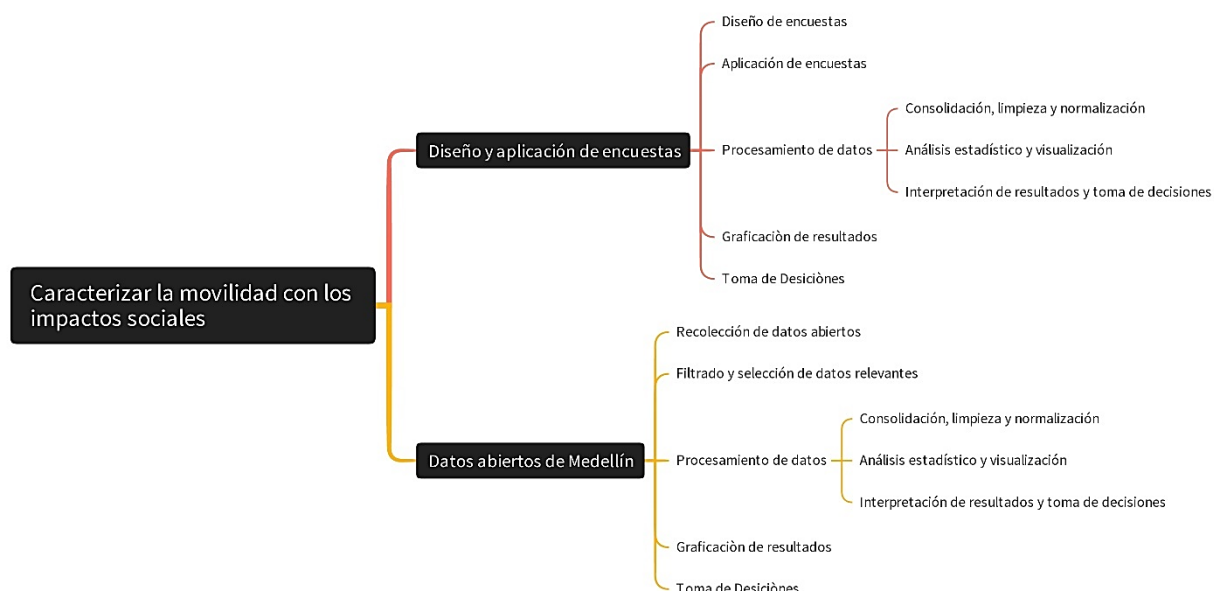
- **Oferta:**
  - Horario de operación, tiempo de espera, disponibilidad de vehículos y capacidad de estos.
  - Velocidad de operación, caracterización uso de la bicicleta.

Finalmente, relacionando la movilidad activa con el cálculo de la oferta y demanda, se puede analizar la intermodalidad y la integración con modos de transporte activo, así como el impacto del tranvía en el uso de la bicicleta y la caminata. Los datos disponibles en las bases de datos abiertas de la Secretaría de Movilidad proporcionan información adicional sobre accidentes, tiempos de viaje, cambios en la demanda durante eventos especiales y otros aspectos relevantes para entender el funcionamiento y la influencia del tranvía en la movilidad urbana de Medellín.

## **2.5 Desarrollo metodológico de los impactos sociales de la movilidad**

Para el presente apartado, se explica el desarrollo del objetivo específico “Analizar los impactos sociales de la intermodalidad en la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho” entendiendo cómo se mueve la gente en la comuna 10 de Medellín y cuáles son las consecuencias sociales de estos patrones de movilidad, en la siguiente figura se explica el proceso en el cual se desarrolla por medio de un diagrama el proceso de ejecución.

**Figura 15 – 2** Diagrama para la caracterización de la movilidad con los impactos sociales



*Nota.* El diagrama es una representación visual efectiva del proceso de la investigación utilizado para caracterizar la movilidad y sus impactos sociales en Medellín, describe el proceso secuencial para la toma de decisiones basada en datos, dividido en cinco etapas claras. Primero, la recolección de datos implica buscar y recopilar información relevante de diversas fuentes. Luego, en el procesamiento de datos, se limpian y organizan para eliminar errores y prepararlos para análisis. En la etapa de análisis de datos, se utilizan técnicas estadísticas y de minería para descubrir patrones y relaciones significativas. La visualización de datos sigue, representando los resultados de manera gráfica para facilitar la comprensión y comunicación. Finalmente, en la toma de decisiones, se emplean los resultados del análisis para guiar decisiones coherentes con los objetivos organizacionales. Este proceso asegura que las decisiones se basen en datos sólidos y sean efectivas para resolver problemas específicos.

### 2.5.1 Diseño y aplicación de encuestas

Se diseñarán encuestas para recopilar información sobre el perfil del encuestado, el modo de transporte utilizado, los motivos de viaje, la percepción de seguridad, y la satisfacción con los tiempos de desplazamiento. Para evaluar los impactos sociales de la

intermodalidad del corredor vial, se ha desarrollado un cuestionario que aborda las siguientes áreas:

A continuación, se presenta el cuestionario que se utilizara para medir el nivel de satisfacción de los usuarios del corredor vial:

1. Indique su género.
2. Indique su rango de edad.
3. Indique su etnia.
4. Indique su estrato socioeconómico.
5. Indique su grado de escolaridad.
6. Indique su municipio de residencia.
7. ¿Qué modo de transporte usa para desplazarse por el corredor vial del Tranvía de Ayacucho?
8. ¿Cuál es su motivo de viajes principales por el corredor vial del Tranvía de Ayacucho?
9. ¿Qué motivaciones tiene para utilizar la bicicleta o caminar para desplazarse por el corredor vial del Tranvía de Ayacucho?
10. ¿Cómo cree que son los tiempos de desplazamiento en el horario pico para los usuarios del tranvía y los que utilizan otros medios de transporte
11. ¿Según las siguientes variables cuál es su percepción de seguridad respecto al corredor vial del Tranvía cuando va caminando o en bicicleta?
12. ¿Cree usted que existe diferencia significativa en los tiempos de desplazamiento de los usuarios que usan el tranvía en comparación con aquellos que no lo hacen (usan la bicicleta o caminan)?
13. ¿Cuál es su nivel de satisfacción respecto a los tiempos de desplazamiento en bicicleta o a pie desde la puesta en servicio del Tranvía de Ayacucho?
14. ¿Considera que hay barreras u obstáculos en cuanto a la accesibilidad para combinar la movilidad activa (caminar o bicicleta) con el uso del tranvía?
15. ¿Cree usted que hay áreas o zonas del corredor vial han experimentado la mayor mejora en accesibilidad para peatones y biciusuarios con la implementación del tranvía?

16. ¿Como califica de 1 a 5 la gestión en seguridad vial en el corredor del tranvía respecto al número de accidentes de tránsito involucrando a peatones y biciusuarios desde la puesta en marcha del sistema de transporte público?
17. ¿Califique de 1 a 5, si considera que hay medidas de seguridad vial para la protección de peatones y biciusuarios en el corredor vial del tranvía?
18. ¿Cree que ha mejorado la accesibilidad a diferentes zonas de espacio público de la comuna 10 para peatones y biciusuarios con la puesta en marcha del tranvía de Ayacucho?
19. ¿Considere los aspectos como urbanismo, infraestructura y señalización vial respecto a la intervención ejecutada por el Metro de Medellín, la Secretaría de Movilidad y la Alcaldía de Medellín en el corredor vial del Tranvía de Ayacucho?
20. ¿Cuál es su valoración respecto a la interacción del Tranvía de Ayacucho en relación con la movilidad activa (caminar o bicicleta)?

Enlace acceso a la encuesta de movilidad: <https://forms.office.com/r/DaefdfSiQx>

**Figura 16 – 2** QR Encuesta Movilidad – evaluación impactos sociales Tranvía de Ayacucho



*Nota.* En la QR se ingresa a la encuesta de movilidad con fines académicos.

A continuación, se indica la metodología para el cálculo de la muestra representativa:

- a) **Metodología de muestra representativa:** La población objetivo son los residentes y usuarios frecuentes del corredor de Ayacucho, así como aquellos que podrían beneficiarse de la mejora de la movilidad en la zona.

- b) Determinar el tamaño de la muestra:** Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el tamaño de muestra requerido:

**Ecuación 1 – 2** Estimación de la muestra representativa para las encuestas

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

*Nota.* Ecuación para el cálculo de la muestra representativa de la para obtener resultados representativos de la población en el polígono comprendido entre las estaciones San José y Pabellón del Agua, con un nivel de confianza del 90% y un margen de error del 10%, donde:

- $n$  = tamaño de la muestra
- $Z$  = valor  $Z$  para el nivel de confianza deseado
- $p$  = proporción estimada de la población que utiliza el tranvía (puede ser aproximada al número de usuarios promedio dividido por la población total)
- $E$  = margen de error permitido (por ejemplo, 10% para una precisión del 90%)

- c) Seleccionar una muestra aleatoria:** Se utilizó una proporción estimada de la población para seleccionar participantes de la población objetivo. Esto implicó la obtención de registros de afluencia diaria de usuarios del tranvía proporcionado por el METRO de Medellín. Dato: La afluencia promedio de pasajeros diaria = 314 personas.

**Ecuación 2 – 2** Cálculo de la muestra con población infinita

$$n = \left( \frac{1,96^2 \times 0,5(1 - 0,5)}{0,10^2} \right)$$

Donde:

- $n$  = tamaño de la muestra
- $Z = 1,96$ .
- $P = 0,50$  personas a favor de diligenciar la encuesta.
- $E = 10\%$  para una precisión del 90%.

Entonces, se desarrolla la fórmula así:

$$n = \left( \frac{1,96^2 \times 0,50 (1 - 0,50)}{(0,10)^2} \right)$$

$$n = \left( \frac{3,8416 \times 0,25}{0,01} \right)$$

$$n = \left( \frac{0,9604}{0,01} \right)$$

$$n = 96,04$$

*Nota.* Por lo tanto, el tamaño de muestra aproximando las cifras decimales a enteros sería de 97 personas. Esto significa que necesitaríamos encuestar a alrededor de 97 personas para obtener resultados representativos de la población en el polígono comprendido entre las estaciones San José y Pabellón del Agua.

## 2.5.2 Datos abiertos Medellín

Se utilizarán datos de movilidad, demográficos, y socioeconómicos obtenidos de fuentes como el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Alcaldía de Medellín, y el Observatorio de Movilidad de la Secretaría de Movilidad de Medellín. Estas fuentes ofrecen datos cruciales para caracterizar el panorama actual de movilidad en la ciudad. Los tipos de datos obtenidos incluyen:

- Utilización del sistema de información geográfica (GIS) MapGis5.
- Datos accidentalidad vial del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Incidentes y accidentes viales del Observatorio de Secretaría de Movilidad de Medellín.

**a) Análisis de datos:** Para el análisis de datos en este estudio, se emplearán diversas técnicas tanto cuantitativas como cualitativas. Se utilizarán técnicas estadísticas como frecuencias, cruces y regresiones, empleando herramientas como Microsoft Excel y Power BI, para analizar los resultados de las encuestas y los datos abiertos. En el caso de utilizar datos cualitativos, se realizará un análisis de contenido para identificar patrones y temas emergentes. La combinación de datos cuantitativos y cualitativos proporcionará una comprensión integral de la movilidad y sus impactos.

La visualización de los resultados se llevará a cabo mediante gráficos y mapas creados con Power BI. Este enfoque permitirá una comprensión profunda del impacto del tranvía y la intermodalidad en la movilidad urbana de Medellín, facilitando la planificación de políticas y estrategias que promuevan una movilidad más eficiente, segura y satisfactoria para todos los ciudadanos, a partir de las variables de estudio así:

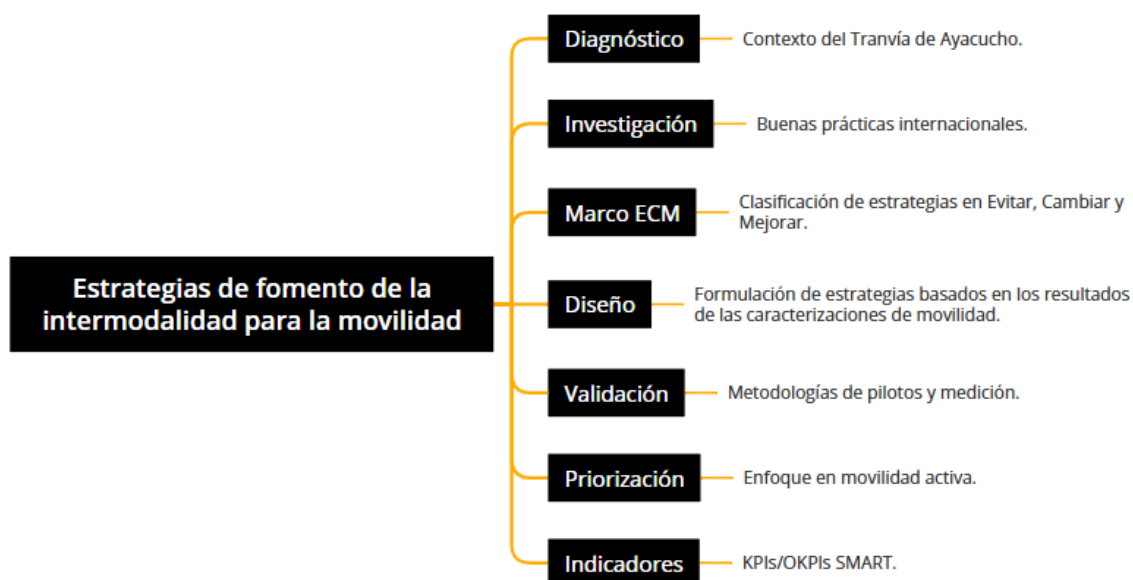
- **Accesibilidad e inclusión:** Se desarrollarán mapas de accesibilidad que muestran las áreas de fácil acceso desde las estaciones del tranvía, tanto a pie como en bicicleta. Esto ayudará a identificar las zonas que se benefician de la intermodalidad.
- **Seguridad vial:** Se recopilarán datos sobre accidentes e incidentes cercanos a las estaciones del tranvía, que serán geolocalizados para identificar áreas de riesgo. Se usarán mapas de calor y gráficos para diseñar estrategias de mejora en la seguridad vial.
- **Satisfacción de los usuarios:** Se realizarán encuestas para evaluar la percepción de los usuarios sobre la intermodalidad y el servicio del tranvía. El análisis estadístico de las respuestas permitirá identificar factores influyentes y diseñar estrategias de mejora.
- **Tiempos de desplazamiento:** Se recogerán datos sobre los tiempos de desplazamiento desde y hacia las estaciones del tranvía mediante encuestas y registros de tarjetas de transporte. Se calcularán estadísticas descriptivas para evaluar la eficiencia de los desplazamientos. Los resultados se presentarán mediante tablas, gráficos y mapas para facilitar su interpretación y comprensión en Power BI.

## 2.6 Desarrollo metodológico de las estrategias para fomentar la intermodalidad de la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho

La metodología presentada a continuación, se desarrollada para desarrollar el objetivo específico “Proponer el diseño de estrategias para fomentar la intermodalidad en la

movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho, basadas en buenas prácticas internacionales, la participación ciudadana, la educación vial, infraestructura y señalización adecuadas” En ese entendido, se da un enfoque sistemático e integrador, alineado con el objetivo de promover una movilidad urbana sostenible en Medellín. Este proceso combina el marco tripartito "Evitar, Cambiar, Mejorar" (ECM), adoptado por el parlamento alemán en 1994 y revisado por Stull (2023), con los principios SMART para garantizar resultados específicos, medibles y alcanzables. Se basa en buenas prácticas internacionales, la participación ciudadana, la educación vial, y el desarrollo de infraestructura y señalización adecuadas, adaptadas al contexto local y normativo de las Leyes 105 de 1993 y 336 de 1996 de Colombia. A través de secuenciales —desde el diagnóstico contextual hasta la definición de indicadores de seguimiento—, esta metodología prioriza la seguridad y el uso de modos activos (peatones y biciusuarios), integrando evidencia académica, experiencias globales y necesidades específicas del corredor Ayacucho, con el fin de optimizar la intermodalidad y la calidad de vida urbana. En la siguiente figura se explica la metodología:

**Figura 17 – 2** Diagrama para proponer las estrategias de fomento de la intermodalidad para la movilidad.



*Nota.* El diagrama es una representación visual donde se ve el proceso estructurado para desarrollar estrategias que promuevan la intermodalidad en la movilidad, comenzando con



un diagnóstico y una investigación, pasando por el diseño y la validación de estrategias, hasta la priorización y el establecimiento de indicadores para medir el éxito. Se menciona específicamente el contexto del Tranvía de Ayacucho y el enfoque en la movilidad activa. El Marco ECM (Evitar, Cambiar y Mejorar) se utiliza para clasificar las estrategias, y se enfatiza la importancia de indicadores SMART (Específicos, Medibles, Alcanzables, Relevantes y de Plazo Definido).

Entendiendo el proceso secuencial anterior, se da la explicación paso a paso de cada ítem de la metodología, así:

### **Paso 1: Diagnóstico y contextualización**

Analizar el contexto actual del Tranvía de Ayacucho y su relación con la movilidad activa en Medellín, identificando fortalezas (integración con SITVA, espacio público renovado) y debilidades (seguridad peatonal, conectividad ciclista limitada).

**Acciones:** Revisión de normativa colombiana (Leyes 105 de 1993 y 336 de 1996) para establecer el marco legal de intermodalidad y sostenibilidad.

Análisis de datos del Metro de Medellín y Área Metropolitana del Valle de Aburrá sobre uso del tranvía y modos activos.

### **Paso 2: Investigación de buenas prácticas internacionales**

Identificar y adaptar estrategias exitosas de movilidad activa e intermodalidad aplicadas globalmente, priorizando casos relevantes para Medellín.

**Acciones:** Revisión de literatura académica y estudios de caso asociados al caso de estudio como marco teórico para dar una aproximación y contexto.

### **Paso 3: Integración del marco ECM**

Clasificar las estrategias propuestas en las categorías "Evitar" (reducir viajes innecesarios), "Cambiar" (promover modos activos) y "Mejorar" (optimizar infraestructura y servicios).

**Acciones:** Mapeo inicial de estrategias según su impacto en la movilidad activa e intermodalidad basado en los resultados de las caracterizaciones de movilidad de los objetivos específicos.

#### **Paso 4: Diseño de estrategias específicas**

Formular estrategias detalladas que integren buenas prácticas, participación ciudadana, educación vial, infraestructura y señalización, adaptadas al Tranvía de Ayacucho.

**Acciones:** Incorporando las necesidades identificadas en el diagnóstico (seguridad, conectividad y accesibilidad), se establecieron dichas necesidades en las categorías de Evitar, Cambiar y Mejorar.

#### **Paso 5: Validación de estrategias**

Establecer metodologías de validación para cada estrategia, asegurando su viabilidad y efectividad mediante pilotos y mediciones.

**Acciones:** Soportar mediante estudios previos relevantes que justifican cada estrategia, donde su viabilidad y efectividad en el contexto del Tranvía de Ayacucho puedan ser verificadas.

#### **Paso 6: Priorización de estrategias**

Priorizar las estrategias según su impacto en la movilidad activa, sostenibilidad y seguridad, utilizando el marco ECM y el enfoque de Stull (2023).

**Acciones:** Asignación de niveles de prioridad (Alta, Media, Baja) según criterios: impacto directo en peatones/biciusuarios, inmediatez y alineación con ECM.

#### **Paso 7: Definición de indicadores y objetivos (SMART)**

Diseñar KPIs y OKPIs para las estrategias de alta prioridad, asegurando seguimiento cuantitativo y temporal.

**Acciones:** Aplicación del marco SMART: KPIs específicos (porcentajes de uso, reducción de tiempos), medibles (sensores, conteos), alcanzables (basados en estudios), relevantes (movilidad activa) y con tiempo definido (3-6 meses).

En el siguiente capítulo, se muestra la visualización, interpretación y resultados de la metodología aplicada para el desarrollo de la identificación de la oferta y demanda para la caracterización de la movilidad en el corredor vial del tranvía.

## **Capítulo 3 – Oferta y demanda para la caracterización de la movilidad.**

Para la movilidad urbana, es vital el flujo eficiente de vehículos y usuarios en las vías como un aspecto crucial que define la calidad de vida en las ciudades modernas. Este capítulo se adentra en la dinámica entre oferta y demanda, pilares fundamentales en la gestión del tráfico, cuyo equilibrio determina la fluidez o congestión de las arterias urbanas. El término "oferta" se adscribe a la capacidad de la infraestructura vial para manejar el flujo vehicular de manera eficiente (Pérez, 2023; Bernal, 2019). Desde el número de carriles hasta la calidad de la carretera y la efectividad de los semáforos, cada elemento contribuye a esta medida. En contraposición, la "demanda" representa la cantidad de vehículos y usuarios que buscan utilizar la vía en un momento específico, una variable dinámica que fluctúa con el tiempo y las condiciones urbanas (Pérez, 2023; Bernal, 2019).

El balance entre oferta y demanda emerge como un imperativo en la gestión del tráfico, siendo la clave para prevenir congestionamientos y optimizar la movilidad urbana. Este enfoque integral, que considera tanto la capacidad de la vía como las necesidades de los usuarios, resulta fundamental en la planificación y ejecución de estrategias eficaces. El cálculo preciso de oferta y demanda implica un análisis detallado de diversos factores que influyen en el flujo vehicular (Falaki, 2021). Desde los horarios de mayor afluencia hasta la calidad de la infraestructura vial, cada variable aporta a esta compleja ecuación (Klar, 2023). La utilización de datos actualizados, encuestas y un estudio minucioso de los patrones de movilidad son herramientas indispensables para obtener estimaciones precisas.

En el siguiente apartado se centrará en el análisis de la oferta y demanda de movilidad en el sector del Tranvía de Ayacucho. Este análisis es crucial para comprender cómo se distribuyen y utilizan los recursos de transporte en la zona, y cómo se ajustan a las necesidades de los usuarios.

### 3. Resultados de la caracterización de la movilidad y el cálculo de la oferta y demanda.

El presente análisis tiene como objetivo caracterizar la movilidad urbana en la Comuna 10 de Medellín, Colombia, con especial énfasis en el corredor vial del tranvía de Ayacucho en la calle 49, entre las estaciones San José y Pabellón del Agua. Se utilizaron los datos de movilidad disponibles para calcular la oferta y demanda de movilidad, con el fin de comprender el fenómeno en su conjunto.

Se analizaron, transformaron y ajustaron los siguientes datos abiertos de movilidad:

- Número de viajes por modo de transporte (automóvil, motocicleta, autobús, bicicleta y viaje a pie).
- Afluencia de pasajeros en la Línea T del Metro de Medellín.
- Uso de bicicletas por género y edad.
- Longitud de la red de ciclovías en la zona de influencia.
- Proyección poblacional entre 2018 y 2030.

Todas las bases de datos fueron obtenidas de fuentes abiertas, como se indicó en el apartado **2.4.3 Recopilación de datos**.

#### 3.1.1 Oferta de movilidad

La oferta de movilidad en el corredor vial del tranvía de Ayacucho está compuesta por los siguientes modos de transporte:

- **Tranvía:** El tranvía es uno de los principales medios de transporte del corredor, con una afluencia anual de **2.255.494 usuarios** en la Línea T del Metro en 2023. La mayor concentración de usuarios se presenta entre las **7:00 a.m. y las 8:00 a.m.**, con aproximadamente **49.752 pasajeros** en ese rango horario.

- **A pie:** El modo de transporte más frecuente según la Encuesta Origen-Destino (2017) en la Comuna 10 es el desplazamiento a pie, representando el **72,24%** de los viajes.
- **Autobús / Buseta / Bus urbano:** El **12,02%** de los viajes se realiza mediante transporte público colectivo, lo que confirma la importancia del autobús en la movilidad del sector.
- **Bicicleta:** El uso de la bicicleta representa el **2,76%** de los viajes, y existe una red ciclista de **19,12 kilómetros** en el área de influencia.
- **Motocicleta:** El **5,11%** de los viajes se realiza en motocicleta.
- **Automóvil:** El **7,06%** de los viajes corresponde al automóvil particular.

### 3.1.2 Demanda de movilidad

La demanda de movilidad en el corredor vial del tranvía de Ayacucho es alta, especialmente en el horario de la mañana. El análisis de afluencia horaria muestra un pico de demanda entre las 6:00 a.m. y 9:00 a.m., y otro importante entre las 5:00 p.m. y 7:00 p.m., asociado a los flujos de ingreso y salida laboral.

En cuanto a la dinámica poblacional, la comparación de la proyección de población entre 2018 y 2030 muestra un crecimiento esperado, pasando de aproximadamente 76.000 habitantes en 2018 a cerca de 82.000 habitantes en 2024, con una tendencia que podría alcanzar los 80.000 a 85.000 habitantes en 2030. Este crecimiento implicará una presión adicional sobre la infraestructura de transporte del corredor.

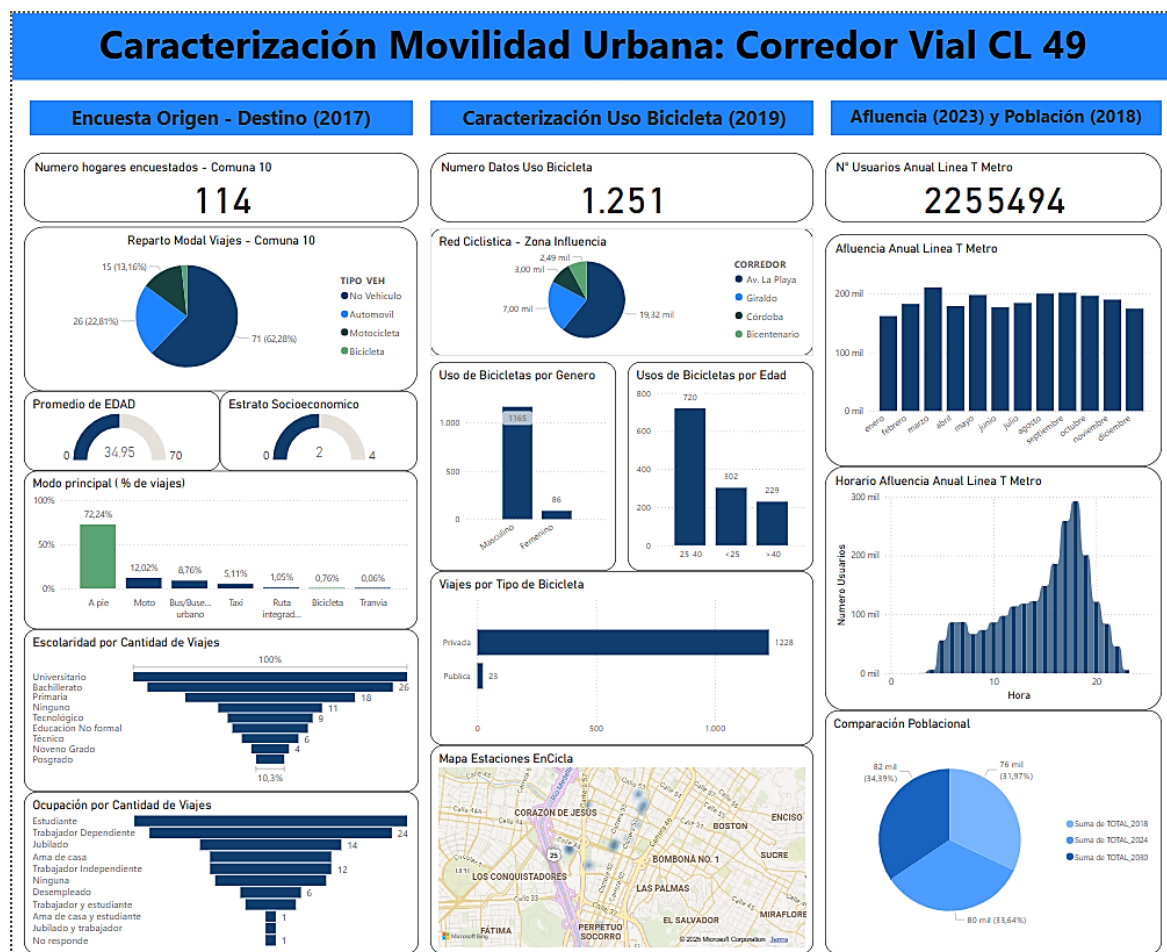
### 3.1.3 Caracterización de la movilidad urbana

La movilidad urbana en el corredor vial del tranvía de Ayacucho se caracteriza por los siguientes aspectos:

La movilidad urbana en el corredor vial del tranvía de Ayacucho se caracteriza por los siguientes aspectos:

- **Predominio del transporte activo y público:** Predomina el desplazamiento a pie, que representa el **72,24%** de los viajes en la Comuna 10, evidenciando una alta proporción de viajes cortos o de proximidad. Le siguen el transporte público (tranvía y autobús).
- **Alta afluencia de pasajeros en las horas pico:** La afluencia de pasajeros en el tranvía es mayor en las horas de la mañana, especialmente de **7:00 a 8:00 a.m.**, reflejando los patrones de viaje de trabajo y estudio.
- **Importancia de la movilidad peatonal:** La movilidad a pie es fundamental en el corredor, lo que subraya la necesidad de infraestructura segura y accesible para peatones, como andenes amplios, cruces seguros y señalización adecuada.
- **Infraestructura biciusuario en expansión:** La red de ciclovías alcanza los **19,12 kilómetros** en el área de influencia, aunque el uso de la bicicleta como medio de transporte aún es minoritario (2,76% de los viajes).
- **Baja incidencia de incidentes viales:** Aunque en esta sección no se presentan datos explícitos de incidentes, la consolidación de modos activos y el diseño vial favorecen condiciones seguras para los usuarios vulnerables como peatones y ciclistas.
- **Población en crecimiento:** La proyección poblacional indica un aumento progresivo de habitantes, lo que sugiere la necesidad de fortalecer y diversificar las opciones de movilidad sostenible, priorizando modos activos y públicos.

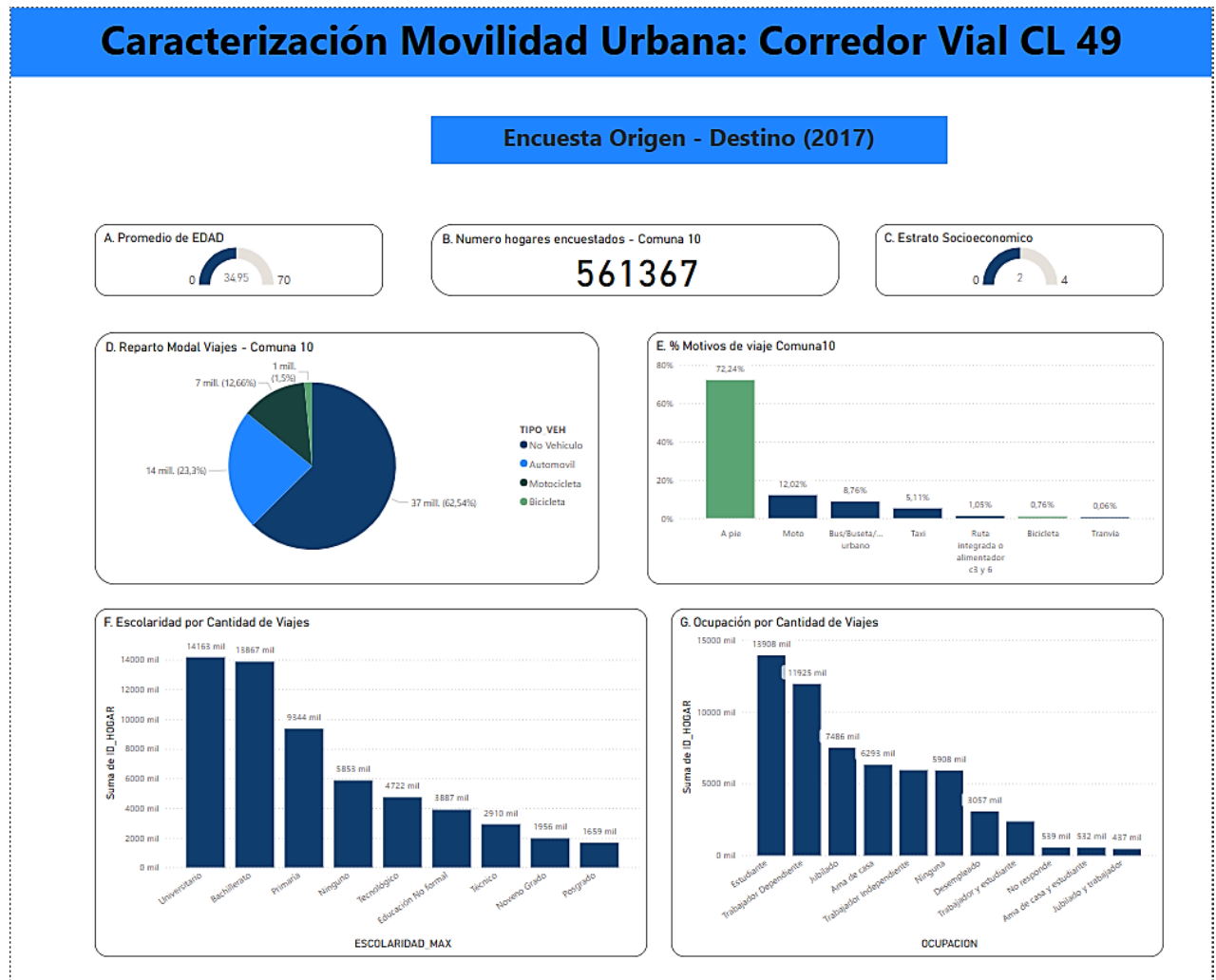
**Figura 18 – 3** Resultados generales de la graficación Power Bi – oferta y demanda de la movilidad



**Nota.** Los anteriores datos graficados a través de Power Bi de movilidad en la Comuna 10 de Medellín para el corredor vial de Ayacucho, indican una movilidad urbana multimodal e intensiva, con una alta demanda de transporte público y una creciente demanda de movilidad activa.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos anteriormente y se interpretan por subgrupos para caracterizar la movilidad urbana en corredor vial de Ayacucho de la ciudad de Medellín. Los subgrupos se definen en función de una serie de variables, como el modo de transporte, la edad, el sexo y la hora del día. A continuación, se exponen cada uno para su interpretación:

**Figura 19 – 3 Resultados 1: encuesta origen – destino 2017**



*Nota.* La Figura indica en subgrupo de datos recopilados sobre motivos de viaje, numero de viajes, promedio de edad, estrato socioeconómico, sexo y reparto modal. Para entender cómo se movilizan las personas en el corredor vial del tranvía.

### Interpretación de los resultados

#### Figura 19 – 3 A: Promedio de edad

- La edad promedio de los encuestados en la Comuna 10 es de 35 años, con un rango de edad que va desde los 0 hasta los 70 años.
- Esta información sugiere una población en una edad productiva plena en la Comuna 10, con una representación significativa de adultos en edad laboral.



**Figura 19 – 3 B: Número de hogares encuestados - Comuna 10**

- La encuesta abarcó 561.367 hogares en la Comuna 10 de Medellín, garantizando un nivel de representatividad adecuado para inferir patrones de movilidad en esta área central de la ciudad.

**Figura 19 – 3 C: Estrato socioeconómico**

- Se observa que la mayoría de los hogares pertenecen a los estratos 2 y 4, lo que indica una representación significativa de la clase media en la Comuna 10.
- Esta diversidad socioeconómica incide directamente en los modos de transporte utilizados, ya que las personas de estratos más bajos tienden a depender más de la movilidad activa y el transporte público.

**Figura 19 – 3 D: Reparto modal viajes - comuna 10**

- El 62,54% de los viajes se realiza sin vehículo motorizado (a pie), mientras que el 23,1% es en automóvil y el 12,66% en motocicleta.
- El bajo porcentaje de viajes en bicicleta (1,59%) sugiere un potencial aún no aprovechado para el fortalecimiento de la movilidad activa en bicicleta.

**Figura 19 – 3 E: % Motivos de viaje comuna 10**

- El 72,24% de los viajes se realiza a pie, consolidándose como el principal modo de desplazamiento en la Comuna 10.
- La fuerte dependencia de la caminata revela la importancia de mantener y mejorar las condiciones de infraestructura peatonal, como andenes seguros, cruces protegidos y zonas de tráfico calmado.

**Figura 19 – 3 F: Escolaridad por cantidad de viajes**

- Las personas con educación universitaria y bachillerato concentran la mayor cantidad de viajes. Esto muestra que los viajes en el área están altamente vinculados a actividades de formación académica y profesionalización.

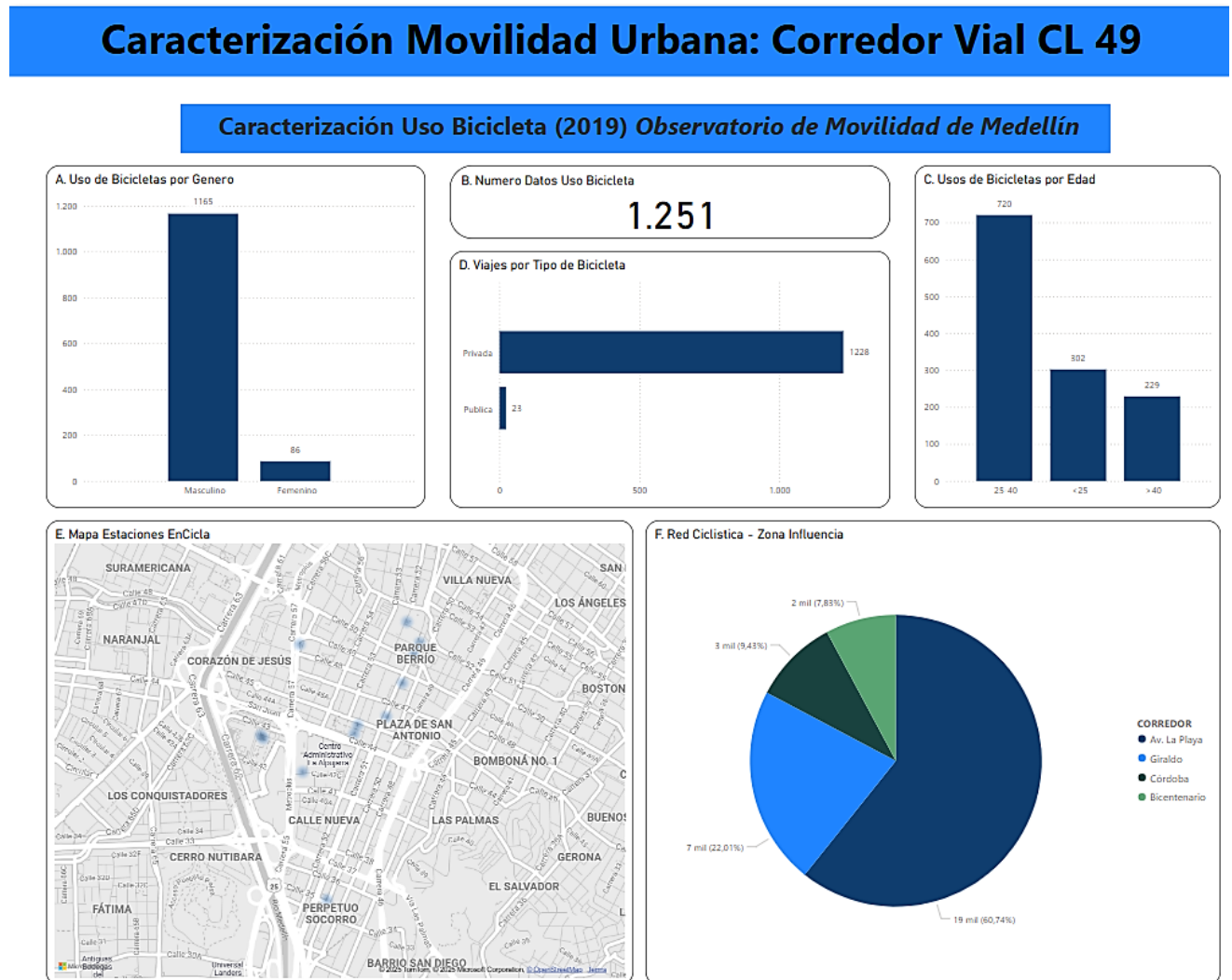
**Figura 19 – 3 G: Ocupación por cantidad de viajes**

- Los estudiantes (27%) y los trabajadores dependientes (24%) son los grupos más móviles. Esto se debe a las necesidades diarias de transporte relacionadas con la educación y el trabajo.
- Otros grupos, como los desempleados y los trabajadores independientes, tienen una menor participación en la movilidad. Esto concuerda con los resultados de la Figura F, ya que los estudiantes y trabajadores dependientes son los que generalmente tienen mayor necesidad de desplazarse por motivos de estudio y trabajo.

Los resultados muestran que la movilidad en el corredor del tranvía de Ayacucho es fundamentalmente activa y sostenible, dada la alta proporción de viajes a pie.

Asimismo, existe una correlación importante entre el nivel educativo, el motivo de viaje y la ocupación laboral, lo que indica que las estrategias de movilidad deben enfocarse en fortalecer la infraestructura peatonal, mejorar la accesibilidad al transporte público y fomentar modos activos como la bicicleta. Además, el perfil socioeconómico diverso implica que cualquier política de movilidad implementada debe tener en cuenta criterios de equidad y accesibilidad universal, para garantizar que las oportunidades de desplazamiento sean inclusivas para toda la población.

Figura 20 – 3 Resultados 2: Caracterización uso de la bicicleta



*Nota.* La Figura indica en subgrupo de datos recopilados sobre la caracterización del uso de la bicicleta para entender cómo se movilizan las personas en el corredor vial del tranvía.

### Interpretación de los resultados

Figura 20 – 3 A. Uso de bicicletas por género

- Se evidencia una marcada brecha de género en el uso de la bicicleta: 1.165 usuarios son hombres frente a 86 mujeres.

- Esta diferencia destaca la necesidad de implementar estrategias específicas que fomenten el uso de la bicicleta entre las mujeres, como mejorar la seguridad vial, ofrecer campañas de sensibilización y adaptar la infraestructura para su inclusión.

#### **Figura 20 – 3 B. Número de datos de uso de bicicletas**

- Se indica con 1251 datos recolectados sobre la cantidad total de viajes realizados en bicicleta durante el periodo de estudio (2019).

#### **Figura 20 – 3 C. Usos de bicicletas por edad**

- La mayor proporción de usuarios pertenece al rango de edad entre 25 y 40 años (720 usuarios), seguido por los menores de 25 años (302 usuarios) y los mayores de 40 años (229 usuarios).
- Este comportamiento indica que la bicicleta es un medio de transporte preferido por la población joven y adulta, siendo crucial diseñar infraestructura y programas que atiendan sus necesidades específicas.

#### **Figura 20 – 3 D. Viajes por tipo de bicicleta**

- El 98% de los viajes se realizan en bicicletas privadas (1.228 viajes), mientras que apenas el 2% corresponde a bicicletas del sistema público EnCicla (23 viajes).
- Esto sugiere que la infraestructura pública disponible aún es insuficiente o poco utilizada en esta zona, lo que podría mejorarse con más estaciones, mejores conexiones y estrategias de incentivo.

#### **Figura 20 – 3 E. Mapa de calor de estaciones EnCicla**

- El mapa muestra que las zonas de mayor concentración de estaciones EnCicla se ubican en el centro de la ciudad, particularmente en sectores como La Candelaria.
- Sin embargo, el corredor del Tranvía de Ayacucho carece de estaciones cercanas, lo que limita la intermodalidad bicicleta-tranvía.
- Esta ausencia representa una oportunidad prioritaria para la expansión del sistema EnCicla y el fortalecimiento de la conectividad intermodal.

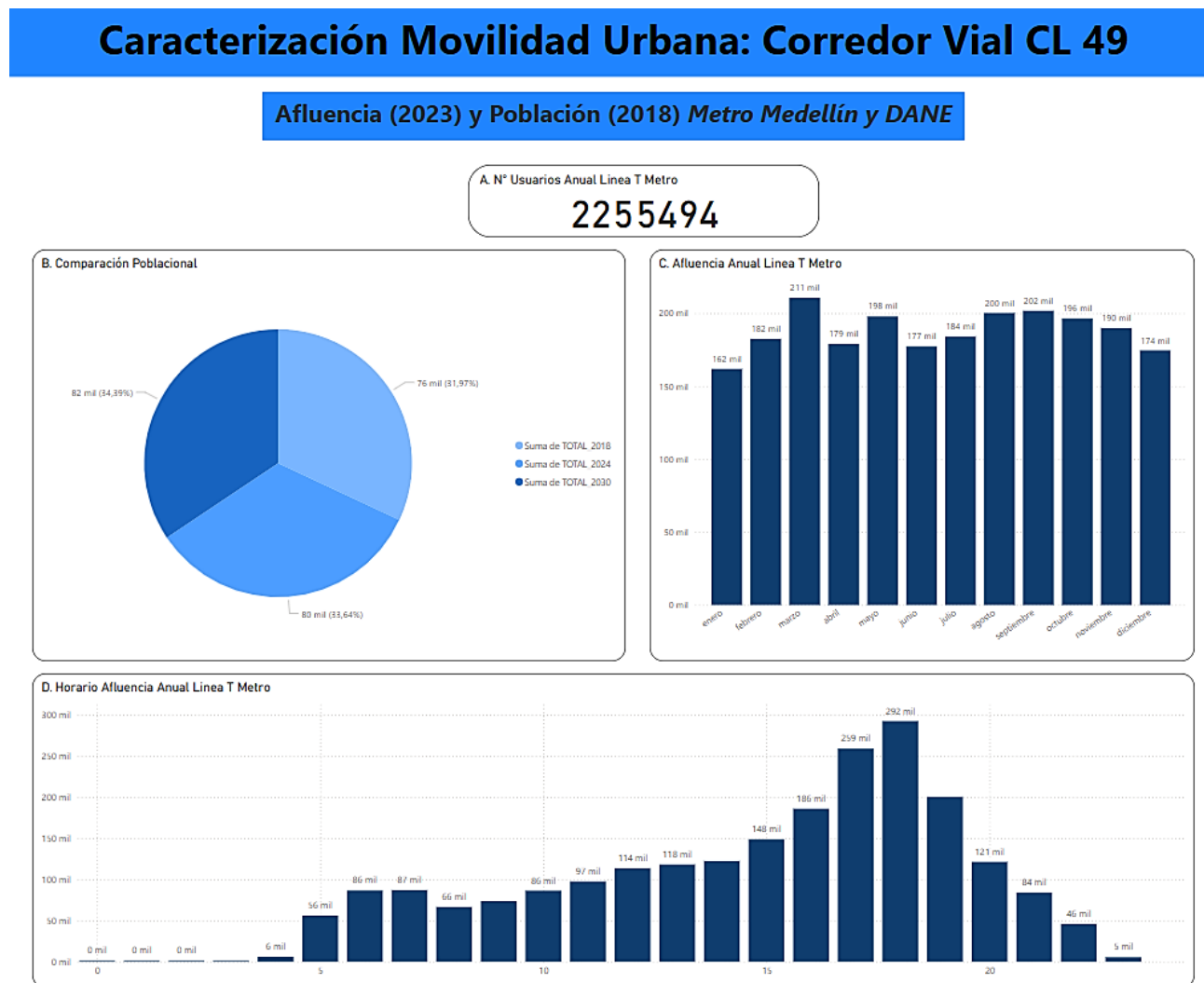
**Figura 20 – 3 F. Red Ciclística - zona de Influencia**

- Se muestra la red de ciclovías del sector. El corredor Bicentenario y La Playa se destacan como los principales ejes de movilidad ciclista.
- El corredor de la Av. La Playa se identifica como el más importante del centro de la ciudad y el más cercano al área de influencia del tranvía.
- Cabe resaltar que, según el departamento de planificación, el Corredor Vial del Tranvía no está incluido en la red ciclista, sino que está designado como cicloinfraestructura.

El análisis muestra que el uso de la bicicleta está fuertemente concentrado en hombres jóvenes y adultos que utilizan principalmente bicicletas privadas. Aunque existe infraestructura ciclista en el centro de Medellín, la ausencia de estaciones EnCicla y la desconexión de la red ciclística en el área del Tranvía limitan el potencial de la bicicleta como medio complementario de transporte urbano sostenible. Para promover una movilidad activa e inclusiva, se recomienda:

- Reducir la brecha de género a través de políticas de seguridad, accesibilidad y campañas dirigidas a mujeres.
- Expandir la red de estaciones públicas EnCicla cerca del corredor del tranvía.
- Integrar efectivamente la cicloinfraestructura existente con los sistemas de transporte público, fortaleciendo la intermodalidad.

Figura 21 – 3 Resultados 3: Afluencia y población.



*Nota.* La Figura indica en subgrupo de datos recopilados sobre afluencia del METRO y población estimada del Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

#### Interpretación de los resultados

Figura 21 – 3 A. Número anual de usuarios de la Línea T del Metro

- La Línea T del Metro constituye un elemento clave del sistema de transporte público, con un total anual de 2.255.494 usuarios registrados en las estaciones San José y Pabellón del Agua.

- Esta cifra evidencia un alto nivel de dependencia y uso sostenido del sistema a lo largo del año, destacando su importancia en la movilidad cotidiana de la ciudad.

**Figura 21 – 3 B. Comparación poblacional**

- La población de la zona de estudio muestra un crecimiento sostenido: un incremento del 2% entre 2018 y 2024 y un 1% adicional en el siguiente periodo.
- Aunque el crecimiento poblacional es moderado, representa aproximadamente el 10% de la afluencia anual de la Línea T, lo que demuestra un impacto significativo de esta área en la demanda del sistema de transporte.
- Estos datos resaltan la relevancia de planificar adecuadamente la movilidad urbana para responder al aumento demográfico y evitar futuros problemas de congestión.

**Figura 21 – 3 C. Afluencia anual de la Línea T del Metro**

- Se observa un patrón estacional de afluencia, con picos principales en los meses de marzo (el más alto en el primer semestre) y agosto-septiembre en el segundo semestre.
- Esta estacionalidad puede estar asociada a factores como: Vacaciones escolares, Eventos especiales en la ciudad y Condiciones climáticas favorables para el desplazamiento urbano.
- El análisis de estos picos permite optimizar la gestión operativa de la Línea T y adaptar los servicios a las fluctuaciones de la demanda.

**Figura 21 – 3 D. Distribución horaria de la afluencia de la Línea T del Metro**

- La distribución horaria de la afluencia revela dos picos pronunciados:
  - Uno en la mañana entre las 5:00 y 7:00 a.m.
  - Otro en la tarde alrededor de las 5:00 p.m.
- El patrón refleja los horarios laborales y escolares de la ciudad, subrayando la importancia de mantener una alta frecuencia de servicio durante estas horas para garantizar un traslado eficiente y cómodo para los usuarios. El aumento gradual

desde la madrugada y la posterior disminución después de la tarde reflejan los horarios laborales y de actividades diarias típicas.

La Línea T del Metro se consolida como un modo de transporte esencial y de alta demanda en Medellín, con más de 2 millones de usuarios anuales. Su operación está influenciada por factores estacionales, cambios demográficos y patrones horarios típicos de una ciudad en crecimiento. La gestión eficiente del servicio, así como la integración de otros modos de transporte y la planificación urbana sostenible, resultan cruciales para garantizar la resiliencia del sistema ante el aumento de la demanda. Además, el crecimiento poblacional proyectado enfatiza la necesidad de fortalecer la infraestructura y de potenciar estrategias de movilidad activa e intermodalidad, permitiendo así un desarrollo urbano equitativo y sostenible.

### **3.2 Conclusiones del Capítulo 3: Oferta y demanda para la caracterización de la movilidad.**

El análisis de la oferta y demanda de movilidad en el corredor vial de la Calle 49 de Medellín, fundamentado en datos abiertos del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación y en registros de afluencia del Metro de Medellín, permite extraer conclusiones estratégicas para la gestión sostenible de la movilidad urbana.

**Relevancia de los datos abiertos para la toma de decisiones en movilidad:** La explotación de datos abiertos ha demostrado ser una herramienta esencial para la caracterización de patrones de desplazamiento, identificación de cuellos de botella en la infraestructura vial y evaluación del desempeño del sistema de transporte público. El enfoque basado en evidencia fortalece la capacidad de diagnóstico y prospectiva de las políticas públicas.

**Alta dependencia de la infraestructura de transporte público existente:** La Línea T del Metro, con más de 2,2 millones de usuarios anuales en las estaciones San José y Pabellón del Agua, evidencia su rol como infraestructura estratégica en el modelo de movilidad de Medellín. Esta alta demanda confirma la necesidad de consolidar y expandir los sistemas de transporte masivo para atender el crecimiento urbano y garantizar el derecho a la movilidad.



**Identificación de patrones estacionales de movilidad:** El análisis de la afluencia mensual revela una estacionalidad clara, con picos en marzo, agosto y septiembre. Esta dinámica sugiere la existencia de factores estructurales (como ciclos académicos y eventos sociales) que deben ser incorporados en los modelos predictivos de demanda para optimizar la programación del servicio y la asignación de recursos.

**Tendencias de crecimiento poblacional y presión sobre el sistema:** La zona de influencia directa de la Línea T muestra un crecimiento poblacional del 2% entre 2018 y 2024, seguido de un 1% proyectado, según datos del DANE. Aunque el crecimiento es moderado, su impacto acumulativo refuerza la necesidad de planificar desde ahora las ampliaciones de capacidad y la integración de modos alternativos.

**Congestión vehicular persistente en nodos estratégicos:** La concentración de congestión en zonas céntricas y principales corredores de acceso resalta la urgencia de aplicar estrategias de gestión de la demanda, promoción de alternativas modales, y priorización del transporte público y la movilidad activa.

**Avances limitados en movilidad activa:** A pesar del crecimiento en el uso de la bicicleta, su participación modal aún está por debajo de las metas del POT, lo que evidencia barreras de infraestructura, seguridad y cultura vial que deben ser superadas mediante estrategias multisectoriales.

**Distribución horaria de la demanda:** El análisis de la afluencia por franja horaria confirma la presencia de dos picos de máxima demanda:

- **Mañana:** 5:00 a 7:00 a.m.
- **Tarde:** Alrededor de las 5:00 p.m.

Estos resultados son coherentes con los horarios laborales y académicos y deben ser utilizados para la programación de frecuencias, diseño de estrategias de control de acceso y optimización de tiempos de viaje.

### **Implicaciones estratégicas**

Con base en estas conclusiones y hallazgos, se plantean las siguientes líneas de acción para la planificación y gestión de la movilidad:

- Desarrollar políticas públicas basadas en análisis predictivo que fomenten el uso del transporte público y prioricen la movilidad sostenible.
- Expandir y modernizar la infraestructura para modos activos (peatonal y ciclista), incrementando su seguridad, conectividad y atractivo.
- Optimizar la programación operativa del sistema Metro de Medellín para adaptarse a la estacionalidad y a los picos horarios de demanda.
- Implementar mecanismos inteligentes de gestión de tráfico y control de congestión en zonas críticas mediante tecnologías de movilidad inteligente (ITS).
- Fomentar el uso de herramientas digitales de información en tiempo real para que los usuarios puedan planificar de manera eficiente sus desplazamientos.

La movilidad en Medellín enfrenta el desafío de crecer de manera sostenible en un entorno urbano dinámico. La evidencia empírica obtenida a partir de datos abiertos confirma que el fortalecimiento del transporte público masivo, la expansión de la movilidad activa y la gestión inteligente de la demanda son pilares fundamentales para construir un sistema de transporte resiliente, eficiente e inclusivo. La utilización de la ciencia de datos aplicada a la movilidad urbana es, y debe ser, un eje central en la formulación de soluciones innovadoras que promuevan ciudades más equitativas, competitivas y sostenibles.

## **Capítulo 4 – Impactos sociales de la intermodalidad y el Tranvía de Ayacucho en la movilidad activa**

En este capítulo, se realiza un análisis detallado de los impactos sociales generados por la intermodalidad en la movilidad activa y la implementación del Tranvía de Ayacucho. La intermodalidad se refiere a la integración de diferentes modos de transporte, permitiendo a los usuarios combinar distintos medios para completar sus desplazamientos de manera más eficiente y sostenible (Junyent, 2023). En el contexto del Tranvía de Ayacucho, este sistema de transporte se convierte en un componente clave que interactúa con otros modos de movilidad activa, como caminar y usar bicicletas, en el paisaje urbano de Medellín (Medellín, 2022). Para evaluar los impactos sociales de esta interacción, abordaremos varios indicadores fundamentales: tiempos de desplazamiento, accesibilidad, seguridad vial y la satisfacción de los usuarios. Estos indicadores nos ofrecerán una visión holística de cómo la intermodalidad y el Tranvía de Ayacucho están influyendo en la vida cotidiana de los habitantes y usuarios del sistema de transporte (Daza, 2024).

Analizar los impactos sociales de la intermodalidad en la movilidad activa en torno al Tranvía de Ayacucho, a partir de un enfoque integral que combine el procesamiento cuantitativo y cualitativo de datos. Este análisis permitirá interpretar los patrones de uso, identificar oportunidades de mejora en la experiencia de los usuarios y evaluar los beneficios sociales asociados, con el propósito de proponer estrategias que fortalezcan la sostenibilidad, la equidad y la eficiencia en el sistema de transporte urbano de Medellín (Kapuku, 2024; Junyent, 2023; Martínez, 2020; Martínez, 2023).

El próximo apartado se centrará en las definiciones de los impactos sociales, los tiempos de desplazamiento, la accesibilidad, la seguridad vial y la satisfacción de los usuarios. Estos elementos son fundamentales para entender cómo las políticas y prácticas de movilidad afectan a las comunidades, especialmente en contextos desfavorecidos, y cómo pueden contribuir a una planificación más eficiente y equitativa del transporte urbano.

## **4. Definiciones**

Para el desarrollo del capítulo es indispensable conocer desde la óptica de la movilidad urbana sostenible los siguientes conceptos que ayudaran a comprender y entender el fenómeno de la intermodalidad, así:

### **4.1.1 Impactos sociales**

Se refiere al estudio de cómo las interacciones sociales, las normas culturales y las condiciones socioeconómicas influyen en los patrones de movilidad en entornos urbanos, y cómo estas prácticas pueden contribuir o no a la sostenibilidad ambiental y social. Esto implica prestar atención tanto a la organización física de la ciudad y el acceso a servicios y necesidades básicas como a las experiencias individuales de desplazamiento que construyen una relación con el territorio. Además, Centeno sugiere que entender la movilidad sostenible es particularmente complejo en las periferias populares, donde las prácticas de movilidad pueden diferir significativamente de las de áreas más urbanizadas y pueden estar marcadas por la marginalización social y económica. Por lo tanto, esta perspectiva considera los impactos sociales de las políticas y prácticas de movilidad, especialmente en comunidades desfavorecidas (Centeno, 2024; Daza, 2024).

### **4.1.2 Tiempos de desplazamiento**

Los tiempos de desplazamiento se refieren al período de tiempo que una persona dedica para moverse desde un lugar de origen a un destino determinado. Estos tiempos pueden variar significativamente dependiendo de varios factores, como la distancia a recorrer, el medio de transporte utilizado, las condiciones del tráfico, la infraestructura vial y las características del entorno urbano (Ventura, 2024; Roldán, 2023). En el contexto de la movilidad urbana, entender los tiempos de desplazamiento es fundamental para analizar la eficiencia y la accesibilidad del sistema de transporte, así como para comprender las experiencias de los usuarios durante sus viajes. Además, los tiempos de desplazamiento también pueden influir en la planificación urbana y en la toma de decisiones relacionadas con el diseño de infraestructura y la gestión del tráfico (Ventura, 2024; Roldán, 2023).

### **4.1.3 Accesibilidad**

Es la condición necesaria que permite a las personas llegar, entrar o utilizar los espacios públicos, de manera que puedan participar en actividades sociales y económicas para las cuales dicha infraestructura fue diseñada. En otras palabras, la accesibilidad garantiza que todas las personas, independientemente de sus capacidades físicas, económicas o sociales, puedan acceder a los servicios, recursos y oportunidades que ofrece un determinado entorno urbano (Veleceta, 2024). Este concepto está estrechamente relacionado con el acceso, ya que implica no solo la posibilidad de llegar a un lugar, sino también de hacer uso de él de manera efectiva y significativa. La accesibilidad es fundamental para la integración y participación de todos los habitantes de una sociedad, promoviendo la igualdad de oportunidades y contribuyendo a una mayor calidad de vida para todos los miembros de la comunidad (Sánchez, 2024).

### **4.1.4 Seguridad vial**

Es el conjunto de medidas, políticas y acciones destinadas a prevenir y reducir los riesgos asociados a la movilidad en espacios públicos, garantizando así la integridad física y la vida de todas las personas que transitan por las vías (Castellanos, 2023). Esta estrategia reconoce que la seguridad vial es un componente fundamental de la movilidad activa, la cual abarca modos de transporte como caminar, andar en bicicleta o utilizar medios de transporte no motorizados (Cabrera, 2024; Comi, 2024).

### **4.1.5 Satisfacción de los usuarios**

se refiere al grado en que las necesidades, expectativas y experiencias de las personas que utilizan los sistemas de transporte se ven cumplidas y superadas. Esto incluye aspectos como la comodidad, la seguridad, la puntualidad, la accesibilidad, la calidad del servicio y la conveniencia percibida durante el viaje (Martínez, 2023).

El próximo apartado se habla de la intermodalidad de la movilidad urbana y sus impactos sociales. Se discutirá cómo la integración del tranvía de Ayacucho con otros modos de transporte ha revitalizado la movilidad activa, promoviendo un acceso más equitativo y fomentando la cohesión comunitaria. También se abordarán los desafíos asociados, como

la necesidad de mejorar la seguridad vial y atender las disparidades socioeconómicas, para garantizar que la movilidad activa sea segura, accesible y beneficiosa para todos los residentes del corredor vial.

## **4.2 Intermodalidad de la movilidad urbana**

La intermodalidad, entendida como la integración de diferentes modos de transporte en un sistema coherente y eficiente (Kapuku, 2024), junto con la implementación del tranvía de Ayacucho, ha generado una serie de impactos sociales significativos en la movilidad activa dentro del corredor vial. La movilidad activa, que incluye modos como caminar y andar en bicicleta, ha experimentado una revitalización en la zona gracias a estas iniciativas, pero también ha traído consigo desafíos y consideraciones sociales clave (Junyent, 2024; Mejía, 2022). Uno de los impactos sociales más prominentes es la democratización del acceso al transporte. La intermodalidad facilita que diferentes estratos socioeconómicos accedan a múltiples opciones de movilidad. En el contexto de Ayacucho, esto significa que tanto residentes de todo tipo de partes de la ciudad y en especial las zonas aledañas tengan la oportunidad de desplazarse de manera más eficiente y sostenible. Sin embargo, es esencial reconocer que las comunidades desfavorecidas pueden tener necesidades y desafíos específicos en términos de movilidad, y que las políticas deben abordar estas disparidades para garantizar una verdadera equidad en el acceso (Centeno, 2024; Hamari, 2014).

Además, la intermodalidad fomenta una mayor integración social y la cohesión comunitaria. Al promover modos de transporte activos como caminar y andar en bicicleta, se crean espacios más propicios para las interacciones sociales y el fortalecimiento de los lazos comunitarios. Esto es especialmente relevante en entornos urbanos donde la movilidad activa no solo es una forma de desplazamiento, sino también una oportunidad para el encuentro y la conexión entre vecinos (Khan, 2019). Sin embargo, es crucial abordar las preocupaciones de seguridad vial en este contexto. A medida que se fomenta la movilidad activa, es necesario garantizar que las infraestructuras viales y los entornos urbanos estén diseñados de manera segura para peatones y biciusuarios (Buehler, 2017). Esto implica la implementación de medidas como la reducción de la velocidad del tráfico, la creación de carriles exclusivos para bicicletas y la mejora de la iluminación y señalización vial, con el

fin de mitigar los riesgos asociados a la movilidad activa y promover un entorno seguro para todos los usuarios (Escobar, 2019).

Además, la satisfacción de los usuarios juega un papel fundamental en el éxito a largo plazo de la intermodalidad y el tranvía de Ayacucho. Es crucial que los usuarios perciban estas opciones de movilidad como convenientes, seguras y accesibles para que opten por utilizarlas de manera regular. Esto implica no solo ofrecer servicios de calidad, sino también involucrar activamente a la comunidad en el proceso de planificación y diseño, asegurando que se tengan en cuenta sus necesidades y preferencias (Escobar, 2019; Buehler, 2017).

El próximo apartado abordará el tema de los impactos sociales de la movilidad urbana en América Latina y Colombia, destacando cómo las políticas de transporte pueden influir en la cohesión social, la equidad y la calidad de vida de las comunidades urbanas.

## 4.3 Impactos sociales de la movilidad en América latina y Colombia

La movilidad urbana en América Latina y Colombia ha sido objeto de numerosos estudios que abordan tanto los beneficios como los desafíos asociados con los sistemas de transporte y sus efectos en las comunidades urbanas (Fernández, 2024). Estos estudios han demostrado que las políticas de movilidad tienen implicaciones significativas en la cohesión social, la calidad de vida y el acceso a oportunidades económicas (Fernández, 2024).

- **Movilidad y cohesión social en América latina:** Varios estudios documentan que una movilidad urbana eficiente puede contribuir a una mayor cohesión social y equidad en las ciudades latinoamericanas (Gil, 2024). Se destaca que los sistemas de transporte público inclusivos pueden mejorar el acceso a empleo, educación y servicios esenciales para los sectores más desfavorecidos de la población. En el contexto de América Latina, muestran que la implementación de sistemas de transporte masivo puede mejorar la accesibilidad, reducir la congestión vehicular y promover la inclusión social en ciudades como Bogotá, Santiago de Chile y Ciudad de México (Fernández, 2024; Gil, 2024).

- **Seguridad vial y salud pública en Colombia:** En Colombia, investigaciones evidencian que la seguridad vial es un componente crucial para la salud pública en las ciudades (Mejía, 2012; Cabrera, 2024). También al analizar las deficiencias en la infraestructura vial pueden afectar negativamente la seguridad de peatones y ciclistas, con consecuencias importantes para la salud y el bienestar de la población (Cabrera, 2024; Castellanos, 2023). Además, al examinar la desigualdad en el acceso al transporte público en Colombia, señalando que la calidad del servicio es variable y las tarifas pueden ser una barrera para las poblaciones más vulnerables (Méndez, 2024).

#### 4.3.1 Impactos sociales de la movilidad en Medellín

Medellín se destaca como un caso de estudio significativo en términos de movilidad urbana y sus impactos sociales. Los estudios sobre la ciudad han explorado cómo las innovaciones en transporte público pueden transformar la estructura social y económica del área metropolitana (Delgado, 2023; Daza, 2024).

- **Transformación social a través del Tranvía de Ayacucho:** El Tranvía de Ayacucho es un ejemplo emblemático de cómo las intervenciones en el transporte urbano pueden tener efectos profundos en la estructura social de una ciudad (Torres, 2019). El tranvía no solo ha mejorado la movilidad en el centro de Medellín, sino que también ha promovido la revitalización de áreas urbanas desfavorecidas, fomentando la inclusión social y económica (Gómez, 2021). Claramente la introducción del Tranvía de Ayacucho no solo mejoró la movilidad, sino que también fomentó la cohesión social y el desarrollo económico local en las áreas adyacentes a las estaciones (Torres, 2019).
- **Percepciones de la seguridad vial en Medellín:** Los residentes de Medellín perciben la seguridad vial y cómo las medidas de transporte, como el tranvía, han influido en sus percepciones (Guamán, 2023). Este estudio utiliza encuestas y entrevistas para identificar preocupaciones de los usuarios y evaluar las respuestas a las políticas de seguridad vial (Cabrera, 2024).



### 4.3.2 Variables de evaluación de la intermodalidad

En el ámbito de la seguridad vial y la movilidad urbana, es crucial entender quiénes son los actores viales y cómo la ley regula sus interacciones en las vías públicas. Los actores viales son todas aquellas personas que desempeñan roles específicos al utilizar las vías para desplazarse de un lugar a otro. Según la Ley 769 de 2002, también conocida como el Código Nacional de Tránsito Terrestre en Colombia, estos actores de tránsito incluyen a peatones, pasajeros, ciclistas, motociclistas y conductores (Congreso de Colombia, 2002). La Ley 769 establece los deberes y derechos de cada uno de estos actores, con el objetivo de garantizar la seguridad vial y regular la circulación de manera ordenada y segura en todo el territorio nacional. Por ejemplo, establece normas sobre la velocidad máxima permitida, señalización vial, y prioridades de paso, entre otros aspectos fundamentales para la convivencia en las vías (Porto, 2024).

**Figura 22 – 4 Actores viales**



*Nota.* Se explica los actores viales así; **CONDUCTORES:** Esta señal representa a los conductores de vehículos, como automóviles y camiones. Es importante que sigan las normas de tránsito y estén atentos a las señales y a otros usuarios de la vía. **MOTOCICLISTAS:** Aquí se identifica a los motociclistas. Estos deben respetar las reglas de circulación y usar casco para su seguridad. **CICLISTAS:** Esta señal es para los ciclistas. Ellos deben circular por los carriles destinados a bicicletas y respetar las señales de tránsito. **PEATONES:** Por último, esta señal representa a los peatones. Son las personas que caminan por las aceras o cruzan las calles. Los conductores deben cederles el paso

en los cruces peatonales. Tomada de [https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.intrasvial.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F04%2FRecurso-26%402x.png&tbnid=1qeCGAvQtO\\_qIM&vet=1&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.intrasvial.com%2Fempresas%2F&docid=mZzf7W1MpXmPRM&w=1251&h=364&source=sh%2F%2Fim%2Fm1%2F1&kgs=257d0745569ec983&shem=abme%2Ctrie](https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.intrasvial.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F04%2FRecurso-26%402x.png&tbnid=1qeCGAvQtO_qIM&vet=1&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.intrasvial.com%2Fempresas%2F&docid=mZzf7W1MpXmPRM&w=1251&h=364&source=sh%2F%2Fim%2Fm1%2F1&kgs=257d0745569ec983&shem=abme%2Ctrie)

En ese entendido, la intermodalidad en el transporte, como enfoque moderno de movilidad urbana, busca integrar diferentes modos de transporte (como vehículos particulares, transporte público, bicicletas y caminatas) para ofrecer a los usuarios opciones más eficientes y convenientes (Porto, 2024). Esta integración no solo promueve la fluidez del tránsito y la reducción de la congestión, sino que también contribuye a la disminución de emisiones contaminantes y mejora la calidad de vida de los ciudadanos. La comprensión de quiénes son los actores viales cómo la ley regula sus roles es fundamental para fomentar una movilidad urbana segura y sostenible. La aplicación adecuada de normativas como la Ley 769 de 2002 en la promoción de la intermodalidad en el transporte son pasos clave hacia un entorno urbano más habitable y seguro para todos los usuarios de las vías (Yang, 2020).

Las variables clave presentadas para evaluar la intermodalidad en el contexto de los actores viales -accesibilidad e inclusión, seguridad vial, satisfacción de los usuarios, impactos sociales y tiempos de desplazamiento- ofrecen una visión integral de los elementos fundamentales para un sistema de transporte integrado y sostenible. En relación con los impactos sociales, la intermodalidad tiene el potencial de promover la equidad y la inclusión social al hacer que los diferentes modos de transporte sean accesibles para todos los ciudadanos, independientemente de sus condiciones físicas o sociales (Alcaldía de Medellín, 2020). Esto se logra asegurando que las infraestructuras y los servicios de transporte estén diseñados para facilitar el acceso equitativo para mejorar la cohesión comunitaria. Al considerar los impactos sociales, se reconoce la importancia de abordar las necesidades y preocupaciones de toda la comunidad, lo que fortalece el tejido social contribuyendo a una movilidad más justa y cohesionada (Alcaldía de Medellín, 2020).

El próximo apartado abordará el tema de la Antropología de las Vías en la ciudad de Medellín, donde se explorará cómo los aspectos sociales, culturales y comportamentales basándose en datos del Observatorio de Movilidad de la Secretaría de Movilidad de Medellín.

#### **4.4 Antropología de las vías en la ciudad de Medellín.**

La Antropología de las Vías es un enfoque que busca comprender los fenómenos viales desde una perspectiva antropológica, es decir, centrándose en el estudio de las interacciones humanas en el contexto de las vías y la movilidad urbana. Este enfoque considera no solo los aspectos técnicos y físicos de las vías, sino también los aspectos sociales, culturales y comportamentales que influyen en la seguridad vial y en la calidad de vida de las personas que interactúan en el espacio vial (Observatorio de Movilidad, 2022; Hernández, 2022). En el caso específico de la ciudad de Medellín, Colombia, la Antropología de las Vías podría tener una relevancia significativa debido a los retos y particularidades que presenta esta ciudad en términos de movilidad urbana. Medellín es una ciudad con una topografía montañosa y una densidad poblacional considerable, lo que puede influir en la forma en que las personas se desplazan por la ciudad y en los desafíos que enfrentan en términos de seguridad vial (Observatorio de Movilidad, 2022; Hernández, 2022).

En base a lo anterior, la antropología vial es una herramienta valiosa para abordar los desafíos de movilidad y seguridad vial, permitiendo un enfoque más holístico y centrado en las personas en la búsqueda de soluciones efectivas y sostenibles la mortalidad, morbilidad e incidentalidad vial. Estos son conceptos clave para evaluar la seguridad vial en una ciudad, analizando tanto las consecuencias fatales como las lesiones y los incidentes en general. Estos indicadores son fundamentales para diseñar políticas y acciones efectivas que contribuyan a reducir los accidentes de tráfico, proteger la vida de los ciudadanos y mejorar la calidad de la movilidad urbana a continuación se explica cada uno (Observatorio de Movilidad, 2022).

El próximo apartado se centrará en el tema de las Causas de los incidentes viales en la ciudad de Medellín, donde se explorarán las principales razones detrás de los accidentes de tránsito.

## **4.5 Causas de los incidentes viales en la ciudad de Medellín.**

Para abordar el tema es preciso definir que es un incidente vial, este se refiere a cualquier evento o accidente que involucre vehículos y ocurra en las vías públicas, y que puede resultar en lesiones o muertes de personas (Observatorio de Movilidad, 2022). Algunas características y detalles sobre los incidentes viales que se pueden inferir del documento son:

- Involucran diversos modos de transporte como peatones, biciusuarios, motocicletas, vehículos livianos y vehículos pesados (buses, camiones, volquetas).
- Se clasifican según su gravedad en incidentes con lesionados e incidentes fatales (que causan muertes).
- Las interacciones más comunes y letales son entre motocicletas y otros vehículos, especialmente vehículos pesados.
- Ocurren principalmente en vías urbanas, concentrándose en ciertas avenidas principales y comunas específicas.
- Afectan de manera desproporcionada a grupos vulnerables como peatones, biciusuarios, jóvenes y adultos mayores.
- Pueden estar relacionados con factores como diseño vial inadecuado, falta de infraestructura para modos no motorizados, exceso de velocidad, entre otros.

Es por lo anterior que no hay una única causa que explique los altos índices de inseguridad vial y cantidad de incidentes viales en Medellín (Observatorio de Movilidad, 2022). Se trata de un fenómeno multicausal, resultado de diversas decisiones tomadas en el desarrollo urbano a lo largo del tiempo. En base a esto se indican las principales causas mencionadas son:

- Deficiencias en la planeación urbana y territorial, como las designaciones de uso del suelo, densidades habitacionales, falta de accesibilidad y continuidad en redes peatonales y biciusuarios.
- Problemas en la oferta y calidad de sistemas de transporte público.
- Deficiencias en el diseño vial, que no consideran adecuadamente la seguridad vial.

- Falta de controles, campañas y acompañamiento institucional para la divulgación de buenas prácticas de movilidad.
- Interpretación de normas nacionales y locales sobre desarrollo urbano contrarias al beneficio de la vida y la seguridad vial.
- Factores como los horarios laborales, oferta comercial y de servicios que inciden en los patrones de movilidad.

Por lo que se plantea que la situación crítica de inseguridad vial es consecuencia de múltiples decisiones en planeación urbana, movilidad, transporte, infraestructura y normatividad que hace parte del estudio del tema para la protección de la vida en los desplazamientos (Observatorio de Movilidad, 2022; Departamento Nacional de Planeación, 2020).

Es entonces como el observatorio de Movilidad de Medellín en sus estudios multidisciplinarios tiene varios programas y estrategias, pero enfatizando en los modos activos para abordar los causantes de los incidentes viales, se presentan estrategias como Visión Cero Medellín que busca incidir en el abanico de causas que aumentan el riesgo vial, sin importar el modo de viaje, lo que implica considerar la movilidad peatonal y biciusuario. Se destaca la necesidad de reestructurar los procesos del Departamento Administrativo de Planeación y la Secretaría de Infraestructura Física, entre otros, para avanzar hacia una ciudad más amable y humana, lo que podría incluir mejoras en la infraestructura para peatones y biciusuarios, que por la falta de accesibilidad y continuidad de las redes peatonales y biciusuarios como una de las causas que contribuyen al aumento del riesgo vial (Observatorio de Movilidad, 2022; Departamento Nacional de Planeación, 2020).

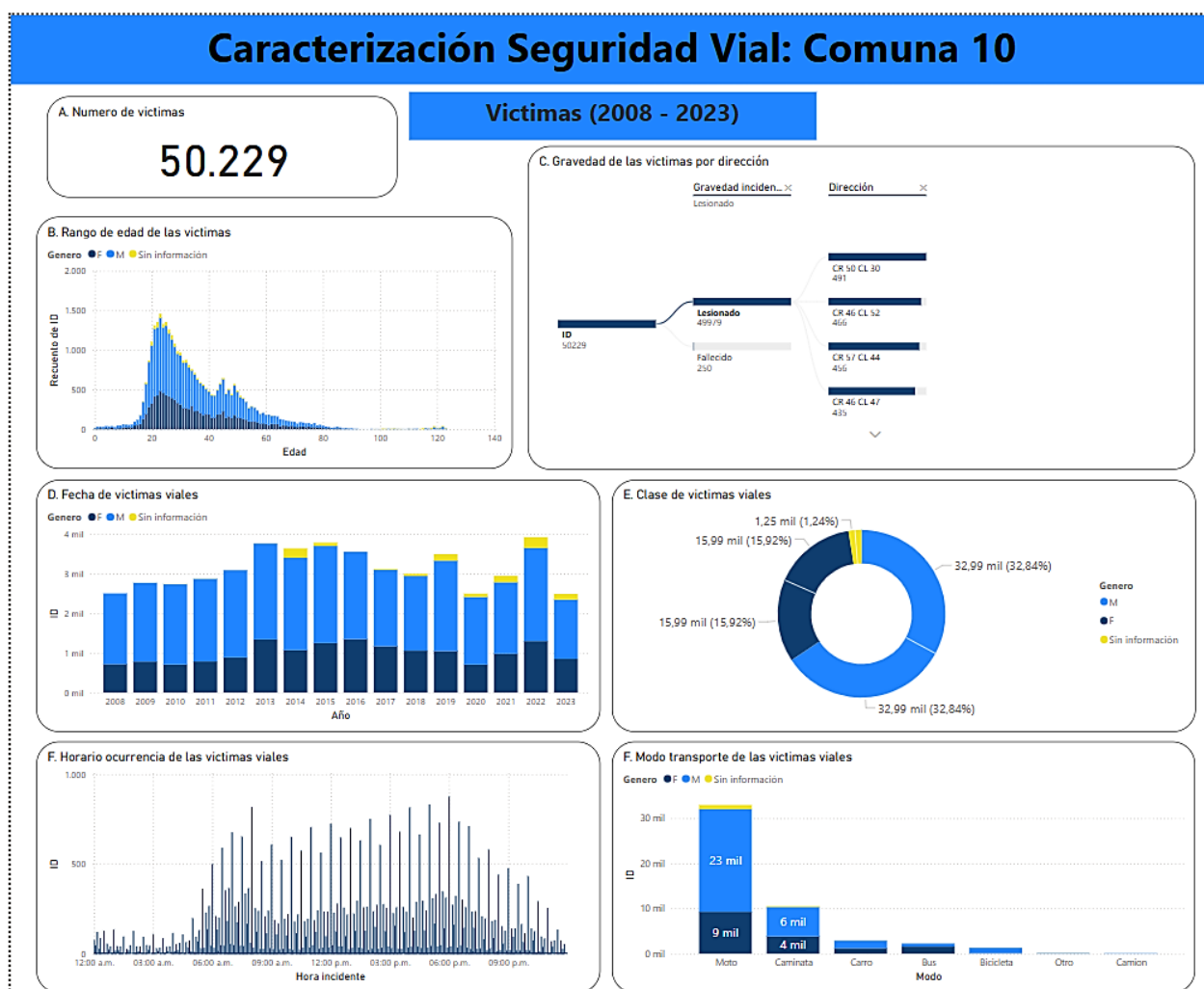
Lo anterior resalta la importancia de adoptar el enfoque de Sistema Seguro para la gestión de la movilidad urbana y la seguridad vial, lo que implica considerar la protección de todos los usuarios de la vía, incluyendo peatones y biciusuarios (Observatorio de Movilidad, 2022; Departamento Nacional de Planeación, 2020).

El próximo apartado abordará el desarrollo metodológico en respuesta al objetivo de la investigación centrándose en el Corredor del Tranvía Calle 49 en la Comuna 10.

## 4.6 Resultados de la caracterización de la seguridad vial de la comuna 10 y encuesta de movilidad.

A continuación se realiza el análisis de datos sobre seguridad vial y movilidad en el corredor del Tranvía de Ayacucho en Medellín en las figuras 22 - 3 y 23 - 3 detallando la situación actual:

**Figura 23 – 4** Caracterización de la seguridad vía en la comuna 10 de Medellín



**Nota.** La imagen presentada ofrece una radiografía de la siniestralidad vial en una comuna 10 de Medellín, proporcionando datos valiosos sobre el número de víctimas, sus edades, la gravedad de los incidentes, y otros factores relevantes para evaluar la seguridad vial.

**Figura 23 – 4 A. Número de víctimas:** Durante el periodo analizado, se registraron 50.229 víctimas de siniestros viales, reflejando la magnitud del problema de seguridad vial en la Comuna 10. Esta cifra evidencia una necesidad urgente de estrategias de prevención, control y educación vial más efectivas en una de las zonas de mayor dinamismo económico y movilidad de Medellín.

**Figura 23 – 4 B. Rango de edad de las víctimas:** La distribución por edad muestra que los adultos jóvenes (20 a 40 años) son el grupo más afectado. Esta vulnerabilidad puede estar asociada a factores como una mayor exposición diaria al tráfico, patrones de movilidad más intensivos y comportamientos de riesgo. Se destaca además un porcentaje menor de víctimas adultas mayores, lo que sugiere que la infraestructura y las políticas deben considerar específicamente las necesidades de estos grupos vulnerables.

**Figura 23 – 4 C. Gravedad de las víctimas por dirección:** Se identifican vías críticas como la Avenida Oriental (CR 46), el Corredor del Río (CR 62), y San Juan (CL 44) donde la incidencia de accidentes es elevada. Aunque la mayoría de las víctimas fueron lesionados (99%), la localización de fatalidades específicas refuerza la necesidad de intervenciones viales en corredores estratégicos. Factores como el diseño de intersecciones, la velocidad, la señalización y la accesibilidad peatonal deben ser reevaluados.

**Figura 23 – 4 D. Fecha de víctimas viales:** El análisis temporal muestra fluctuaciones importantes, con reducciones notables en 2017 y 2018, posiblemente debido a la implementación de políticas de seguridad vial bajo la estrategia "Visión Cero". Se observa también el impacto de eventos extraordinarios como la pandemia en 2020, que alteró los patrones de movilidad y redujo significativamente los siniestros.

**Figura 23 – 4 E. Clase de víctimas viales:** Los datos muestran que el 70% de las víctimas masculinas están involucradas principalmente en choques y atropellos. Esta sobrerrepresentación masculina sugiere patrones de riesgo diferenciados que deben ser abordados mediante campañas de sensibilización específicas para este grupo, además de mejoras en la infraestructura para peatones y ciclistas.

**Figura 23 – 4 F. Horario de ocurrencia de las víctimas viales:** La distribución horaria de los accidentes revela los momentos del día en los que se producen con mayor frecuencia

con un promedio de 600 accidentes en la franja de 7 am a 8 pm. Esto puede estar relacionado con las horas de mayor congestión vehicular, como las horas pico de entrada y salida del trabajo, así como durante los fines de semana. Además, los accidentes nocturnos son bajos dada la poca afluencia de usuarios en las vías porque no se ofrecen servicios en la ciudad.

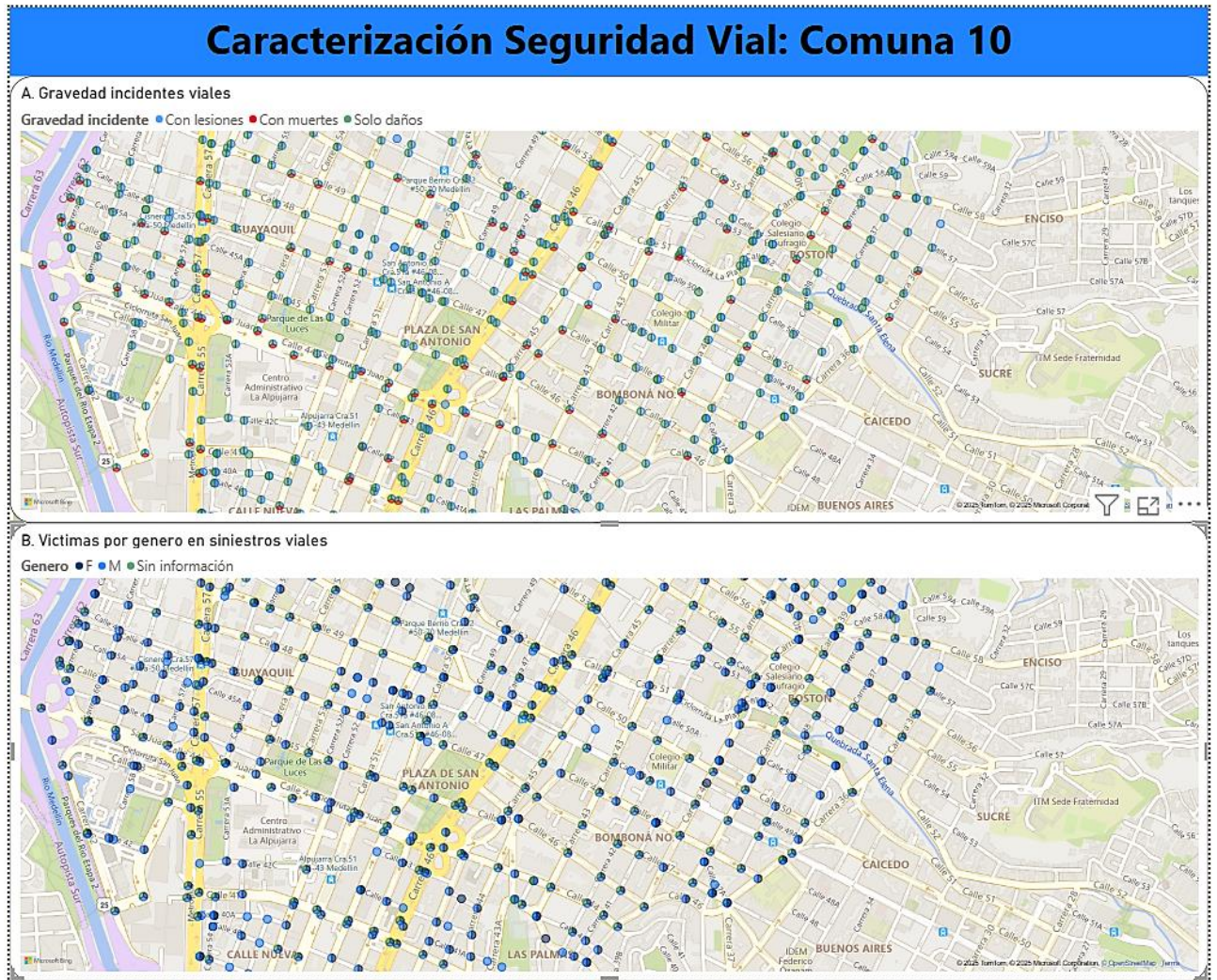
**Figura 23 – 4 G. Modo de transporte de las víctimas viales:** La motocicleta destaca como el modo de transporte con mayor número de víctimas, superando los 20.000 casos, seguida de la caminata con 12.000 víctimas. Este patrón refleja tanto la masificación del uso de motocicletas en Medellín como la fragilidad de los peatones en el espacio vial urbano. La alta siniestralidad en motos está asociada a factores como la cultura de riesgo, la falta de respeto por las normas de tránsito y la infraestructura insuficiente para usuarios vulnerables. Es urgente fortalecer la regulación de motociclistas, fomentar el respeto al peatón y diseñar entornos viales más seguros y accesibles.

El análisis de la seguridad vial en la Comuna 10 de Medellín entre 2008 y 2023 revela un panorama crítico en términos de siniestralidad, afectando particularmente a adultos jóvenes, motociclistas y peatones. La magnitud de las 50.229 víctimas registradas en 15 años evidencia que, pese a algunas mejoras puntuales —como las reducciones observadas en 2017 y 2018 asociadas a estrategias de Visión Cero—, persisten retos estructurales en la infraestructura vial, la cultura ciudadana y la gestión del riesgo vial.

El patrón espacial de concentración de accidentes en corredores viales estratégicos, sumado a la alta proporción de incidentes durante las horas de mayor flujo vehicular, resalta la necesidad de intervenciones integrales que combinen rediseños urbanos seguros, control efectivo de velocidades, programas de educación vial diferenciados por género y acciones específicas para proteger a los usuarios más vulnerables del sistema, como motociclistas y peatones.



**Figura 24 – 4** Caracterización de la seguridad vía en la comuna 10 de Medellín.



**Nota.** Los mapas proporcionados ofrecen una primera aproximación a la problemática de la seguridad vial en la Comuna 10 de Medellín.

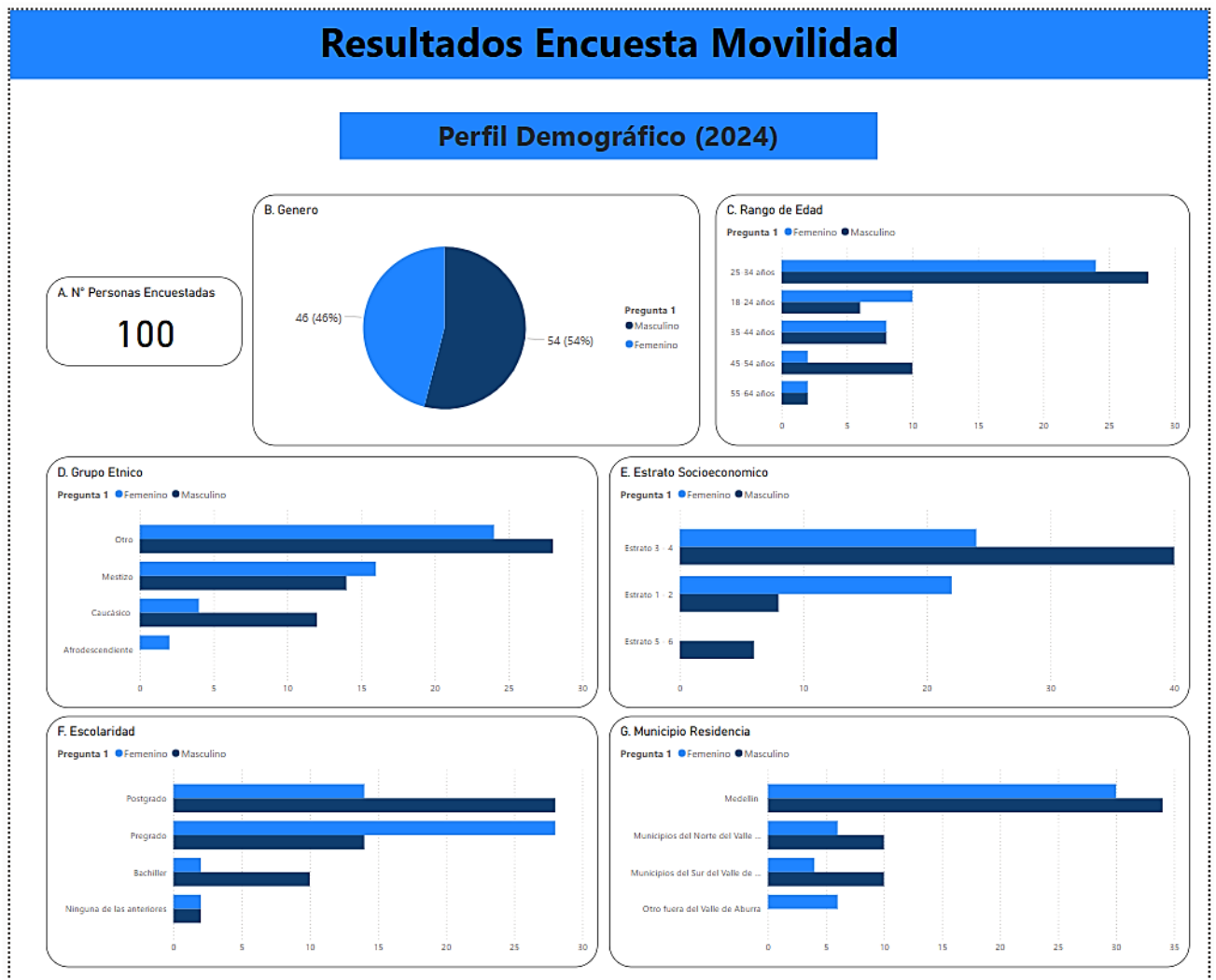
Los mapas de incidentes viales en la comuna revelan una alta densidad de accidentes, indicando que la seguridad vial es una preocupación crítica en la zona. La distribución de los puntos no es completamente aleatoria y muestra concentraciones en ciertas intersecciones y tramos viales, sugiriendo que existen zonas de mayor riesgo. La variabilidad en la gravedad de los incidentes, desde daños materiales hasta lesiones graves y muertes, resalta la necesidad de medidas de seguridad adaptadas a distintos niveles de riesgo. Aunque el mapa B muestra un equilibrio aproximado entre víctimas

hombres y mujeres, la categoría "sin información" puede afectar esta percepción, lo que subraya la importancia de contar con datos más completos.

Como complemento, es esencial indicar que los puntos críticos, como intersecciones peligrosas como Palace CR 50, Avenida Oriental CR 46, Avenida del Ferrocarril CR 57, San Juan CL 44 y el Corredor Vial del Rio CR 62, son las vías con más velocidad y el estado de la vía con más intervenciones en la carpeta de rodadura.

A continuación, se presentan los resultados de la encuesta de movilidad en las figuras 25 – 4 hasta la 29 – 4 con su respectivo análisis, así:

**Figura 25 – 4** Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Perfil Demográfico.



*Nota.* La encuesta de movilidad proporciona una base sólida para conocer la promoción y operación del tranvía de Ayacucho. Al comprender las características demográficas de los usuarios de la vía (movilidad activa y demás), es posible entender cómo se desplaza la gente y como percibe el sistema de transporte masivo.

**Figura 25 – 4 A Número de Personas Encuestadas:** Se trabajó con una muestra de 100 individuos, suficiente para un análisis exploratorio preliminar sobre patrones de movilidad, dado el tamaño relativo de la población usuaria objetivo.

**Figura 25 – 4 B Género:** Existe una ligera predominancia femenina (54%) frente al masculino (46%). Aunque la diferencia no es marcada, este dato sugiere que las políticas de movilidad deben considerar enfoques sensibles al género, dado que hombres y mujeres tienden a tener diferencias en sus necesidades y percepciones de seguridad, accesibilidad y tiempos de viaje.

**Figura 25 – 4 C Rango de Edad:** La concentración en los rangos de 25–34 y 35–44 años indica que el servicio es más utilizado por adultos jóvenes en etapa laboral activa. Esto refuerza la importancia de que el tranvía mantenga características de eficiencia, confiabilidad y tiempos de desplazamiento competitivos frente a otros modos de transporte.

**Figura 25 – 4 D Grupo Étnico:** La distribución muestra diversidad étnica, con predominancia de la categoría "Otro", seguida de "Mestizo" y en menor medida "Caucásico" y "Afrodescendiente". Este patrón refleja el carácter multiétnico de Medellín y resalta la necesidad de políticas de movilidad inclusivas que respondan a las diferencias culturales y socioeconómicas.

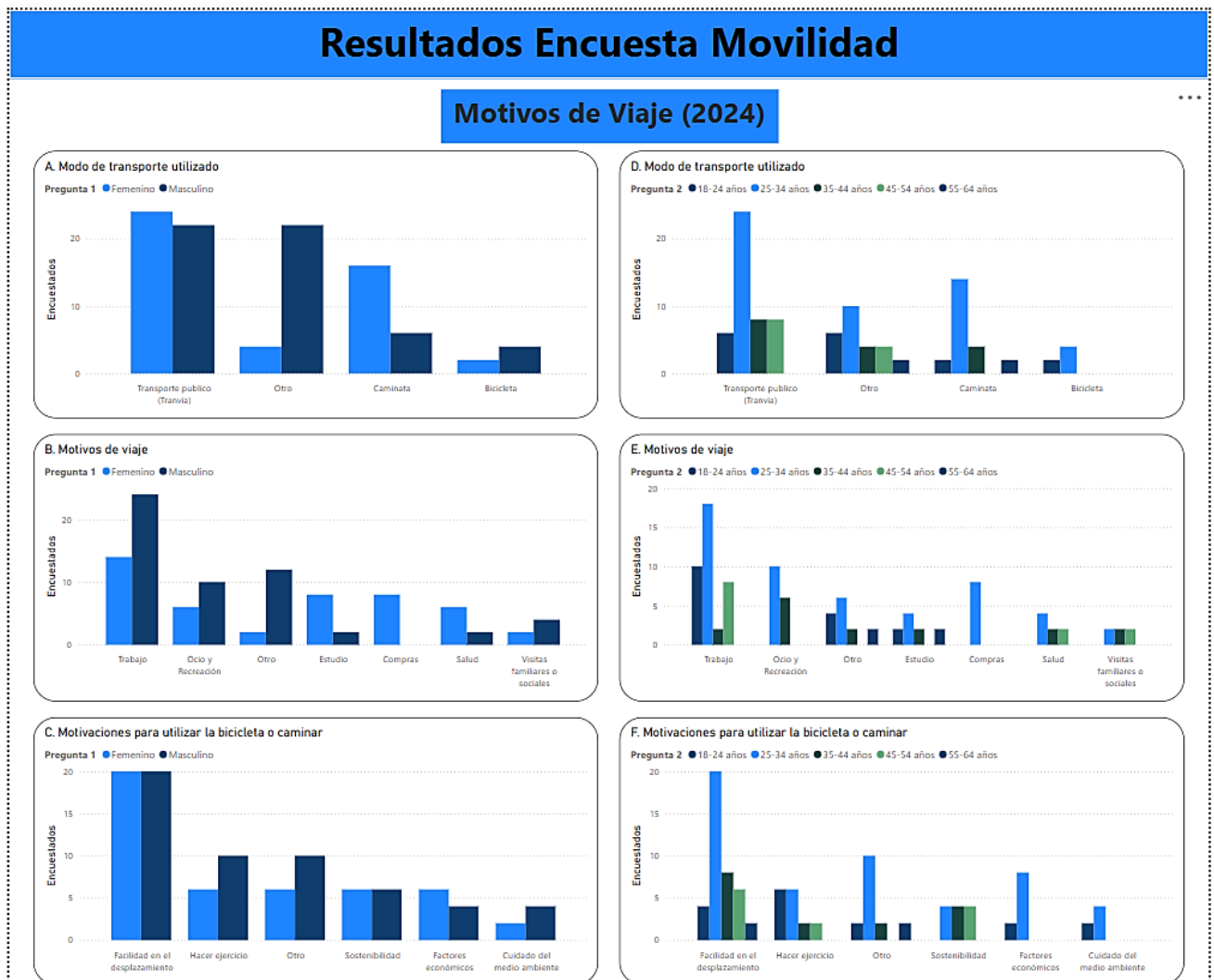
**Figura 25 – 4 E Estrato Socioeconómico:** El predominio de usuarios de estratos 3 y 4 confirma que el tranvía está posicionándose como una alternativa atractiva para la clase media. Esto también puede interpretarse como una señal de equilibrio en accesibilidad económica del servicio, pero invita a evaluar estrategias para fortalecer su atractivo en estratos bajos (1 y 2).

**Figura 25 – 4 F Escolaridad:** La mayoría de los encuestados poseen formación universitaria (pregrado y posgrado). Esto implica que los usuarios tienden a valorar

atributos como la sostenibilidad ambiental, la eficiencia del sistema, y aspectos innovadores en la movilidad. La escolaridad alta también sugiere una mayor disposición al uso de plataformas tecnológicas asociadas al transporte.

**Figura 25 – 4 G Municipio de Residencia:** El predominio de residentes en Medellín, combinado con la participación de usuarios de otros municipios del Valle de Aburrá, evidencia que el tranvía ya actúa como un nodo de conectividad metropolitana, aunque su influencia primaria sigue siendo intraurbana.

**Figura 26 – 4 Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Motivos de Viaje.**



*Nota.* Según los datos de la encuesta de movilidad, se ofrece una valiosa visión sobre los hábitos y motivaciones de desplazamiento de los habitantes de la zona de influencia del tranvía de Ayacucho.

**Figura 26 – 4 A Modo de transporte utilizado por género:** Se evidencia que tanto hombres como mujeres utilizan principalmente el transporte público (Tranvía) como su modo preferido de desplazamiento. Sin embargo, se presentan matices diferenciados por género: Hombres tienden a preferir en mayor proporción el uso de la bicicleta. Mujeres presentan una inclinación superior hacia la caminata como medio de desplazamiento.

Este patrón sugiere que las estrategias de movilidad activa deben considerar aspectos de seguridad personal y accesibilidad peatonal para fomentar aún más la caminata entre mujeres.

**Figura 26 – 4 B Motivos de viaje por género:** Los principales motivos de viaje para ambos géneros son trabajo y compras, reflejando patrones de movilidad funcional (cotidiana). Sin embargo, se observan diferencias significativas: Mujeres realizan mayores viajes asociados a estudio, compras y salud, mostrando una mayor diversidad de propósitos de desplazamiento. Esto indica que las políticas de movilidad deben integrar una perspectiva de género, contemplando horarios, rutas y servicios que faciliten la movilidad para actividades no laborales.

**Figura 26 – 4 C Motivaciones para utilizar bicicleta o caminar por género:** Tanto hombres como mujeres priorizan la **facilidad en el desplazamiento** y el **hacer ejercicio** como motivaciones principales para utilizar modos activos. No se identifican diferencias sustanciales entre géneros en este aspecto. Esto refleja que las mejoras en infraestructura (seguridad, continuidad de redes peatonales y ciclistas) beneficiarían de forma equitativa a toda la población.

**Figura 26 – 4 D Modo de transporte utilizado por rango de edad:** El transporte público (Tranvía) domina el patrón de uso en todos los grupos etarios. Jóvenes (18–24 años) presentan mayor propensión al uso de la bicicleta, evidenciando una apertura hacia modos sostenibles.

Adultos mayores (45 años en adelante) prefieren caminar, probablemente por distancias cortas o preferencias de accesibilidad. Esto subraya la importancia de diseñar entornos caminables y accesibles, especialmente para la población adulta mayor.

**Figura 26 – 4 E Motivos de viaje por rango de edad:** Los motivos de viaje varían claramente según el ciclo de vida:

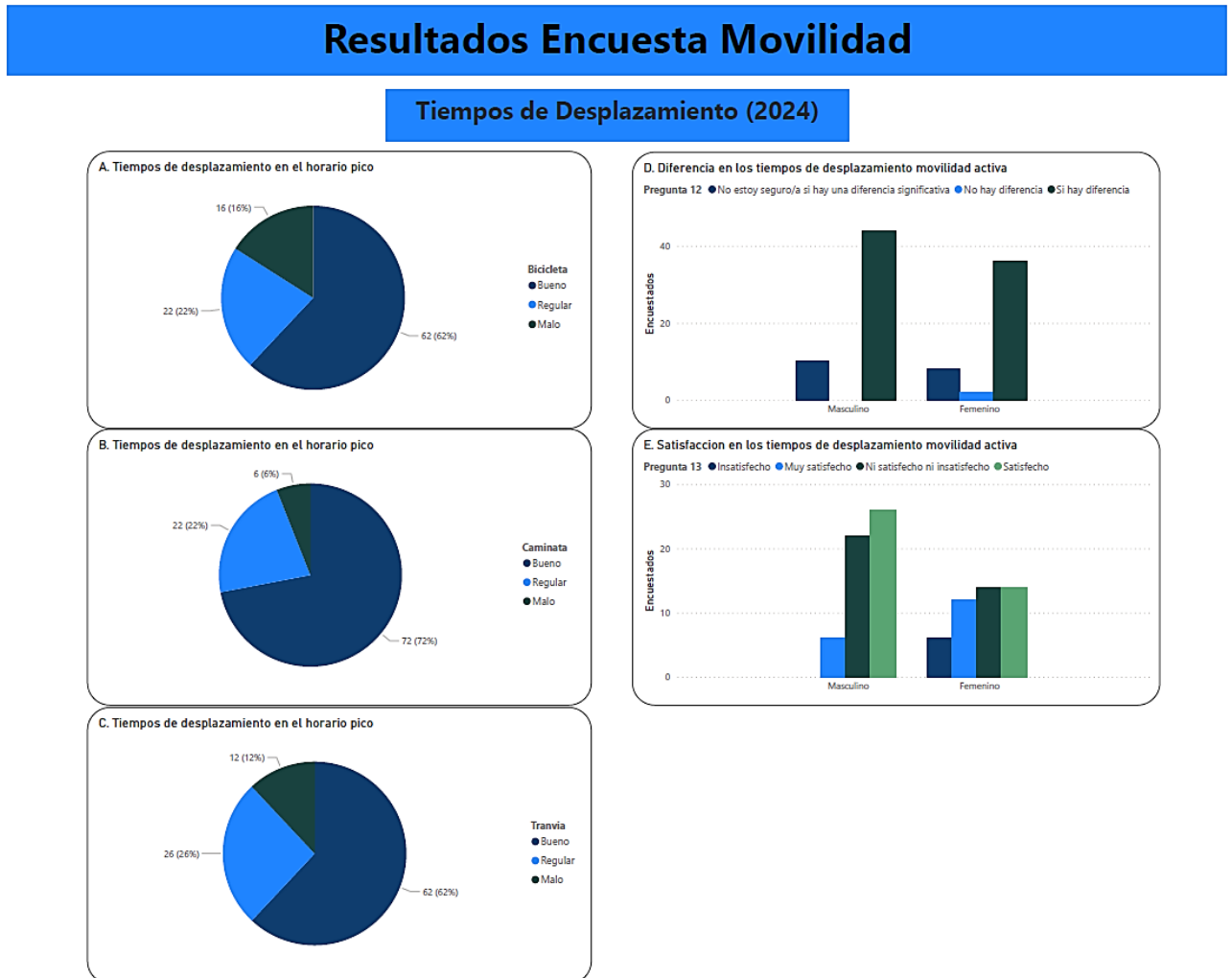
- Jóvenes (18–24 años) viajan principalmente por estudios y ocio/recreación.
- Adultos mayores (55–64 años) se desplazan más por salud y visitas familiares.
- El grupo de 25–34 años es el más activo en términos de volumen de viajes, concentrándose en trabajo y compras. Esta segmentación evidencia la necesidad de adaptar la oferta de transporte público y la infraestructura activa a las diferentes etapas de la vida.

**Figura 26 – 4 F Motivaciones para utilizar bicicleta o caminar por rango de edad:** En todos los rangos de edad, la **facilidad de desplazamiento** es el principal impulsor para caminar o usar la bicicleta.

- **Jóvenes** (especialmente entre **18–34 años**) destacan además la **sostenibilidad** y el **hacer ejercicio** como motivaciones clave. Este hallazgo refuerza el potencial de **campañas de promoción de movilidad sostenible** orientadas a públicos jóvenes, quienes ya presentan una conciencia ambiental y de salud superior.



**Figura 27 – 4** Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Tiempos de Desplazamiento.



*Nota.* La encuesta de movilidad suministrada proporciona un análisis exhaustivo sobre la percepción de los usuarios en relación con los tiempos de desplazamiento a través de diversos modos de transporte, con especial énfasis en el horario pico.

**Figura 27 – 4 A Tiempos de desplazamiento en el horario pico (biciclata):** La mayoría de los encuestados percibe los tiempos de desplazamiento en biciclata como buenos (62%) o regulares (22%) durante el horario pico. Esto posiciona a la biciclata como una opción viable y eficiente para desplazamientos de corta y media distancia, incluso en momentos de alta congestión. No obstante, un 16% de usuarios reporta tiempos malos, lo cual podría señalar:

- Deficiencias en la infraestructura ciclista (continuidad, conectividad, segregación).
- Problemas de seguridad vial que afectan la fluidez del desplazamiento.

**Figura 27 – 4 B Tiempos de desplazamiento en el horario pico (caminata):** Al igual que con la bicicleta, los tiempos de desplazamiento caminando son percibidos como buenos (72%) o regulares (22%) por la mayoría de los usuarios. Esto destaca a la caminata como un modo atractivo, especialmente en distancias cortas. Sin embargo, la percepción de tiempos malos (6%) puede deberse a:

- Deficiencia en la infraestructura peatonal (aceras discontinuas, obstáculos).
- Problemas de seguridad (cruces peligrosos, iluminación deficiente).

**Figura 27 – 4 C Tiempos de desplazamiento en el horario pico (tranvía):** Los usuarios del Tranvía reportan mayoritariamente tiempos buenos (62%) o regulares (26%), evidenciando un cumplimiento aceptable de expectativas en cuanto a eficiencia en horas pico. Sin embargo, un 12% de los encuestados califica los tiempos como malos, posiblemente debido a:

- Frecuencia de los servicios insuficiente en determinados horarios.
- Demoras operativas en algunas estaciones o tiempos de espera.

**Figura 27 – 4 D Diferencia en los tiempos de desplazamiento (movilidad activa):** La mayoría de los encuestados, tanto hombres como mujeres, percibe una diferencia significativa en favor de la movilidad activa respecto a otros modos de transporte. Esto confirma que:

- Bicicleta y caminata permiten desplazamientos más ágiles en trayectos cortos y medianos.
- La movilidad activa es competitiva en términos de tiempo frente a modos motorizados, especialmente en áreas congestionadas.

**Figura 27 – 4 E Satisfacción con los tiempos de desplazamiento (movilidad activa):** Los niveles de satisfacción son altos:



- Predomina la percepción de usuarios satisfechos o muy satisfechos con los tiempos logrados mediante bicicleta y caminata.
- Tanto hombres como mujeres reportan este nivel de satisfacción, aunque se evidencia una ligera mayor satisfacción en el grupo masculino.

**Figura 28 – 4** Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Seguridad Vial.



*Nota.* La encuesta de movilidad recientemente presentada proporciona una visión exhaustiva de cómo los usuarios perciben la seguridad vial en el contexto de la movilidad activa y el tranvía de Ayacucho. Este análisis profundizará en la interpretación detallada de los resultados de cada gráfico, con el objetivo de extraer conclusiones significativas.

**Figuras 28 – 4 A, B y C. Percepción de seguridad vial en la movilidad activa:**

**Cruces Peatonales Seguros:** El **54%** de los encuestados percibe que los **cruces peatonales son seguros**, mientras que un **46%** considera que requieren mejoras urgentes.

Esta **división significativa** indica que, aunque hay avances en la infraestructura peatonal, persisten **zonas críticas** donde los peatones se sienten vulnerables.

**Iluminación Adecuada:** Más del **54%** de los encuestados considera que la **iluminación vial es inadecuada**.

La falta de iluminación incrementa los riesgos de accidentes y disminuye la percepción de seguridad, particularmente en las noches.

**Carril Exclusivo de Bicicleta:** Un **66%** de los encuestados califica **positivamente** la existencia de carriles exclusivos, demostrando un **buen nivel de infraestructura ciclista**. No obstante, un **30%** lo considera regular, indicando oportunidades de mejora en:

- **Continuidad de las ciclovías.**
- **Condiciones físicas** (ancho, mantenimiento).
- **Protección efectiva** contra vehículos motorizados.

**Presencia de Dispositivos de Seguridad Vial:** Más del **56%** señala una **falta de dispositivos de seguridad vial** (señales, semáforos, marcas viales). Esto limita la seguridad de peatones y ciclistas y disminuye la efectividad de la infraestructura existente..

**Figuras 28 – 4 E y H. Gestión de la seguridad vial en el distrito:** La percepción sobre la **gestión de la seguridad vial** es **mixta**:

- Los hombres tienden a evaluarla mejor.
- El grupo de **25 a 34 años** tiene percepciones más **críticas**.

Esta sensibilidad crítica en los jóvenes adultos puede relacionarse con:

- Mayor frecuencia de uso de medios activos.

- Mayor exposición a incidentes viales.

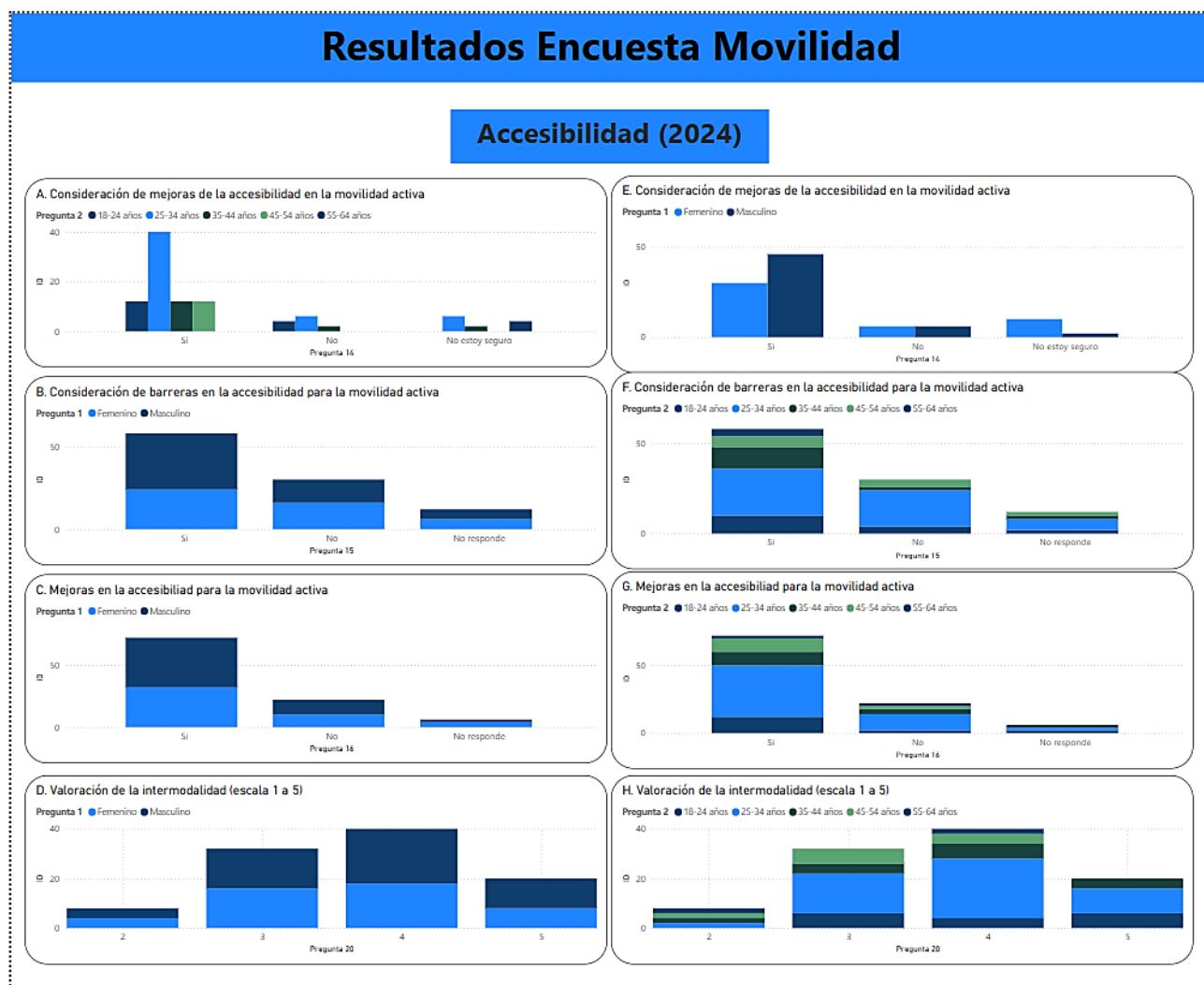
**Figuras 28 – 4 F e I. Medidas de seguridad vial para la movilidad activa:** Existe un consenso generalizado en la necesidad de implementar nuevas medidas de seguridad vial:

- Mayor señalización.
- Carriles exclusivos bien diseñados.
- Cruces peatonales seguros.
- Reducción de velocidades en zonas urbanas.

**Figuras 28 – 4 G y J. Calificación de la intermodalidad:** La mayoría de los usuarios califica la intermodalidad de manera positiva, lo cual es un indicador favorable hacia un sistema de transporte integrado. Sin embargo, aún se identifica un margen de mejora, principalmente en:

- Conectividad efectiva entre modos (bicicleta–tranvía, caminata–buses).
- Facilidades para el cambio modal (estacionamientos seguros, integración tarifaria).

**Figura 29 – 4** Resultados encuesta de movilidad del tranvía de Ayacucho – Accesibilidad.



*Nota.* La encuesta de movilidad recientemente presentada proporciona una visión exhaustiva de cómo los usuarios perciben este análisis de los resultados en la accesibilidad vial y fomentar el uso del transporte público.

**Figuras 29 – 4 A y E. Consideración de mejoras de la accesibilidad en la movilidad activa:** Los resultados muestran que tanto hombres como mujeres perciben una buena accesibilidad para la movilidad activa en general. Se destaca especialmente el grupo de edad 25 a 34 años, que presenta la mayor

proporción de respuestas positivas, coherente con su alta participación en actividades laborales y educativas. No obstante, la existencia de respuestas de “no estoy seguro” en todos los grupos etarios sugiere que aún existen zonas de ambigüedad o desconocimiento sobre las condiciones de accesibilidad, probablemente por falta de infraestructura homogénea o comunicación clara de las mejoras.

**Figuras 29 – 4 B y F. Consideración de barreras en la accesibilidad:** A pesar de una percepción global positiva, se identifican barreras claras para la movilidad activa:

- Falta de infraestructura adecuada (ciclovías, aceras seguras).
- Inseguridad vial, especialmente en zonas de alta velocidad vehicular o baja señalización.

Hombres y el grupo de 25 a 34 años tienden a minimizar las barreras en comparación con otros grupos, posiblemente por una mayor resiliencia física o frecuencia de uso. Sin embargo, grupos de mayor edad y mujeres reportan más barreras, reflejando vulnerabilidad diferenciada.

**Figuras 29 – 4 C y G. Mejoras en la accesibilidad:** Existe un consenso claro en la necesidad de realizar mejoras específicas:

- Construcción de nuevas ciclovías.
- Ampliación y mejoramiento de aceras.
- Instalación de señalización adecuada y accesible.

El grupo de 25 a 34 años y los hombres son los que más demandan estas mejoras, lo cual evidencia que, aunque son usuarios activos, reconocen la necesidad de condiciones más seguras y cómodas para caminar y pedalear.

**Figuras 29 – 4 B y F. Consideración de barreras en la accesibilidad:** Existe un consenso claro en la necesidad de realizar mejoras específicas:

- Construcción de nuevas ciclovías.
- Ampliación y mejoramiento de aceras.

- Instalación de señalización adecuada y accesible.

El grupo de 25 a 34 años y los hombres son los que más demandan estas mejoras, lo cual evidencia que, aunque son usuarios activos, reconocen la necesidad de condiciones más seguras y cómodas para caminar y pedalear.

**Figuras 29 – 4 D y H. Valoración de la intermodalidad:** La intermodalidad (facilidad de combinar distintos modos de transporte) es valorada positivamente en general:

- Especialmente bien calificada por hombres y el grupo 25 a 34 años.
- La valoración se concentra en puntuaciones de 3 y 4 en la escala de 1 a 5, indicando satisfacción moderada a alta, pero con áreas claras de mejora.

Entre las debilidades percibidas se encuentran:

- **Conexiones deficientes** entre modos activos (bicicleta, caminata) y modos colectivos (tranvía, metro).
- **Falta de infraestructura de soporte**, como cicloparqueaderos seguros o pasos peatonales fluidos.

El próximo apartado se centrará en los hallazgos clave de la caracterización de la seguridad vial en la Comuna 10 y los resultados de la encuesta de movilidad para el corredor del Tranvía de Ayacucho en Medellín. Se abordará la compleja relación entre la infraestructura vial y la frecuencia de accidentes, destacando los patrones de siniestralidad por edad, género, y tipo de accidente. Además, se analizarán las características demográficas de los usuarios del tranvía, sus preferencias de transporte, y su percepción de la seguridad vial. También se discutirá la satisfacción con los tiempos de desplazamiento y la intermodalidad, ofreciendo una visión integral de las necesidades y desafíos en la movilidad urbana de la zona.

## **4.7 Conclusiones del capítulo 4: Impactos sociales de la intermodalidad y el Tranvía de Ayacucho en la movilidad activa**

El análisis de la movilidad y la seguridad vial en la Comuna 10 de Medellín revela una situación crítica: más de 50,000 accidentes registrados evidencian un problema estructural profundo en el diseño urbano y las dinámicas de tránsito. Los adultos jóvenes (25-34 años) y los adultos mayores, particularmente del género masculino, se identifican como los grupos más vulnerables, lo cual subraya la necesidad de estrategias de prevención específicas y un enfoque diferenciado por edad y género.

La identificación de tramos críticos, como Palace (CR 50) y Avenida Oriental (CR 46), demuestra que el modelo de diseño urbano vigente prioriza la circulación vehicular sobre la seguridad de los peatones y ciclistas, limitando las condiciones para una movilidad activa segura. A pesar de intervenciones recientes, las mejoras han resultado insuficientes para corregir este enfoque y transformar los patrones de movilidad en favor de los usuarios más vulnerables.

Desde la perspectiva de los usuarios del Tranvía de Ayacucho, si bien la movilidad activa es percibida de forma generalmente positiva, existen deficiencias claras en la infraestructura, como iluminación inadecuada, señalización insuficiente y falta de accesos seguros, que comprometen su seguridad y confianza en el sistema. En cuanto a la intermodalidad, aunque los resultados muestran una valoración moderadamente positiva, persisten evidencias de un sistema fragmentado, con dificultades en la conexión efectiva entre diferentes modos de transporte (caminata, bicicleta, tranvía). Esta fragmentación limita el potencial de la movilidad activa como componente estratégico del sistema de transporte urbano.

En síntesis, los hallazgos reflejan la urgencia de repensar integralmente la movilidad en la Comuna 10, pasando de un modelo centrado en el vehículo a uno que priorice la seguridad, accesibilidad e integración modal, garantizando así una movilidad urbana más equitativa, inclusiva y sostenible para todos los ciudadanos.

En el siguiente capítulo se aborda la importancia de desarrollar estrategias para integrar de manera efectiva la movilidad activa, como caminar y andar en bicicleta, con el Tranvía de Ayacucho en Medellín. En un contexto de creciente urbanización y desafíos ambientales, la intermodalidad se presenta como una solución clave para mejorar la sostenibilidad, eficiencia y accesibilidad del transporte urbano. A través del análisis de buenas prácticas internacionales, políticas de planificación urbana, y la implementación de tecnologías inteligentes, el capítulo explora cómo esta integración puede reducir la dependencia del automóvil privado y potencial un sistema de movilidad más equilibrado y resiliente en la ciudad.



## **Capítulo 5 - Diseño de estrategias para fomentar la intermodalidad de la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho**

La movilidad urbana sostenible es un desafío crucial para las ciudades modernas, especialmente en el contexto de la creciente urbanización y los retos ambientales (Porto, 2024). En este marco, la intermodalidad entre la movilidad activa (como caminar y andar en bicicleta) y los sistemas de transporte público masivo, como el Tranvía de Ayacucho, representa una oportunidad significativa para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y accesibilidad del transporte urbano (Posada, 2024). El Tranvía de Ayacucho, ubicado en Medellín, Colombia, es un ejemplo de infraestructura de transporte público que tiene el potencial de integrarse con modos de movilidad activa (Ruiz, 2020). Sin embargo, para maximizar los beneficios de esta integración, es necesario diseñar estrategias específicas que fomenten y faciliten la intermodalidad (Shaheen, 2021).

Estas estrategias podrían abarcar aspectos como la planificación urbana, el diseño de infraestructura, políticas de transporte, educación ciudadana y el uso de tecnologías inteligentes (Pérez, 2023). El objetivo es crear un sistema de movilidad cohesivo que anime a los ciudadanos a combinar el uso del tranvía con modos de transporte activos, reduciendo así la dependencia del automóvil privado y mejorando la calidad de vida urbana (Tanikawa, 2021). La comprensión sobre este tema es fundamental para romper las barreras actuales a la intermodalidad, identificar las mejores prácticas a nivel global y desarrollar soluciones innovadoras adaptadas al contexto local de Medellín y el corredor del Tranvía de Ayacucho (Velásquez, 2024; Guamán, 2023).

En el siguiente apartado se aborda la revisión de buenas prácticas en el contexto local de Medellín, destacando los avances en su infraestructura de transporte a través del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), así como los desafíos que enfrenta la ciudad.

## 5. Revisión de buenas prácticas en el contexto local

### 5.1.1 Contexto

El Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín ha logrado avances significativos en la mejora de su infraestructura de transporte. El Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA) ha transformado la movilidad en la región, mejorando la calidad de vida de sus habitantes el cual está compuesto por diversas modalidades que han transformado la movilidad en la región y mejorado la calidad de vida de sus habitantes (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2022; Medellín, 2021).

- **Metro:** Desde su inauguración en 1995, el Metro de Medellín ha recorrido 31,3 kilómetros y transporta a 800.000 pasajeros diariamente a una velocidad promedio de 37 kilómetros/hora. Con dos líneas, 27 paradas y una flota de 80 trenes, ha tenido un impacto significativo en la vida de sus usuarios.
- **Cables:** Introducidos en 2004, los sistemas de cables suman 12,6 kilómetros y seis líneas, con 326 telecabinas. Estos no solo sirven como medio de transporte, sino que también se han convertido en una atracción turística, especialmente la línea que conecta con el Parque Arví.
- **Tranvía:** Operando desde 2016, el Tranvía cuenta con una línea de 4,3 kilómetros y nueve paradas, y utiliza una flota de 12 unidades. Su desarrollo ha incorporado un enfoque social, convirtiendo su corredor en una galería urbana que resalta la cultura local a través de murales y gastronomía.
- **Metroplús:** Desde 2011, este sistema cuenta con tres líneas que suman 27 kilómetros, apoyadas por 31 buses articulados y 57 buses padrones. La eficiencia del Metroplús se ha visto potencial por sus carriles exclusivos y se espera que su conexión con Envigado e Itagüí mejore aún más la integración del sistema.
- **Buses Alimentadores y Rutas Integradas:** Complementando la red, se han establecido 33 servicios de buses alimentadores, organizados por cuencas, utilizando 370 vehículos. Este enfoque facilita los desplazamientos de los usuarios, optimizando tanto los costos como la eficiencia del transporte en la región.

### 5.1.2 Iniciativas y Programas Actuales

Medellín, reconocida como el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación, ha emergido como un referente latinoamericano en la implementación de soluciones de movilidad urbana sostenible e integrada. En la última década, la ciudad ha desarrollado un conjunto cohesivo de iniciativas y programas que buscan transformar la manera en que sus ciudadanos se desplazan, priorizando la intermodalidad, la movilidad activa y la reducción de la huella de carbono (Medellín, 2021; Departamento Nacional de Planeación, 2020). Estas estrategias no solo abordan los desafíos de transporte y conectividad, sino que también se alinean con objetivos más amplios de sostenibilidad ambiental, equidad social y desarrollo económico (Gehl, 2014).

El enfoque holístico de Medellín para la movilidad urbana se refleja en una serie de planes y programas interconectados que abarcan desde la infraestructura física hasta cambios culturales y tecnológicos. A continuación, se presentan las principales iniciativas que están moldeando el futuro de la movilidad en la ciudad, cada una respaldada por estudios y políticas basadas en evidencia.

- **Plan de Desarrollo Medellín Futuro 2020-2023:** Este plan integral busca integrar diferentes modos de transporte y mejorar la accesibilidad, priorizando a los actores viales más vulnerables, como peatones y ciclistas (Alcaldía de Medellín, 2020). En este contexto, la movilidad activa, representada por caminatas y el uso de la bicicleta, juega un papel clave en la reducción del impacto ambiental y la promoción de un transporte más saludable. Además, el sistema de movilidad de Medellín ha evolucionado para fomentar la intermodalidad, permitiendo que los viajes en modos no motorizados se articulen con el transporte público, como el Tranvía de Ayacucho, el Metro y el sistema de bicicletas públicas EnCicla (Giménez, 2024).
- **Programa de Incentivos "Pedalea por Medellín":** Este innovador programa de incentivos se inspira en iniciativas similares en ciudades como Copenhague y Ámsterdam, adaptadas al contexto colombiano (Jardón, 2023). Un estudio piloto demostró un aumento del 15% en el uso de bicicletas en combinación con el transporte público durante los primeros seis meses de implementación (Vega, 2020).

- **Plan Maestro de la Bicicleta 2030:** Este ambicioso plan se fundamenta en un extenso estudio de movilidad que proyecta los beneficios a largo plazo de una red de ciclorrutas integrada (Ministerio de Transporte, 2022). La meta de aumentar la participación modal de la bicicleta al 10% se basa en modelos predictivos que consideran factores demográficos, geográficos y culturales únicos de Medellín (Ministerio de Transporte, 2020).
- **Programa "Calles para la Vida":** La peatonalización y mejora de infraestructura peatonal se sustenta en estudios de accidentalidad y calidad del aire que demuestran los beneficios multidimensionales de priorizar al peatón (Tanikawa, 2021). Un análisis de impacto preliminar muestra una reducción del 40% en accidentes de tránsito en las áreas intervenidas (Fernández, 2024).

### 5.1.3 Desafíos y Oportunidades

A pesar de los avances significativos en movilidad sostenible, Medellín continúa enfrentando desafíos importantes (Concejo de Medellín, 2023):

**A. Infraestructura en Áreas Periféricas:** Persiste la falta de infraestructura adecuada en algunas zonas periféricas de la ciudad.

- El Plan 2024-2027 identifica 15 barrios prioritarios para la expansión de redes de transporte público y ciclorrutas.

**B. Percepciones Culturales:**

- Existe la necesidad de cambiar percepciones culturales sobre el uso de la bicicleta y el caminar como medios de transporte viables.
- El nuevo plan incluye una campaña de comunicación masiva "Medellín se Mueve Diferente" para abordar este desafío.

**C. Topografía Compleja:**

- La topografía de la ciudad sigue siendo un obstáculo para la implementación uniforme de infraestructura para movilidad activa.
- Se propone un estudio detallado de microtopografía para optimizar el diseño de rutas ciclistas y peatonales.

**D. Congestión Vehicular:**

- El aumento continuo del parque automotor genera presión sobre la infraestructura vial existente.
- El Plan 2024-2027 propone la implementación de un sistema de peaje urbano en el centro de la ciudad.

**E. Calidad del Aire:**

- La contaminación atmosférica sigue siendo una preocupación mayor, especialmente en el valle.
- Se plantea la creación de una Zona de Bajas Emisiones (ZBE) en el centro histórico y comercial.

**F. Oportunidades e Innovaciones:** El Plan de Desarrollo Distrital 2024-2027 "Medellín te quiere" en su pilar 4 propone estrategias para garantizar la sostenibilidad, calidad de vida e inclusión mediante la generación y mantenimiento de infraestructuras para el espacio público y movilidad (Concejo de Medellín, 2023).

**G. Sistema de Bicicletas Eléctricas Compartidas:**

- Implementación de una red de 5,000 bicicletas eléctricas compartidas.
- Instalación de 200 estaciones de carga, priorizando zonas de alta pendiente.

**H. Desarrollo de "Supermanzanas":**

- Proyecto piloto de 5 supermanzanas en diferentes zonas de la ciudad.
- Restricción del tráfico motorizado y priorización del tránsito peatonal y ciclista.
- Objetivo de reducir el tráfico interno en un 70% en estas áreas.

**I. Creación de "Corredores Verdes":**

- Desarrollo de 30 kilómetros de corredores verdes que conecten parques, espacios públicos y estaciones del Tranvía.
- Incorporación de infraestructura verde para mitigación de islas de calor y mejora de la calidad del aire.

**J. Expansión del Sistema de Transporte Masivo:**

- Construcción de dos nuevas líneas de Metroplús, agregando 15 kilómetros a la red existente.
- Estudio de factibilidad para una nueva línea de metro ligero en el eje norte-sur de la ciudad

**K. Movilidad Inteligente:**

- Implementación de un Centro de Control de Tráfico Inteligente con IA para optimización en tiempo real.
- Despliegue de 1,000 sensores IoT para monitoreo de flujo de tráfico y calidad del aire.

**L. Electromovilidad:**

- Meta de electrificar el 50% de la flota de buses públicos para 2027.
- Instalación de 500 puntos de carga rápida para vehículos eléctricos en toda la ciudad.

**M. Logística Urbana Sostenible:**

- Creación de 10 centros de distribución de última milla con vehículos eléctricos y cargo-bikes.
- Implementación de un sistema de entrega nocturna para reducir la congestión diurna.

**N. Inclusión y Accesibilidad:**

- Programa "Movilidad para Todos" enfocado en mejorar la accesibilidad para personas con movilidad reducida.
- Adaptación del 100% de las estaciones de transporte público para accesibilidad universal.

El Plan de Desarrollo Distrital 2024-2027 "Medellín te quiere" representa una visión integral que no solo busca abordar los desafíos actuales, sino también posicionar a Medellín como un referente global en movilidad sostenible e innovadora. La implementación exitosa de estas iniciativas requerirá una colaboración estrecha entre el sector público, privado y la comunidad, así como una inversión significativa en infraestructura y tecnología (Concejo de Medellín, 2023).

Estas estrategias para fomentar la intermodalidad entre la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho en Medellín son fundamentales para avanzar hacia una ciudad más sostenible y equitativa. La integración efectiva de diferentes modos de transporte no solo mejora la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también contribuye significativamente a la reducción de emisiones y al uso eficiente del espacio urbano (Chakraborty, 2021).

En el siguiente apartado se exploran las políticas de incentivos para fomentar la intermodalidad en Medellín. Se centra en las políticas de incentivos, como programas de recompensas por movilidad. A continuación, se analizarán los impactos y las estrategias necesarias para consolidar esta transformación en la movilidad urbana.

## 5.2 Políticas pro movilidad

La movilidad urbana en Medellín ha evolucionado hacia un modelo más sostenible, priorizando la reducción de la congestión vehicular, la mejora de la calidad del aire y la promoción de estilos de vida más saludables (Gehl, 2022). En este contexto, el Tranvía de Ayacucho se ha consolidado como un componente central de la estrategia de movilidad activa de la ciudad, facilitando la conexión con otros sistemas de transporte y fomentando la intermodalidad. A través de este sistema, Medellín no solo busca mejorar la infraestructura de transporte, sino también transformar los hábitos de movilidad de sus ciudadanos (Giménez, 2024).

Las políticas orientadas a fortalecer la movilidad, basadas en el consejo nacional de política económica y social república de Colombia mediante el lineamiento 3991 del 14 de abril del 2020 (Departamento Nacional de Planeación, 2020), son esenciales para maximizar el impacto del tranvía como eje de movilidad sostenible. Estas políticas buscan no solo mejorar la eficiencia del sistema de transporte, sino también impulsar un cambio cultural hacia hábitos más sostenibles en la movilidad diaria (Ramírez, 2023; González, 2023). A continuación, se destacan algunas políticas propuestas y en ejecución en el caso del tranvía de Ayacucho:

- a) **Programa de recompensas por movilidad sostenible:** Tal como se propone, este programa busca premiar el uso de modos de transporte sostenibles combinados con el transporte público. En el caso específico del Metro, este tipo de incentivos es especialmente relevante para promover la conexión con los sistemas de bicicletas públicas de la ciudad (Congreso de Colombia, 2016). Medellín cuenta con ciclovías y sistemas de préstamo de bicicletas como EnCicla, lo que permite una integración más fluida entre el tranvía y las bicicletas. Al combinar estos modos de transporte, se ofrece una alternativa atractiva y no contaminante para los trayectos cortos y medios, favoreciendo la movilidad activa (Daza, 2024).

- b) Tarifas integradas para viajes multimodales:** En Medellín, la tarjeta Cívica permite a los usuarios del sistema de transporte público utilizar una sola tarjeta para acceder al metro, buses, Metrocables y el tranvía. La propuesta de tarifas integradas podría mejorar aún más la experiencia del usuario, incentivando la combinación de medios de transporte sin que esto implique un incremento considerable en los costos (Gil, 2024). El tranvía de Ayacucho se integra directamente con el sistema Metro, lo que ya facilita la intermodalidad. Sin embargo, avanzar hacia tarifas más asequibles y optimizadas para los usuarios que combinan varios modos en un solo trayecto potencializando así más esta estrategia (Giménez, 2024).
- c) Infraestructura complementaria para la intermodalidad:** Para que estas políticas sean efectivas, es crucial el desarrollo de infraestructura complementaria. En las estaciones del tranvía de Ayacucho se ha priorizado la construcción de parqueaderos para bicicletas, aceras peatonales amplias y espacios de conexión segura con buses y otros medios de transporte (Giménez, 2024). Esta infraestructura facilita la transición fluida entre diferentes modos de transporte, haciendo que la intermodalidad no solo sea una opción, sino una preferencia natural para los usuarios (Gómez, 2021).

### **5.3 Estrategias de Intermodalidad para el Tranvía de Ayacucho: Evaluación, Diseño y Seguimiento**

La movilidad urbana es un desafío crítico en las ciudades contemporáneas, donde la intermodalidad se presenta como una estrategia clave para optimizar el transporte y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos (Stull, 2023). En este contexto, el Tranvía de Ayacucho emerge como un componente esencial del sistema de transporte de la Comuna 10 en la ciudad de Medellín, y su correcta integración con otros modos de transporte es fundamental para abordar los problemas de congestión, seguridad vial y sostenibilidad (Stull, 2023). Es así como en el desarrollo de estrategias de intermodalidad, se comienza con una evaluación exhaustiva de la seguridad vial y la movilidad en la zona (Corinto, 2023). A través de un análisis detallado de la siniestralidad, el perfil demográfico de los usuarios y la percepción de seguridad, se identifican patrones que informan el diseño de



intervenciones efectivas. Estas estrategias no solo buscan mejorar la infraestructura y la señalización, sino también fomentar comportamientos sostenibles a través de políticas de incentivos (Rojas, 2023). Además, se plantea un riguroso proceso de validación y priorización de estas estrategias, seguido por el desarrollo de indicadores de seguimiento que permitirán medir el impacto y la efectividad de las acciones implementadas. Así, esta sección proporciona un enfoque integral y basado en evidencia para transformar la movilidad en la Comuna 10, promoviendo un entorno más seguro y accesible para todos (Ramírez, 2023).

### 5.3.1 Evaluación

La evaluación integral de los hallazgos de la caracterización de seguridad vial en la Comuna 10 y la encuesta de movilidad del corredor vial del Tranvía de Ayacucho revela patrones complejos de movilidad urbana que requieren un enfoque multidisciplinario para su abordaje efectivo. Es así como se presentan los hallazgos de los capítulos anteriores, se sintetiza la data a través de tabulación de estas basadas en datos abiertos Medellín de accidentes y resultados encuesta de movilidad corredor vial Tranvía, para un diseño preliminar de las estrategias de mejora:

**Tabla 1 – 5** Estadísticas basadas en datos abiertos Medellín de Accidentes, Comuna 10

| <b>Categoría</b>           | <b>Hallazgos Clave</b>                                                           |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Accidentes Totales</b>  | 50,229 accidentes en 15 años                                                     |
| <b>Grupos de Edad</b>      | Adultos (20-40) son los más afectados                                            |
| <b>Género</b>              | Los hombres tienen más probabilidades de verse involucrados en siniestros viales |
| <b>Tipos de Accidentes</b> | Colisiones y accidentes peatonales son los más comunes                           |
| <b>Modos de Transporte</b> | Motocicletas y peatones son los más afectados                                    |
| <b>Hora del Día</b>        | Las horas pico (7 AM - 8 PM) presentan las tasas más altas de accidentes         |
| <b>Ubicaciones</b>         | La CR 50 y la Avenida Oriental CR 46 tienen la mayor severidad                   |

*Nota.* En la tabla se resume los hallazgos del capítulo 3 del presente trabajo con las estadísticas de datos abiertos de la ciudad de Medellín.

**Tabla 2 – 5** Resultados Encuesta de Movilidad Corredor Vial Tranvía

| Categoría               | Hallazgos Clave                                                                            |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Demografía              | Mayormente hombres, de 25 a 44 años, de estratos socioeconómicos 3 y 4                     |
| Motivos de Viaje        | Trabajo, estudio, compras y salud                                                          |
| Modos de Transporte     | Transporte público, bicicleta y a pie                                                      |
| Percepción de Seguridad | Percepciones mixtas, con preocupaciones sobre la infraestructura peatonal y la iluminación |
| Intermodalidad          | Percepción positiva, con sugerencias para mejorar conexiones                               |

*Nota.* En la tabla se resume los hallazgos del capítulo 3 del presente trabajo con las estadísticas de datos abiertos de la ciudad de Medellín.

### 5.3.2 Diseño preliminar de estrategias

El presente análisis se enfoca en la optimización de la intermodalidad en el sistema de transporte de Medellín, específicamente entre el Tranvía de Ayacucho y los modos de movilidad activa. Para ello, se utiliza la metodología tripartita de "Evitar, Cambiar y Mejorar" desarrollada por el parlamento alemán en 1994 (Stull, 2023), que ha sido adoptada por varias ciudades para promover una movilidad urbana sostenible y eficiente. A continuación, se detallan las estrategias, divididas en cada uno de los tres componentes de la metodología:

#### 5.3.2.1 Evitar

##### Prevención de Accidentes

- **Mejora propuesta:** Ampliar los programas de educación vial con simuladores virtuales y realidad aumentada (RA) para enseñar a peatones y biciusuarios cómo interactuar con el tranvía en cruces críticos, complementando los controles de velocidad con "bump-outs" (extensiones de aceras) en estaciones clave como San José o Miraflores.
- **Justificación:** Estudios como Useche et al. (2018) muestran que la educación inmersiva mejora un 25% la retención de normas de tránsito. Además, los bump-outs reducen la velocidad vehicular y protegen a peatones (Pucher & Buehler, 2008).

- **Aporte práctico:** Implementar un piloto en escuelas cercanas al corredor Ayacucho con RA, y medir su impacto en la reducción de incidentes peatonales.

### **Expansión del Parque Automotor y Tarifas Preferenciales**

- **Mejora propuesta:** Introducir minibuses eléctricos alimentadores en rutas cortas hacia el tranvía, combinados con tarifas preferenciales escalonadas según la distancia al nodo intermodal (ejemplo: gratis dentro de 1 km, 50% de descuento entre 1-3 km). Reforzar el pico y placa con días sin carro específicos para biciusuarios y peatones.
- **Justificación:** Villegas (2024) sugiere que la electrificación de alimentadores reduce emisiones, mientras que incentivos escalonados fomentan la intermodalidad (Departamento Nacional de Planeación, 2020).
- **Aporte práctico:** Diseñar un esquema piloto en la estación Oriente, integrando minibuses eléctricos con EnCicla para evaluar la adopción.

## **5.3.2.2 Cambiar**

### **Integración Modal**

- **Mejora propuesta:** Expandir el sistema de bicicletas públicas con estaciones móviles (reubicables según demanda) y añadir senderos peatonales sombreados con vegetación nativa en el radio de 500 m, mejorando la experiencia y la resiliencia climática.
- **Justificación:** Fishman et al. (2015) destacan que la flexibilidad de estaciones aumenta el uso de bicicletas públicas en un 20%, y Gehl (2010) subraya que la vegetación mejora la caminabilidad.
- **Aporte práctico:** Probar estaciones móviles en Miraflores y medir el aumento de usuarios intermodales.

### **Priorización de la Movilidad Activa**

- **Mejora propuesta:** Diseñar ciclorrutas alimentadoras bidireccionales con pavimento diferenciado (ejemplo: rojo para bicis, verde para peatones) y extender las "Zonas 30" a un corredor continuo de baja velocidad a lo largo de todo el tranvía.
- **Justificación:** Pucher y Buehler (2008) muestran que ciclorrutas segregadas aumentan la seguridad un 30%, y las zonas de baja velocidad continuas reducen conflictos (Alcaldía de Medellín, 2019).
- **Aporte práctico:** Implementar un tramo piloto entre San Antonio y Oriente con pavimento diferenciado.

### **Infraestructura de Estacionamiento y Corredores de Movilidad Activa**

- **Mejora propuesta:** Incorporar estacionamientos modulares para bicicletas con energía solar para cargar e-bikes, y diseñar corredores activos con señalización táctil y sonora para personas con discapacidad visual o auditiva.
- **Justificación:** Caggiani et al. (2021) destacan que el monitoreo IoT reduce robos en un 40%, y Sharma et al. (2016) abogan por accesibilidad universal.
- **Aporte práctico:** Instalar un estacionamiento solar en San José y evaluar su uso por biciusuarios eléctricos.

### **Comportamientos y Concientización**

- **Mejora propuesta:** Lanzar una app gamificada que otorgue puntos canjeables por viajes en tranvía a quienes registren caminatas o pedaleos, combinada con murales interactivos en estaciones que promuevan la movilidad activa.
- **Justificación:** Useche et al. (2018) indican que la gamificación incrementa la participación en un 15%, y el arte urbano refuerza mensajes (Ministerio de Ambiente, 2022).
- **Aporte práctico:** Desarrollar un prototipo de app con EnCicla y probarlo en el corredor Ayacucho.

### **Sistema de Tarifa Dinámica**

- **Mejora propuesta:** Ajustar tarifas dinámicas no solo por demanda, sino también por impacto ambiental, ofreciendo descuentos a usuarios que eviten horas pico o combinen modos activos con el tranvía.
- **Justificación:** Ma et al. (2018) muestran que algoritmos adaptativos redistribuyen el flujo un 20% más eficientemente.
- **Aporte práctico:** Integrar esta lógica en la tarjeta Cívica y medir su efecto en la congestión.

### **Micromovilidad Compartida**

- **Mejora propuesta:** Crear "microhubs" de patinetes y e-bikes en estaciones del tranvía con incentivos como 10 minutos gratis al combinarlos con un viaje en tranvía.
- **Justificación:** Shaheen (2021) señala que los microhubs aumentan la adopción de micromovilidad en un 25%.
- **Aporte práctico:** Instalar un microhub piloto en Miraflores y evaluar su intermodalidad.

### **Teletrabajo y Movilidad**

- **Mejora propuesta:** Ofrecer paquetes de teletrabajo vinculados al tranvía, como días flexibles con descuentos en transporte público para quienes asistan presencialmente solo ciertos días.
- **Justificación:** Allen (2020) sugiere que el teletrabajo reduce viajes en un 15-20%, liberando capacidad en el sistema.
- **Aporte práctico:** Colaborar con empresas del Valle de Aburrá para un piloto.

### **Plataforma de Información Multimodal**

- **Mejora propuesta:** Añadir predicciones de clima y calidad del aire en la app, con alertas que sugieran modos activos o tranvía según condiciones.

- **Justificación:** Nuzzolo y Comi (2016) indican que la personalización mejora la satisfacción del usuario en un 30%.
- **Aporte práctico:** Integrar datos de SIATA (Sistema de Alertas de Medellín) en la app.

### 5.3.2.3 Mejorar

#### Acceso Equitativo

- **Mejora propuesta:** Implementar "tranvía comunitario" con horarios y tarifas subsidiadas para barrios vulnerables cercanos (ejemplo: Comuna 8), combinado con talleres de movilidad inclusiva.
- **Justificación:** Martens (2020) aboga por subsidios focalizados para reducir brechas de acceso.
- **Aporte práctico:** Probar un horario subsidiado en fines de semana y medir su impacto social.

#### Sistema de Señalización Inteligente

- **Mejora propuesta:** Usar señalización LED con mensajes personalizados (ejemplo: "Cruce peatonal en 10 m") y sensores que prioricen el paso de peatones y bicis en cruces con el tranvía.
- **Justificación:** Yan et al. (2020) muestran que la señalización adaptativa reduce tiempos de espera un 15%.
- **Aporte práctico:** Instalar un sistema piloto en San Antonio.

#### Infraestructura Complementaria

- **Mejora propuesta:** Construir pasos peatonales elevados y techados en estaciones clave, integrados con estaciones de carga para e-bikes.
- **Justificación:** Martens (2007) destaca que la infraestructura elevada mejora la seguridad peatonal.

- **Aporte práctico:** Diseñar un paso elevado en Oriente con paneles solares.

#### Gestión del Tráfico

- **Mejora propuesta:** Implementar semáforos con prioridad para peatones y bicis en un ciclo adaptativo que favorezca el acceso al tranvía en horas pico.
- **Justificación:** Asociación Internacional de Transporte Público (2019) indica que los Sistemas de Transporte Inteligente mejoran la fluidez un 20%.
- **Aporte práctico:** Probar semáforos adaptativos en Miraflores.

#### Participación Ciudadana

- **Mejora propuesta:** Crear una plataforma digital de participación con votaciones en línea sobre mejoras específicas (ejemplo: más ciclorrutas o zonas peatonales), complementada con "días de prueba" de nuevas medidas.
- **Justificación:** Ministerio de Transporte (2018) resalta que la participación activa aumenta la aceptación.
- **Aporte práctico:** Lanzar un piloto de votación para el corredor Ayacucho.

### 5.3.3 Validación de Estrategias

Para garantizar la viabilidad de las estrategias propuestas para mejorar la integración del Tranvía de Ayacucho con la movilidad activa, se deben aplicar metodologías de evaluación y validación que permitan asegurar su efectividad, factibilidad técnica y aceptación por parte de los usuarios. A continuación, se presenta una tabla que describe las estrategias planteadas y las posibles metodologías de validación:

**Tabla 3 – 5** Validación de estrategias de intermodalidad.

| Estrategia                                                                    | Metodología de Validación                                                                                                                                                              | Soporte en Estudios Previos                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>4.3.2.1 Evitar</b>                                                         |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                            |
| Prevención de Accidentes:<br>Programas con RA y bump-outs                     | Implementar un piloto en escuelas cercanas al corredor Ayacucho con simuladores de RA. Medir reducción de incidentes peatonales en 6 meses mediante encuestas y registros de tránsito. | Useche et al. (2018): Educación inmersiva mejora retención de normas. Pucher & Buehler (2008): Bump-outs reducen riesgos.  |
| Expansión del Parque Automotor y Tarifas Preferenciales: Minibuses eléctricos | Probar minibuses eléctricos en la estación Oriente durante 3 meses. Evaluar adopción con conteo de usuarios y encuestas de satisfacción.                                               | Villegas (2024): Electrificación reduce emisiones. DNP (2020): Tarifas escalonadas fomentan intermodalidad.                |
| <b>4.3.2.2 Cambiar</b>                                                        |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                            |
| Integración Modal: Bicicletas públicas móviles y senderos sombreados          | Instalar estaciones móviles en Miraflores durante 4 meses. Medir aumento de usuarios intermodales con sensores y análisis de EnCicla.                                                  | Fishman et al. (2015): Estaciones flexibles aumentan uso. Gehl (2010): Vegetación mejora caminabilidad.                    |
| Priorización de la Movilidad Activa: Ciclorrutas bidireccionales y Zonas 30   | Diseñar un tramo piloto entre San Antonio y Oriente. Evaluar seguridad y uso con cámaras y conteo de ciclistas/peatones en 3 meses.                                                    | Pucher & Buehler (2008): Ciclorrutas segregadas son más seguras. Alcaldía de Medellín (2019): Zonas 30 reducen conflictos. |
| Infraestructura de Estacionamiento y Corredores: Estacionamientos solares     | Instalar un estacionamiento solar en San José. Monitorear uso y robos con IoT durante 6 meses, comparando con estaciones sin tecnología.                                               | Caggiani et al. (2021): IoT reduce robos. Sharma et al. (2016): Infraestructura accesible mejora adopción.                 |
| Comportamientos y Concientización: App gamificada y murales                   | Desarrollar un prototipo de app y probarlo en el corredor Ayacucho durante 3 meses. Medir participación con descargas y puntos canjeados.                                              | Useche et al. (2018): Gamificación aumenta participación. Min. Ambiente (2022): Arte refuerza mensajes.                    |
| Sistema de Tarifa Dinámica: Descuentos por impacto ambiental                  | Integrar en la tarjeta Cívica un piloto de 4 meses. Analizar redistribución de usuarios con datos de transacciones y encuestas.                                                        | Ma et al. (2018): Algoritmos adaptativos optimizan flujo.                                                                  |
| Micromovilidad Compartida: Microhubs de patinetes y e-bikes                   | Instalar un microhub en Miraflores. Evaluar uso combinado con tranvía mediante conteo de viajes y retroalimentación de usuarios en 3 meses.                                            | Shaheen (2021): Microhubs potencian micromovilidad.                                                                        |
| Teletrabajo y Movilidad: Paquetes flexibles con descuentos                    | Colaborar con empresas para un piloto de 6 meses. Medir reducción de viajes y uso del tranvía con encuestas y datos de Cívica.                                                         | Allen (2020): Teletrabajo reduce congestión.                                                                               |
| Plataforma de Información Multimodal: App con clima y calidad del aire        | Integrar datos de SIATA en una app piloto. Evaluar satisfacción y uso con encuestas y analítica de descargas tras 3 meses.                                                             | Nuzzolo & Comi (2016): Personalización mejora experiencia.                                                                 |



| 4.3.2.3 Mejorar                                                               |                                                                                                                                                 |                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Acceso Equitativo:<br>Tranvía comunitario para<br>barrios vulnerables         | Probar horarios subsidiados en fines de<br>semana durante 4 meses. Medir impacto<br>social con encuestas y conteo de usuarios<br>en Comuna 8.   | Martens (2020): Subsidios<br>focalizados reducen brechas.      |
| Sistema de Señalización<br>Inteligente: LED y<br>sensores                     | Instalar un sistema piloto en San Antonio.<br>Evaluar tiempos de espera y seguridad<br>con sensores y retroalimentación peatonal<br>en 3 meses. | Yan et al. (2020): Señalización<br>adaptativa mejora flujo.    |
| Infraestructura<br>Complementaria: Pasos<br>elevados y estaciones de<br>carga | Diseñar un paso elevado en Oriente.<br>Medir uso y seguridad con conteo de<br>peatones y encuestas tras 6 meses.                                | Martens (2007): Infraestructura<br>elevada protege peatones.   |
| Gestión del Tráfico:<br>Semáforos con prioridad<br>peatonal                   | Probar semáforos adaptativos en<br>Miraflores durante 3 meses. Analizar<br>fluidez con datos de tráfico y tiempos de<br>cruce.                  | UITP (2019): ITS optimiza flujo<br>vehicular y peatonal.       |
| Participación Ciudadana:<br>Plataforma digital y días<br>de prueba            | Lanzar una votación en línea y un día de<br>prueba en el corredor Ayacucho. Medir<br>aceptación con participación y encuestas<br>tras 2 meses.  | Min Transporte (2018):<br>Participación aumenta<br>aceptación. |

*Nota.* En la anterior tabla se hace un compilado de las estrategias de intermodalidad de los actores viales con su respectiva metodología validación.

Las estrategias anteriores, están basadas en los lineamientos del Plan Maestro de Movilidad para el Valle de Aburrá complementan y fortalecen las acciones orientadas a mejorar la intermodalidad entre el Tranvía de Ayacucho y otros modos de movilidad activa en la ciudad de Medellín. Estas estrategias enfocadas en pro la movilidad sostenible, accesible y eficiente, alineándose con los objetivos del PMMVA de mejorar la calidad de vida, reducir la congestión y las emisiones, y promover el uso del transporte público.

### 5.3.4 Refinamiento y priorización de las estrategias propuestas.

Para el refinamiento y priorización de las estrategias de movilidad urbana sostenible en Medellín, centrándonos en la movilidad activa, utilizamos la metodología tripartita de "Evitar, Cambiar y Mejorar" desarrollada por el parlamento alemán en 1994 (Stull, 2023). Esta metodología permite categorizar las intervenciones con el fin de priorizar las acciones más efectivas y sostenibles en relación con los objetivos de movilidad activa. A

continuación, se presenta una tabla con las estrategias previamente descritas, donde se priorizan las acciones centradas en la movilidad activa por encima de los demás modos de transporte, y se incluye un campo adicional para justificar su priorización.

**Tabla 4 – 5** Priorización de estrategias.

| Estrategia                                                                       | Metodología de Validación                                                                          | Nivel de Prioridad | Justificación de Priorización                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>4.3.2.1 Evitar</b>                                                            |                                                                                                    |                    |                                                                                                                                         |
| Prevención de Accidentes:<br>Programas con RA y bump-outs                        | Piloto en escuelas con RA. Medir reducción de incidentes en 6 meses con encuestas y registros.     | Alta               | Fomenta seguridad peatonal y ciclista directamente, clave para movilidad activa. Reduce riesgos en cruces con el tranvía (Stull, 2023). |
| Expansión del Parque Automotor y Tarifas Preferenciales:<br>Minibuses eléctricos | Piloto de minibuses en Oriente por 3 meses. Evaluar adopción con conteo y encuestas.               | Media              | Apoya la intermodalidad, pero prioriza transporte motorizado sobre modos activos. Impacto indirecto en peatones/biciusuarios.           |
| <b>4.3.2.2 Cambiar</b>                                                           |                                                                                                    |                    |                                                                                                                                         |
| Integración Modal:<br>Bicicletas públicas móviles y senderos sombreados          | Estaciones móviles en Miraflores por 4 meses. Medir usuarios intermodales con sensores y EnCicla.  | Alta               | Potencia el uso de bicicletas y caminatas hacia el tranvía, promoviendo movilidad activa sostenible (Stull, 2023).                      |
| Priorización de la Movilidad Activa:<br>Ciclorrutas bidireccionales y Zonas 30   | Tramo piloto entre San Antonio y Oriente. Evaluar seguridad y uso con cámaras y conteo en 3 meses. | Alta               | Infraestructura directa para biciusuarios y peatones, con alta sostenibilidad y seguridad, alineada con ECM "Cambiar" (Stull, 2023).    |
| Infraestructura de Estacionamiento y Corredores:<br>Estacionamientos solares     | Estacionamiento solar en San José. Monitorear uso y robos con IoT por 6 meses.                     | Alta               | Incentiva el uso de bicicletas (incluyendo e-bikes) al garantizar seguridad y accesibilidad, prioridad en movilidad activa.             |
| Comportamientos y Concientización: App gamificada y murales                      | Prototipo de app en Ayacucho por 3 meses. Medir participación con descargas y puntos.              | Media              | Promueve movilidad activa, pero depende de adopción tecnológica y cultural; impacto                                                     |

|                                                                        |                                                                                                         |       |                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                        |                                                                                                         |       | menos inmediato que infraestructura física.                                                                                        |
| Sistema de Tarifa Dinámica: Descuentos por impacto ambiental           | Piloto en tarjeta Cívica por 4 meses. Analizar redistribución con transacciones y encuestas.            | Media | Apoya intermodalidad, pero beneficia más al transporte público que a peatones/biciusuarios directamente.                           |
| Micromovilidad Compartida: Microhubs de patinetes y e-bikes            | Microhub en Miraflores. Evaluar uso combinado con tranvía con conteo y retroalimentación en 3 meses.    | Media | Fomenta micromovilidad activa, pero menos prioritaria que bicicletas/caminatas por su dependencia de tecnología y menor alcance.   |
| Teletrabajo y Movilidad: Paquetes flexibles con descuentos             | Piloto con empresas por 6 meses. Medir reducción de viajes y uso del tranvía con encuestas y datos.     | Baja  | Reduce viajes, pero no impulsa movilidad activa; beneficio indirecto al tranvía, no a peatones/biciusuarios.                       |
| Plataforma de Información Multimodal: App con clima y calidad del aire | App piloto con datos de SIATA. Evaluar satisfacción y uso con encuestas y analítica tras 3 meses.       | Media | Mejora la experiencia intermodal, pero su foco en información tiene menor impacto directo en movilidad activa que infraestructura. |
| <b>4.3.2.3 Mejorar</b>                                                 |                                                                                                         |       |                                                                                                                                    |
| Acceso Equitativo: Tranvía comunitario para barrios vulnerables        | Horarios subsidiados en fines de semana por 4 meses. Medir impacto con encuestas y conteo en Comuna 8.  | Media | Garantiza inclusión, pero su enfoque en transporte público tiene menor prioridad frente a movilidad activa directa.                |
| Sistema de Señalización Inteligente: LED y sensores                    | Sistema piloto en San Antonio. Evaluar tiempos y seguridad con sensores y retroalimentación en 3 meses. | Alta  | Mejora seguridad y flujo peatonal/ciclista en cruces con el tranvía, esencial para movilidad activa (Stull, 2023).                 |
| Infraestructura Complementaria: Pasos elevados y estaciones de carga   | Paso elevado en Oriente. Medir uso y seguridad con conteo y encuestas tras 6 meses.                     | Alta  | Infraestructura física que protege y fomenta el acceso activo al tranvía, alta prioridad en ECM "Mejorar" (Stull, 2023).           |

|                                                                       |                                                                                                                         |       |                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gestión del Tráfico:<br>Semáforos con<br>prioridad peatonal           | Semáforos adaptativos<br>en Miraflores por 3<br>meses. Analizar fluidez<br>con datos y tiempos de<br>cruce.             | Alta  | Prioriza peatones y bicis en la<br>interacción con el tranvía,<br>clave para seguridad y<br>movilidad activa sostenible.         |
| Participación<br>Ciudadana:<br>Plataforma digital y<br>días de prueba | Votación en línea y día<br>de prueba en Ayacucho.<br>Medir aceptación con<br>participación y<br>encuestas tras 2 meses. | Media | Apoya la sostenibilidad social,<br>pero su impacto en movilidad<br>activa es indirecto y depende<br>de implementación posterior. |

*Nota.* En la anterior tabla se hace una priorización de las estrategias de intermodalidad de los actores viales con su respectiva justificación.

### Consideraciones

**Nivel de Prioridad:** Las estrategias prioritarias se alinean con El Plan Maestro de Movilidad para el Valle de Aburrá, desarrollado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y los principios de movilidad sostenible, la mejora de la seguridad y accesibilidad para peatones y ciclistas.

**Justificación:** Las estrategias con alta prioridad se centran en crear infraestructuras y políticas que favorezcan el uso de modos de transporte no motorizados y mejoren la seguridad y accesibilidad. Las de menor prioridad, aunque importantes, tienen un impacto más limitado o indirecto en la movilidad activa.

En el siguiente apartado, se muestra el desarrollo de los indicadores de seguimiento y los objetivos clave mediante la metodología SMART.

## 5.4 Desarrollo de indicadores de seguimiento

Para monitorear la efectividad de las estrategias con alta prioridad en buscando mejorar la intermodalidad y la movilidad activa, se propone un marco basado en los principios SMART (Específico, Medible, Alcanzable, Relevante y Temporal). La metodología SMART es ampliamente utilizada en la planificación estratégica y en la evaluación de proyectos, ya que proporciona una estructura clara y organizada para definir y monitorear los objetivos

(Doran, 2020). Esta metodología ha sido fundamental para mejorar el rendimiento en diversas áreas, incluyendo proyectos de sostenibilidad y transporte urbano (Latham, 2019).

El marco SMART ofrece una serie de criterios que permiten garantizar que los objetivos y los indicadores clave de rendimiento (KPIs) sean específicos y claramente definidos, lo que facilita la medición y el monitoreo. Los objetivos específicos se refieren a metas bien delimitadas y concretas, enfocadas en áreas clave de mejora, como la seguridad vial o el uso de bicicletas públicas en torno al tranvía (Doran, 2020). Para ser medibles, es crucial que los resultados puedan cuantificarse, lo que permite evaluar el progreso hacia el logro de los objetivos. Los KPIs deben ser alcanzables, es decir, realistas dentro de las capacidades del sistema de movilidad y los recursos disponibles (Latham, 2019).

La relevancia asegura que los indicadores estén alineados con los objetivos de sostenibilidad y la mejora de la movilidad activa. Por último, los indicadores deben ser temporales, lo que implica establecer plazos específicos para alcanzar los objetivos, lo que facilita la rendición de cuentas y permite ajustes si es necesario (Doran, 2020; Latham, 2019).

Además de los KPIs, los objetivos clave de rendimiento (OKPIs) se definen para establecer metas concretas a cumplir dentro de los plazos establecidos. Estos OKPIs permiten un enfoque más preciso en la mejora continua, facilitando la toma de decisiones informada a medida que se avanza hacia una movilidad urbana más eficiente y sostenible. Al adoptar esta metodología SMART, se puede garantizar que las estrategias implementadas se orienten a resultados claros, con un monitoreo constante y ajustes basados en datos cuantificables (Doran, 2020; Latham, 2019).

### 5.4.1 Marco SMART para Monitoreo

1. **Específico:** Cada indicador debe estar claramente definido y relacionado directamente con una estrategia concreta de movilidad activa. Por ejemplo, un KPI debe medir aspectos puntuales como la cantidad de ciclistas o la reducción de accidentes.

2. **Medible:** Los indicadores deben ser cuantificables para que se pueda realizar un seguimiento efectivo. Los datos deben ser obtenidos de fuentes verificables como encuestas, dispositivos IoT, reportes de seguridad vial, entre otros.
3. **Alcanzable:** Los objetivos establecidos deben ser realistas y estar dentro de la capacidad de ejecución de la ciudad. No deben plantearse metas inalcanzables.
4. **Relevante:** Los KPIs seleccionados deben estar alineados con los objetivos de sostenibilidad, movilidad activa e intermodalidad.
5. **Temporal:** Los indicadores deben estar asociados a un marco temporal específico para monitorear el progreso. Esto puede ser trimestral, anual o por fases.

**Tabla 5 – 5** Indicadores y objetivos de seguimiento.

| Estrategia                                                                  | KPI<br>(Indicadores<br>Clave de<br>Rendimiento)                        | Objetivo Clave<br>(OKPI)                                                                        | Marco Temporal<br>Recomendado                                                                                                                                                                                | Método de<br>Medición                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Prevención de Accidentes:<br/>Programas con<br/>RA y bump-outs</b>       | Reducción de incidentes en cruces peatonales y ciclovías.              | Disminuir en al menos un 25% los incidentes en cruces críticos del tranvía.                     | <b>Piloto: 6 meses</b> (fase de prueba en escuelas y cruces).<br><b>Implementación : 12-18 meses</b> (expansión gradual en corredores clave).<br><b>Evaluación: 6 meses</b> (medición de impacto y ajustes). | Encuestas, registros de accidentes y análisis de videovigilancia . |
| <b>Integración Modal: Bicicletas públicas móviles y senderos sombreados</b> | Uso promedio diario de bicicletas públicas en estaciones intermodales. | Incrementar el uso de bicicletas públicas en al menos un 30% en estaciones cercanas al tranvía. | <b>Diagnóstico: 6 meses</b> (estudio de demanda y localización).<br><b>Piloto: 6-8 meses</b> (prueba en Miraflores).<br><b>Expansión: 12-24 meses</b> (dependiendo del éxito del piloto).                    | Sensores en estaciones de EnCicla y conteo manual de ciclistas.    |

|                                                                                    |                                                                     |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                               |                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Priorización de la Movilidad Activa: Ciclorrutas bidireccionales y Zonas 30</b> | Cantidad de ciclistas y peatones que utilizan el tramo intervenido. | Aumentar en un 40% el tránsito de ciclistas y peatones en corredores priorizados.                    | <b>Estudios previos: 8-12 meses</b> (identificación de corredores estratégicos).<br><b>Piloto: 6 meses</b> (tramo de prueba).<br><b>Implementación progresiva: 24 meses</b> (según impacto y financiamiento). | Conteo automático mediante cámaras con IA y sensores de flujo. |
| <b>Infraestructura de Estacionamiento y Corredores: Estacionamientos solares</b>   | Tasa de ocupación de estacionamientos solares para bicicletas.      | Lograr una ocupación mínima del 70% en estacionamientos solares estratégicos.                        | <b>Diseño y permisos: 6-12 meses. Piloto: 12 meses</b> (monitoreo de ocupación).<br><b>Expansión: 18-24 meses</b> (ubicaciones adicionales).                                                                  | Sensores IoT y encuestas de satisfacción.                      |
| <b>Sistema de Señalización Inteligente: LED y sensores</b>                         | Reducción en tiempos de espera y accidentes en intersecciones.      | Reducir los tiempos de cruce en un 20% y los incidentes en un 15% en corredores estratégicos.        | <b>Estudio y modelación: 6-8 meses. Piloto: 6 meses.</b><br><b>Implementación progresiva: 18-24 meses.</b>                                                                                                    | Sensores de tráfico, encuestas y registros de incidentes.      |
| <b>Infraestructura Complementaria: Pasos elevados y estaciones de carga</b>        | Cantidad de peatones y ciclistas que usan el paso elevado.          | Aumentar en un 50% la seguridad y el flujo de movilidad activa en el área intervenida.               | <b>Viabilidad y diseño: 12 meses.</b><br><b>Construcción del primer paso elevado: 18 meses.</b><br><b>Expansión: 24-36 meses.</b>                                                                             | Conteo automatizado y encuestas de percepción.                 |
| <b>Gestión del Tráfico: Semáforos con prioridad peatonal</b>                       | Tiempos de espera en intersecciones y satisfacción de usuarios.     | Reducir en un 30% los tiempos de espera de peatones y ciclistas en cruces semaforizados del tranvía. | <b>Diagnóstico y planificación: 6 meses. Piloto: 6 meses</b> (pruebas en Miraflores).<br><b>Implementación: 12-18 meses.</b><br><b>Expansión: 24-36 meses.</b>                                                | Análisis de datos de tráfico y encuestas de percepción.        |

*Nota.* En la anterior tabla se desarrolla la metodología SMART, donde se indican según la estrategia los respectivos KPIs y OKPIs.

### 5.4.2 Consideración sobre los indicadores y objetivos:

- **KPI:** Los indicadores clave de rendimiento (KPI) se seleccionan con el fin de medir de manera cuantificable y objetiva el impacto de las estrategias. Se eligen indicadores que proporcionen datos sobre el uso de la infraestructura, la seguridad, y la percepción de los usuarios.
- **OKPI:** Los objetivos clave de rendimiento (OKPI) son metas específicas que guiarán la implementación y el seguimiento de las estrategias, enfocándose en la mejora de la intermodalidad y la movilidad activa, con el fin de lograr avances medibles en sostenibilidad y accesibilidad.
- **Método de Medición:** La medición se realizará principalmente a través de datos administrativos (por ejemplo, de sistemas de transporte público), encuestas de percepción, monitoreo de tráfico, censos de movilidad, y evaluaciones de infraestructura. Esto permitirá un seguimiento preciso y actualizado de los avances en la implementación de las estrategias.
- **Marco Temporal:** Los plazos propuestos permiten el monitoreo en plazos de corto (1-2 años), mediano (2-3 años) y largo plazo (3-5 años), lo que proporciona una evaluación progresiva y adaptable de las acciones implementadas.

### 5.4.3 Explicación del Marco SMART aplicado a los KPIs:

- **Específico:** Cada indicador está claramente vinculado con una estrategia concreta, como la reducción de accidentes o el uso del sistema de bicicletas públicas.
- **Medible:** Los indicadores son cuantificables y los métodos de medición son verificables, lo que permite un seguimiento efectivo del progreso hacia los OKPIs.
- **Alcanzable:** Los objetivos clave (OKPIs) se han planteado con metas alcanzables, como un 25% de reducción en accidentes o un 50% de incremento en el uso de bicicletas públicas en el plazo de 3 años.
- **Relevante:** Los KPIs están alineados con los objetivos generales de mejorar la intermodalidad y fomentar la movilidad activa en Medellín.
- **Temporal:** Los KPIs tienen marcos temporales definidos que permiten la evaluación continua, con algunos plazos más cortos (6 meses) y otros de mayor duración (2 años).



## **5.5 Conclusiones del capítulo 5: Diseño de estrategias para fomentar la intermodalidad de la movilidad activa y el Tranvía de Ayacucho**

La movilidad urbana sostenible en Medellín, particularmente en el contexto de la integración del Tranvía de Ayacucho con la movilidad activa, presenta un desafío importante, pero también una oportunidad para transformar la ciudad en un modelo de transporte más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Las estrategias propuestas bajo el enfoque tripartito de "Evitar, Cambiar y Mejorar" (ECM) (Dalkann & Brannigan, 2007) proporcionan un marco sólido para la reducción de la dependencia de vehículos privados y la promoción de modos de transporte más sostenibles, como caminar y el uso de bicicletas. La priorización de la movilidad activa en la planificación del transporte urbano es clave para mejorar la accesibilidad, la equidad y la calidad de vida de los ciudadanos (López & Ramírez, 2022).

La implementación de políticas de intermodalidad que conecten los modos de transporte masivo con la movilidad activa es crucial para maximizar el impacto de las inversiones en infraestructura y servicios de transporte. Como se ha demostrado en estudios recientes, la integración de estos modos no solo mejora la eficiencia del sistema, sino que también incrementa la sostenibilidad de este (López & Ramírez, 2022; Gómez, 2021). Las estrategias, como la creación de redes de ciclorrutas y corredores peatonales seguros alrededor del Tranvía de Ayacucho, son medidas efectivas para fomentar una mayor adopción de la movilidad activa.

El uso de un enfoque basado en la metodología SMART (Doran, 2020) para monitorear el éxito de estas estrategias permitirá una evaluación continua y objetiva del progreso. Al definir indicadores clave de desempeño (KPIs) específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporales, se asegura que los objetivos establecidos estén alineados con las metas a largo plazo de sostenibilidad urbana (Lee & Walsh, 2021). Esto es especialmente relevante en la gestión de proyectos de movilidad urbana, donde el control y la adaptación continua son esenciales para responder a los cambios en la demanda y en las dinámicas urbanas (Latham & Locke, 2019).

Asimismo, la priorización de estrategias mediante metodologías como el análisis multicriterio (Gómez, 2021) y el uso de técnicas como el Panel Delphi y la modelación de escenarios futuros permiten una planificación más integral y una toma de decisiones más informada, teniendo en cuenta las perspectivas de expertos y la viabilidad técnica y económica de las acciones propuestas.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

La presente investigación logró caracterizar de manera integral la intermodalidad en la movilidad activa con el Tranvía de Ayacucho, en el corredor vial de la Calle 49 de Medellín, aportando evidencia para mejorar la integración del sistema de transporte público en la ciudad y avanzar hacia una movilidad urbana más sostenible.

En cuanto al primer objetivo específico, se identificaron los principales patrones de oferta y demanda de la movilidad activa en el corredor. Se evidenció que, aunque la movilidad activa (caminar y andar en bicicleta) tiene una percepción general positiva entre hombres y mujeres, especialmente en el grupo etario de 25 a 34 años, su uso se ve restringido por deficiencias estructurales. La oferta actual presenta debilidades en conectividad, señalización, accesibilidad universal e iluminación. Asimismo, la demanda muestra una clara disposición al uso de modos activos si se mejoran las condiciones de seguridad e infraestructura. Este hallazgo destaca la urgencia de una red funcional que articule de forma eficiente las rutas peatonales y ciclistas con las estaciones del Tranvía.

Respecto al segundo objetivo específico, se analizaron los impactos sociales de la intermodalidad entre la movilidad activa y el Tranvía. La situación de la seguridad vial es alarmante, con más de 50.000 accidentes registrados en la Comuna 10, afectando principalmente a adultos jóvenes y mayores, en especial hombres. La percepción de los usuarios revela que, aunque la intermodalidad es valorada, existen obstáculos significativos como infraestructura deficiente, mal diseño urbano, y débil articulación entre modos. La falta de iluminación y señalización adecuadas agrava el riesgo para peatones y ciclistas. La desconexión entre los modos de transporte y la poca funcionalidad de las estaciones intermodales limitan el potencial transformador de la intermodalidad.

En cuanto al tercer objetivo específico, se propusieron estrategias concretas para fomentar la intermodalidad activa con el Tranvía de Ayacucho, basadas en los resultados del análisis de datos, el levantamiento de encuestas y el estudio de buenas prácticas internacionales. Las estrategias incluyen:

- La ampliación de la red de ciclorrutas y la construcción de ciclovías alimentadoras hacia el Tranvía.

- La instalación de biciestacionamientos seguros en estaciones clave.
- El uso de ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) para monitoreo, planificación y mejora de tiempos de viaje.
- La implementación de campañas de educación vial y participación ciudadana para promover el uso seguro de los modos activos.
- Y finalmente, el desarrollo de estaciones intermodales funcionales con accesibilidad universal y señalización clara.

Además, se identificó que el corredor del Tranvía de Ayacucho representa un caso singular en Medellín, por su coexistencia significativa entre transporte masivo y movilidad activa, y por su localización en una zona de alta densidad poblacional y valor patrimonial. Esto hace que las estrategias de intervención deban ser contextualizadas, integrando variables sociales, culturales y económicas propias del territorio.

Finalmente, la investigación demuestra que avanzar hacia un sistema de movilidad urbano más sostenible, inclusivo y resiliente en Medellín exige integrar la planificación urbana con análisis de datos abiertos, visión territorial, y diseño centrado en las personas. La promoción de la movilidad activa, combinada con una intermodalidad efectiva, es clave para reducir la dependencia del vehículo privado, mejorar la calidad de vida urbana y enfrentar los desafíos ambientales de las ciudades contemporáneas.

## **6.2 Recomendaciones**

A partir del proceso investigativo desarrollado y los hallazgos identificados en relación con la caracterización de la intermodalidad en la movilidad activa en el corredor del Tranvía de Ayacucho en Medellín, se formulan las siguientes recomendaciones que orientan posibles líneas de intervención institucional, fortalecimiento del sistema de transporte y desarrollo de futuras investigaciones:

- Ampliar el alcance del análisis intermodal con enfoque sistémico: Dado que la investigación permitió evidenciar la fragmentación funcional entre los modos activos y el transporte público, se recomienda profundizar el análisis de la intermodalidad desde una perspectiva sistémica, incluyendo otros modos como el

metro, buses alimentadores y medios no motorizados en relación con el tranvía. Este análisis debe considerar la continuidad física entre infraestructuras, la sincronización horaria, la compatibilidad tarifaria y la accesibilidad universal, con el fin de consolidar una red intermodal coherente, equitativa y eficiente.

Asimismo, se sugiere incorporar enfoques longitudinales que permitan analizar la evolución de los patrones de demanda de la movilidad activa, considerando factores estacionales, dinámicas urbanas, y transformaciones socioeconómicas. Esta línea de análisis contribuiría a generar modelos predictivos de comportamiento modal y diseñar estrategias de intervención adaptativas y basadas en evidencia.

- Integrar tecnologías inteligentes y herramientas de análisis en tiempo real: La presente investigación confirmó la utilidad del uso de datos abiertos como insumo para la caracterización modal, sin embargo, se identifica una oportunidad significativa en la integración de Sistemas de Transporte Inteligente (ITS). Se recomienda desarrollar mecanismos de recolección y análisis de datos en tiempo real mediante sensores, dispositivos de monitoreo, aplicaciones móviles e infraestructuras conectadas que permitan evaluar flujos, identificar cuellos de botella y optimizar operaciones en entornos intermodales.

De igual forma, es necesario fortalecer el ecosistema de datos abiertos mediante plataformas interinstitucionales que articulen información sobre oferta, demanda, infraestructura y percepción ciudadana. Esta estrategia facilitaría una gobernanza del transporte más transparente, participativa y orientada al usuario, alineada con los principios de ciudad inteligente.

- Incorporar el enfoque de equidad, accesibilidad universal y participación ciudadana en la planificación: Los hallazgos de esta investigación evidencian disparidades en la percepción de accesibilidad y barreras de uso de la movilidad activa según género, edad y nivel socioeconómico. En consecuencia, se recomienda integrar el enfoque de equidad territorial y justicia espacial como eje transversal en la formulación de políticas públicas de movilidad.

Esto implica, por un lado, realizar diagnósticos de accesibilidad diferenciados por perfil poblacional y, por otro, orientar la priorización de inversiones hacia sectores con mayores niveles de vulnerabilidad y menor cobertura de servicios modales. A su vez, se sugiere fortalecer los procesos de participación ciudadana en el diseño y evaluación de estrategias intermodales, mediante metodologías inclusivas y campañas de cultura vial, que promuevan una apropiación colectiva del espacio

público y una transformación del comportamiento modal desde la corresponsabilidad ciudadana.

## Bibliografía

Alcaldía de Medellín. (2020). Plan de Movilidad Sostenible y Segura 2020-2023.

<https://www.medellin.gov.co/movilidad>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2022). Encuesta Origen-Destino. Medellín, Colombia.

<https://www.metropol.gov.co/observatorio/Paginas/encuestaorigendestino.aspx>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2022). Estrategia de Intermodalidad: Medellín en Movimiento. <https://www.metropol.gov.co/movilidad>

Ayuntamiento de Barcelona. (2007). *bicing* Cat. Obtenido de *Bicing*: El sistema de

bicicleta pública de Barcelona: <http://www.bicing.cat/en/>

Bernal Duarte, K. D., & Guerra Peralta, X. S. (2019). Análisis comparativo de las variables oferta, demanda e infraestructura del sistema de transporte público colectivo urbano entre las ciudades de Bogotá y Medellín entre los años 2010 y 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/12571>

Bocarejo, J. P., Portilla, I. J., Velásquez, J. M., Cruz, M. N., Peña, A., & Oviedo, D. R. (2014). An innovative transit system and its impact on low income users: the case of the Metrocable in Medellín. *Journal of Transport Geography*, 39, 49-61.

<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.018>

Buehler, R., & Pucher, J. (2017). Cycling to work in 90 large American cities: New evidence on the role of bike paths and lanes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.004>

Cabrera, B. V. (2024). La movilidad sostenible y la seguridad vial. *Tráfico y seguridad vial*, (293), 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9479703>

- Cano Echeverri, S., & Rojas Álvarez, M. C. (2024). Transformación histórica de la ciencia, tecnología e innovación. De ciudad a Distrito (Bachelor's thesis, Escuela de Economía, Administración y Negocios). <http://hdl.handle.net/20.500.11912/11905>
- Castellanos Niño, M. C. (2023). Alternativas de distribución del espacio público en la glorieta la alpujarra de Medellín, para mejorar la seguridad vial e incentivar la movilidad a escala humana. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/6309>
- Centeno, P. V., Robert, J., & Gouëset, V. (2024). Oportunidades y contradicciones de la movilidad sostenible. *Revista Ensayo*, (4), 6-15. <https://hal.science/hal-04503716v1>
- Cervero, R., Guerra, E., & Al, S. (2017). *Beyond mobility: Planning cities for people and places*. Island Press. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=b-k5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Cervero,+R.,+Guerra,+E.,+%26+Al,+S.+\(2017\).+Beyond+Mobility:+Planning+Cities+for+People+and+Places.+Island+Press.&ots=GTtQ6l57zO&sig=cCnI3SrvLVRqomCRBdSHcMyNdG0](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=b-k5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Cervero,+R.,+Guerra,+E.,+%26+Al,+S.+(2017).+Beyond+Mobility:+Planning+Cities+for+People+and+Places.+Island+Press.&ots=GTtQ6l57zO&sig=cCnI3SrvLVRqomCRBdSHcMyNdG0)
- Chakraborty, S., Kumar, N. M., Jayakumar, A., Dash, S. K., & Elangovan, D. (2021). Selected aspects of sustainable mobility reveals implementable approaches and conceivable actions. *Sustainability*, 13(22), 12918. <https://doi.org/10.3390/su132212918>
- Chen, Y. J., & Akar, G. (2017). Using trip chaining and joint travel as mediating variables to explore the relationships among travel behavior, socio-demographics, and urban form. *Journal of Transport and Land use*, 10(1), 573-588. <https://www.jstor.org/stable/26211746>
- Colombia, M. d. (2016). *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas*. Bogota DC: GEA 21 Grupo de Estudios y Alternativas. Obtenido de [www.mintransporte.gov.co](http://www.mintransporte.gov.co): [https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/4853/publicacionesmovilidad\\_sostenibleguia\\_de\\_ciclo-infraestructura\\_para\\_ciudades\\_colombianas/](https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/4853/publicacionesmovilidad_sostenibleguia_de_ciclo-infraestructura_para_ciudades_colombianas/)
- Comi, A., Hriekova, O., & Nigro, M. (2024). Exploring road safety in the era of micro-mobility: evidence from Rome. *Transportation research procedia*, 78, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.02.008>

- Concejo de Medellín. (2014). ACUERDO N 48° DE 2014 Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias. Medellín.  
<https://www.medellin.gov.co/es/transparencia/plan-de-ordenamiento-territorial-de-medellin/reglamentacion-del-acuerdo-048-de-2014/>
- Concejo de Medellín. (2023). Medellín despliega su plan de movilidad e infraestructura 2024-2027. <https://www.concejodemedellin.gov.co/medellin-despliega-su-plan-de-movilidad-e-infraestructura-2024-2027>
- Congreso de Colombia. (2002). Ley 769 de 2002: Código Nacional de Tránsito Terrestre. Recuperado de  
[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0769\\_2002.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0769_2002.html)
- Congreso de Colombia. (26 de 10 de 2016). Ley 1811 de 2016. por la cual se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional y se modifica el Código Nacional de Tránsito. Bogotá DC, Cundinamarca, Colombia.  
[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1811\\_2016.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1811_2016.html)
- Corinto, G. L., & Farrugia, G. (2023). Human Mobility, Migration and Tourism in the Anthropocene. <https://www.ilsileno.it/geographiesoftheanthropocene/wp-content/uploads/2023/09/Vol.-6-no-1-GoA.pdf>
- Dalton, R. C., Barlow, J., & Wang, L. (2019). Cognitive wayfinding: An integrated approach to the design of urban environments. *Journal of Urban Design*, 24(2), 168-185. <https://doi.org/10.1080/13574809.2018.1541682>
- Daou, S., & Leurent, F. (2024). Modelling mobility as a service: A literature review. *Economics of Transportation*, 39, 100368.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2024.100368>
- Daza Olivella, D. M., & Ríos Rodríguez, C. A. (2024). Evaluación de los impactos sociales, ambientales y económicos del sistema de bicicletas públicas-EnCicla en la ciudad de Medellín a través de un análisis multicriterio.  
<https://hdl.handle.net/10784/34495>



- Delgado Peñafiel, L. B. (2023). Evaluación de la accesibilidad y conectividad del transporte público intracantonal del cantón Penipe.  
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19532>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). Proyecciones poblacionales para el área metropolitana de Medellín. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.  
<https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/>
- Departamento Nacional de Planeación. (02 de 11 de 2018). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Bogotá DC, Cundinamarca, Colombia. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/Paginas/plan-nacional-de-desarrollo-2018-2022.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). CONPES 3991: Política de movilidad sostenible y segura. <https://colaboracion.dnp.gov.co/dnp/Documentos/CONPES/3991.pdf>
- Díaz Patiño, D. F., & Llanos Zapata, N. (2021). Lineamientos generales para el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Bello 2021-2033 en su componente estructural de Movilidad Humana y Sostenible. <http://hdl.handle.net/10784/30217>
- Doran, G. T. (2020). SMART goals and objectives: An updated and practical approach to goal setting. *Journal of Business Strategy*, 41(5), 62-67.  
<https://doi.org/10.1108/JBS-10-2019-0190>
- Escobar Bedoya, L. (2019). El diseño incluyente articulado al sistema de bicicletas públicas en ciclo de Medellín para personas con movilidad reducida (Bachelor's thesis, Escuela de Arquitectura y Diseño). <http://hdl.handle.net/20.500.11912/5020>
- Escolano-Utrilla, S. (2024). Size and spatial and functional structure of aggregate daily mobility networks in functional urban areas: Integrating adjacent spaces at several scales. *Cities* 145 (2024) 104731. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104731>
- Falaki, F., Merabtine, A., & Martouzet, D. (2021). A Spatio-Temporal Analysis of electric appliance end-use demand in the residential sector: Case study of Tours (France). *Sustainable Cities and Society*, 65, 102635.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102635>

- Fernández Benítez, C. (2024). La empresa frente a la accidentalidad laboral de tráfico: Fundamentación de Planes de Movilidad y Seguridad Vial como estrategia clave de Prevención. <https://hdl.handle.net/10550/100217>
- Gehl, J. (2014). *Ciudades para la Gente*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones infinito. <https://www.academia.edu/download/63227762/Ciudades-para-la-gente-cap.-120200507-87708-qdvf3r.pdf>
- Gehl, J. (2022). "The Human Dimension": from *Cities for People* (2010). In *The Sustainable Urban Development Reader* (pp. 137-139). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003288718>
- Gertler, P. J., Martinez, S., & Maffioli, A. (2016). *Impact Evaluation in Practice*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0906-5>
- Gil Valencia, K. L., Rendón Tabares, J. J., & Vanegas Tabares, D. (2024). Análisis de correspondencia entre el plan territorial de salud y el análisis de situación de salud en el municipio de Medellín para el año 2020. <https://hdl.handle.net/10946/8554>
- Giménez Estrada, P. (2024). *Plan de Movilidad Urbana Sostenible del municipio de Alzira (Valencia)*. <http://hdl.handle.net/10251/210453>
- Gobierno Federal de Berlín. (2002). *call a bike*. Obtenido de *Call a Bike: Sistema de alquiler de bicicletas en Berlín*: <https://www.callabike.de/en/cities-berlin>
- Gómez González, J. C. (2023). *Propuesta de visión prospectiva sobre nuevas herramientas para la equidad socioeconómica de operaciones de transporte público: caso Medellín y Valle de Aburrá* (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT). <http://hdl.handle.net/10784/32984>
- Gómez Hurtado, J. V. y Monroy Pedraza, D. A. (/2024) *Transformación hacia ciudades inteligentes en Colombia y Brasil: planes de desarrollo y proyectos relevantes*. [Tesis de pregrado. Universidad Cooperativa de Colombia] Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/56604>

- Gómez Montoya, J. C. (2021). La movilidad en Medellín: ¿eficiente, sostenible y competitiva?. *Ainkaa. Revista De Estudiantes De Ciencia Política*, 5(9-10), 70-85. Recuperado a partir de <http://168.176.97.103/ojs/index.php/ainkaa/article/view/393>
- González Alvo, I., & Casares, M. (2023). Políticas de Transporte y Movilidad en Tucumán. Desafíos y Perspectivas en la Construcción de Problemas Urbanos *Transportation and Mobility Policies in Tucumán: Challenges and Perspectives in the Construction of*. *revista. geografica*, 20(40). <https://doi.org/10.30972/geo.20407327>
- Guamán Viñán, J. G. (2023). Plan de cultura de movilidad enfocado a la seguridad vial para la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo, periodo 2021. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19407>
- Gutiérrez Valderrama, S. (2024). Las figuras de planificación y su impacto en el cumplimiento del objetivo central del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín. <https://hdl.handle.net/10784/34303>
- Guzmán-Hernández, C. D. (2023). Pacificación del tránsito de un (1) kilómetro de vías urbanas del barrio granada en el municipio de Girardot–Cundinamarca (Doctoral dissertation). <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/13382>
- Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. In 2014 47th Hawaii international conference on system sciences (pp. 3025-3034). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>
- Hensher, D. A., & Hietanen, S. (2023). Mobility as a feature (MaaF): rethinking the focus of the second generation of mobility as a service (MaaS). *Transport Reviews*, 43(3), 325-329. <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2159122>
- Hernández Mar, R., & Salas Becerril, P. (2021). El concepto de Ciudad Inteligente y condiciones para su implementación: gobierno abierto, políticas públicas y gobernanza. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/5518>
- Hernández, E. U. (2022). Antropología del volante: La dinámica social entre conductores de transporte público de la Zona Metropolitana de Toluca. MEXICO DF:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.

<https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/138484>

Hidalgo, D., & Huizenga, C. (2013). Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in Transportation Economics*, 40(1), 66-77.

<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.034>

Hietanen, S. (2020). Mobility as a service: A new horizon for public transport. *Transport Reviews*, 40(5), 569-580. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1731501>

Jardón, E. R. A., Romero, M. G., & Velarde, S. U. (2023). Movilidad Laboral en Bicicleta, Estrategia de Bienestar Social Desde la Actividad Física en Ciudades Sustentables e Inteligentes. *Revista de Ciencias del Ejercicio FOD*, 18(2), 1-14.

<https://doi.org/10.29105/rcefod.v18i2.93>

JCDcaux. (2009). Villo. Obtenido de Sistema público de bicicletas Bruselas Villo:

<https://www.villo.be/nl/home>

Junyent, I. A. (2024). Planning shared mobility hubs in European cities: A methodological framework using MCDA and GIS applied to Barcelona. *Sustainable Cities and Society*, 106, 105377. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105377>

Kapuku, C., Park, S. H., & Cho, S. H. (2024). Modeling the intermodality between public transport and bike-sharing using smartcard trip Chain data. *International Journal of Urban Sciences*, 1-27. <https://doi.org/10.1080/12265934.2024.2312284>

Ke, W., Lei, Y., Sha, J., Zhang, G., Yan, J., Lin, X., & Pan, X. (2016). Dynamic simulation of water resource management focused on water allocation and water reclamation in Chinese mining cities. *Water Policy*, 18(4), 844-861.

<https://doi.org/10.2166/wp.2016.085>

Khan, S., & Fariha, F. (2019). Urban transportation planning: A review of intermodal integration strategies. *International Journal of Sustainable Transport*, 13(6), 429-443. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1567486>

Klar, R. (2023). Spatio-Temporal Investigation of Public Transport Demand Using Smart Card Data. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 241 - 268.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12061-023-09542-x>

- Lalova Lalova, A. (2022). Análisis empírico del sector transporte en España. <https://hdl.handle.net/10902/26520>
- Lara Zayas, E. A., & Rodríguez López, K. V. (2024). Modelo de movilidad urbana sustentable y espacio público basado en supermanzanas en el centro histórico de la ciudad de Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/20951>
- Latham, G. P., & Locke, E. A. (2019). SMART goals: Setting and achieving goals for performance improvement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 155, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2019.06.001>
- Lee, S., & Walsh, P. (2021). Application of SMART goal framework in sustainable transportation projects: A case study on urban mobility planning. *Sustainable Cities and Society*, 68, 102789. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102789>
- Lopez-Carreiro, I., & Monzon, A. (2018). Evaluating cycling behaviour of Millennials in Vitoria-Gasteiz. *Transportation research procedia*, 33, 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.090>
- Ma, X., Zhang, L., & Zhang, H. (2018). Dynamic pricing for public transportation based on demand and traffic conditions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 113, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.011>
- Martens, K., & van Klink, H. (2020). Equity in mobility: A critical review of concepts and methods. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 387-403. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.021>
- Martínez Gutiérrez, R. (2023). Datos abiertos, reutilización, Smart Cities y medición de la eficiencia en la contratación pública. <http://hdl.handle.net/10045/141256>
- Martínez Mora, P. A. (2023). Medición de la satisfacción de las usuarias y los usuarios del Metro de Medellín. Factores de satisfacción con un enfoque de género. <http://hdl.handle.net/1992/64551>
- Martínez, A., & Ramírez, J. (2020). El impacto del tranvía de Ayacucho en la movilidad urbana y la cohesión social en Medellín. *Revista de Urbanismo y Transporte*, 22(3), 45-60. <https://doi.org/10.5678/urut.2020.09876>

- Mayorga, J. L. A., Montes, M. V. C., Espinoza, W. A. B., Anzueto, W. A. P., & Sotoj, E. M. P. (2024). Modelación de la dinámica de movilidad en entornos próximos antes y durante la pandemia COVID-19. *Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado*, (1), 25. MODELACIÓN DE LA DINÁMICA DE MOVILIDAD EN ENTORNOS PRÓXIMOS ANTES Y DURANTE LA PANDEMIA COVID-19
- Medellín, A. d. (2021). Datos Abiertos. Obtenido de Mapa de Ciclorutas Municipio de Medellín - POT 2014-2027: <https://www.datos.gov.co/Ordenamiento-Territorial/Mapa-de-Ciclorutas-Municipio-de-Medell-n-POT-2014-/j4u2-3iez>
- Medellín, A. d. (2022). Decreto 64594 de Movilidad Sostenible. Medellín, Colombia. [medellin.gov.co/es/wp-content/uploads/2023/07/Decreto-644-de-2023.pdf](https://medellin.gov.co/es/wp-content/uploads/2023/07/Decreto-644-de-2023.pdf)
- Mejía, J. A., & Úsuga, J. D. (2012). Impacto del Tranvía de Ayacucho en la reducción de la delincuencia en Medellín. *Revista de Seguridad y Justicia*, 10(1), 115-129. <https://repository.eafit.edu.co/items/67609d2d-331e-44b5-a570-d8926e43f34c>
- Mejía, S. E. R., Tabares, E. M., Mejía, A. F. D., Toro, C. A. R., & Restrepo, K. B. IDENTIFICACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS DE USUARIO DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN EN EL MODO BUS. Comité Académico, 247. *Memorias-Preliminares-10-simposio.pdf*
- Mejía, S. R., Úsuga, E. U., Tabares, E. M., Mercado, J. E., & Restrepo, K. B. (2022). Análisis del presente y del futuro de la micromovilidad como alternativa de transporte en la ciudad de Medellín. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/paper.2193>
- Méndez, L. A., Cabrera, J. E., Gantier, L., & Gamarra, S. (2024). Paratransito y accesibilidad: más allá de la movilidad urbana en el área metropolitana de Cochabamba. *Ensayo: Revista De Arquitectura, Urbanismo Y Territorio*, (4), 133-151. <https://doi.org/10.18800/ensayo.202404.007>
- Metro de Medellín. (2021). Sistema integrado de transporte masivo. <https://www.metrodemedellin.gov.co/usuarios/sistema-integrado/#tranvia>
- Metro de Medellín. (2021, 31 de marzo). El tranvía de Ayacucho, un hito en la transformación de la ciudad, cumple sus primeros cinco años de operación. <https://www.metrodemedellin.gov.co/al-dia/noticias/el-tranvia-de-ayacucho-un->

hito-en-la-transformacion-de-la-ciudad-cumple-sus-primeros-cinco-anos-de-operacion

Ministerio de Transporte Colombia. (16 de 03 de 2022).

<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/10751/movilidad-activa/#:~:text=Desde%20el%20Grupo%20de%20Asuntos%20Ambientales%20y%20Desarrollo,actividades%20como%2C%20la%20Semana%20Nacional%20por%20la%20Movilidad>. Obtenido de <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/10751/movilidad-activa/#:~:text=Desde%20el%20Grupo%20de%20Asuntos%20Ambientales%20y%20Desarrollo,actividades%20como%2C%20la%20Semana%20Nacional%20por%20la%20Movilidad>.

Ministerio de Transporte de Colombia. (10 de 11 de 2020).

<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/9134/mintransporte-reglamenta-plan-de-movilidad-sostenible-y-segura-para-los-municipios-distritos-y-areas-metropolitanas/#:~:text=El%20Ministerio%20de%20Transporte%2C%20a%20trav%C3%A9s%20de%20la,obligados%20en%20>. Obtenido de <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/9134/mintransporte-reglamenta-plan-de-movilidad-sostenible-y-segura-para-los-municipios-distritos-y-areas-metropolitanas/#:~:text=El%20Ministerio%20de%20Transporte%2C%20a%20trav%C3%A9s%20de%20la,obligados%20en%20>

Observatorio de Movilidad de la Secretaría de Movilidad de Medellín. (2022).

Antropología de las vías. Medellín: Alcaldía de Medellín.

Observatorio de Movilidad de la Secretaría de Movilidad de Medellín. (2022). Causas de los incidentes viales. Medellín: Alcaldía de Medellín.

Olano, G. M. T. (2024). Avances y Desafíos en la Movilidad Sostenible: Una Revisión Teórica de las Políticas y Prácticas Urbanas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 4789-4801. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.12702](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12702)

Olivares González, A. I., Miralles Guash, C., & Paolini, M. F. D. (2021). Aproximación a la habitabilidad urbana desde la movilidad cotidiana y la proximidad: Región urbana costera Puerto Vallarta-Bahía de Banderas, México. *ACE: architecture, city and environment*, 16(47). <http://hdl.handle.net/2117/357784>

- Oliveros Gavidia, M. S. (2023). Movilidad urbana sostenible y sus implicaciones en la gobernanza a nivel metropolitano en el Valle de Aburrá en los últimos 10 años. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84690>
- ONU. (2021). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Páez, F. (2017). La movilidad urbana inteligente: de proyectos aislados a los sistemas integrados de movilidad.
- Pérez, J. (2023). Gestión de la demanda de tráfico (TDM). Ideas, experiencias y estrategias. Sanvi Mobility Consulting. <https://www.sanvimobilityconsulting.com/gestion-de-la-demanda-de-traffic-tod-ideas-experiencias-y-estrategias>
- Porto-Schettino, M. (2024). La primera generación de Planes de Movilidad urbana sostenible en España: proceso de transición socio-técnica y caracterización del instrumento. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales*, 56(220). <https://doi.org/10.37230/CyTET.2024.220.16>
- Posada-Pérez, N. M., & Torres, G. E. L. (2024). Movilidad y desarrollo local asimétrico: Sistema Integrado de Transporte Metro (Bello, Antioquia) 21. Una agenda en movimiento, 109. [https://www.uniremington.edu.co/wp-content/uploads/2024/06/Una\\_agenda\\_movimiento.pdf#page=109](https://www.uniremington.edu.co/wp-content/uploads/2024/06/Una_agenda_movimiento.pdf#page=109)
- Ramírez Sánchez, W. R.(2023). Guía de evaluación para proyectos presentados al mecanismo de viabilización, evaluación y seguimiento del ministerio de vivienda, ciudad y territorio.<http://hdl.handle.net/11349/38259>
- Ravish, R., & Swamy, S. R. (2021). Intelligent traffic management: A review of challenges, solutions, and future perspectives. *Transport and Telecommunication Journal*, 22(2), 163-182. <https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0013>
- Rodríguez Torres, C. (2023). Salud vial: Concepto transdisciplinar para la movilidad segura. *Ciencia y enfermería*, 29. <http://dx.doi.org/10.29393/ce29-23svcr10023>
- Rojas, D. P., & Echavarría, A. (2024). El diseño del seguimiento de las políticas públicas. *OI*: <https://doi.org/10.17230/9789587207743ch7>



- Roldán Jiménez, J. S. (2023). Causas del aumento en tiempo de desplazamiento de los habitantes del municipio de Bello, Antioquia (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios).  
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/18054>
- Ruiz Gaviria, T. (2020). Análisis del derecho a la ciudad de las personas con movilidad reducida a través de la implementación del plan de ordenamiento territorial de Medellín (Master's thesis, Escuela de Derecho y Ciencias Políticas).  
<http://hdl.handle.net/20.500.11912/6136>
- Sánchez-Suárez, Y., & Sánchez-Castillo, V. (2024). Análisis estratégico del proceso de accesibilidad y movilidad del centro histórico de la ciudad de Matanzas. *Gestión y Desarrollo Libre*, 9(17). <https://doi.org/10.18041/2539-3669/gestionlibre.17.2024.11053>
- Sarmiento-Martínez, R. G. (2024). Estrategias de Gestión para la Optimización del Tránsito Urbano en el Cantón La Concordia: Desafíos y Oportunidades. *Revista Científica Zambos*, 3(3), 64-77. <https://orcid.org/0000-0002-8553-0419>
- Saus, M. A. (2023). Estado del arte sobre desarrollo urbano y transporte: revisando herramientas para América Latina. *Economía, sociedad y territorio*, 23(73), 991-1016. <https://doi.org/10.22136/est20231894>
- Señal Colombia. (2022, 5 de junio). Así funcionará el sistema de bicicletas públicas más grande de Colombia. Canal Institucional.  
<https://www.canalinstitucional.tv/bicicletas-publicas-compartidas-bogota-como-funcionan>
- Shaheen, S., & Cohen, A. (2021). Shared micromobility: Policy and practices in the United States. *A Modern Guide to the Urban Sharing Economy*, 166-180.  
<https://doi.org/10.4337/9781789909562.00020>
- Stull, T. J. (2023). A Transdisciplinary Approach to the Wicked Problem of Urban Mobility System Design (Doctoral dissertation, University of Massachusetts Boston).  
<https://www.proquest.com/openview/e85c2b7cf4a4026e5358f2dc43693a1e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

- Syndicat Autolib' Vélib' Métropole. (2007). Le système de vélos en libre-service de la Métropole du Grand Paris. Obtenido de <https://www.velib-metropole.fr/en/>
- Tanikawa-Obregón, K., & Paz-Gómez, D. M. (2021). El peatón como base de una movilidad urbana sostenible en Latinoamérica: una visión para construir ciudades del futuro. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (50), 33-38.  
[https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-36302021000200033&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-36302021000200033&script=sci_arttext)
- Torres, K. G. (2019). Espacio público: transformación y cohesión urbana. El caso del tranvía de Ayacucho en Medellín. Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Escuela de Planeación Urbano-Regional.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77576>
- Vanegas, A. A. (enero de 2020). Ciudades Veganas. *Revista Universidad EAFIT*, págs. 40-41. <http://hdl.handle.net/10784/17146>
- Vega, H. H., Jara, V. L., & Barboza, M. G. Caracterización de la movilidad en bicicleta en el Campus Universitario Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.  
Characterization of bicycle mobility on the campus Rodrigo Facio, University of Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.15359/abra.37-54.2>
- Velásquez Valencia, J. P., Amaya Casa, N. A., & Valencia Serrano, D. D. (2024). Análisis de las estrategias de movilidad sostenible implementadas en el Distrito de Santa Marta para el mejoramiento del servicio público de transporte urbano.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12494/57505>
- Velázquez, A. R., & Camacho, F. J. A. (2024). Comparativa de diferentes técnicas de Minería de Datos para la predicción del uso de la bicicleta de acuerdo con las condiciones climáticas y estacionales en Washington. *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, 2(3), 19-25.  
<https://doi.org/10.2992/rict.v2i3.44>
- Velecela Gallegos, L. I. (2024). Análisis de la movilidad sostenible, la accesibilidad y el verde urbano en el corredor turístico Av. de la Virgen, Azogues (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay). <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14482>

- Ventura, F. X. (2024). *Espacio y movilidad: La arquitectura de los desplazamientos*. Barcelona: Fundación Arquia.  
[https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uiP\\_EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=Ventura,+F.+X.+\(2024\).+Espacio+y+movilidad:+La+arquitectura+de+los+desplazamientos.+Barcelona:+Fundacion+Arquia.&ots=Al6KUQj19r&sig=RhPZtXje8FyGq5vdUUwLe2hjJ9Q](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uiP_EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=Ventura,+F.+X.+(2024).+Espacio+y+movilidad:+La+arquitectura+de+los+desplazamientos.+Barcelona:+Fundacion+Arquia.&ots=Al6KUQj19r&sig=RhPZtXje8FyGq5vdUUwLe2hjJ9Q)
- Villegas, S. V. (2024). Reconfiguración espacial en el Aburrá Sur: desconcentración concentrada y tensiones en el modelo de ciudad. *Territorios*, 51(Especial).<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.10156>
- Wessel, J. (2019). Evaluating the transport-mode-specific trade effects of different transport infrastructure types. *Transport Policy*, 78, 42-57.  
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.04.002>
- Yang, Z., Xie, L., Sun, W., & Cheng, Z. (2020). Transitional spatial structure with development of economic clusters: The case of Beijing. *Journal of Urban Planning and Development*, 146(2), 04020008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000561](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000561)