



**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO  
ELÉCTRICO DE MEDIANA CAPACIDAD, BASADOS EN MODELOS  
EUROPEOS – APLICACIÓN AL VALLE DE SAN NICOLÁS, ANTIOQUIA.**

**MELISSA OSORIO SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
MEDELLÍN  
2018**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO  
ELÉCTRICO DE MEDIANA CAPACIDAD, BASADOS EN MODELOS  
EUROPEOS – APLICACIÓN AL VALLE DE SAN NICOLÁS, ANTIOQUIA.**

**MELISSA OSORIO SÁNCHEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Magíster en Ingeniería**

**Director**

**ANDRÉS EMIRO DÍEZ**

**Ingeniero Electricista**

**Doctor en Ingeniería Eléctrica**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA**

**ÁREA TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

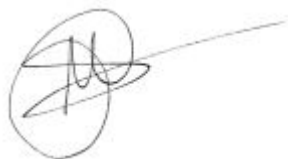
**2018**

Medellín, 06 de junio del 2018

Melissa Osorio Sánchez

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

X

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'M' and 'O' intertwined, with a long horizontal stroke extending to the right.

---

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

X

---

Firma del presidente del jurado

X

---

Firma del jurado

X

---

Firma del jurado

Medellín, mayo de 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco especialmente a mi madre Junia, por enseñarme lo importante de estudiar y de dedicar tiempo a mis sueños; a mi padre Agustín, por sus consejos y apoyo incondicional; y a toda mi familia, que ha sido participe de mi proceso como profesional, de mis triunfos y esfuerzos. Gracias por darme la fuerza y el apoyo a seguir mis sueños.

Agradecida con la vida por los viajes que logré realizar y a los lugares a los que llegué en mi viaje, no solo en Europa, sino también en el mismo Oriente antioqueño, porque logré conocer lugares increíbles en la región que me llevaron a pensar en la importancia de realizar este proyecto de grado y mostrar al público las virtudes que se tienen en la región y cómo se puede transformar un territorio con la ejecución de proyectos de transporte público masivo.

Quiero agradecerle al Dr. profesor. Andrés Emiro Díez, director de este trabajo de investigación, por su orientación y enseñanzas en el campo de tracción eléctrica, sin las cuales no pudiera haberse llevado a cabo ese trabajo de grado. Mi más sincero agradecimiento a los profesores Idi Amín Isaac, José Armando Bohórquez, Gabriel Jaime López y Jorge Wilson González por su apoyo y sabiduría, han sido grandes ejemplos que seguir y los mejores maestros. Gracias a todas las magníficas personas que conocí en mi viaje a Europa y a Rionegro, muchos de ellos dejaron en mí una huella imborrable y aportaron miles de cualidades a mi vida, además de consejos y aportes a mi proceso de investigación.

Y por último doy las gracias al Dr. Prof. Helmuth.Biechl por la excelente acogida que me dispensó en la Hochschule en Kempten (Alemania).

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1 GENERALIDADES	23
1.1 PROBLEMA INVESTIGATIVO	23
1.2 RAÍCES PRIMARIAS	24
1.2.1 Raíz Técnica	24
1.2.2 Raíz de conocimiento e información	24
1.2.3 Raíz Empresarial	25
1.2.4 Raíz Gubernamental	25
1.3 RAÍCES SECUNDARIAS	26
1.4 ELEMENTOS	26
1.4.1 Elemento Primarios	26
1.4.2 Elementos Secundarios	26
1.5 RECEPTORES	27
1.5.1 Receptores Directos	27
1.5.2 Receptores Indirectos	27
1.6 PROPUESTA INVESTIGATIVA	27
1.7 OBJETIVOS	28
1.7.1 Objetivo general	28
1.7.2 Objetivos específicos	28
2. MARCO TEÓRICO	30

2.1.FACTORES PARA CONSIDERAR	30
2.2.PANORAMA GENERAL DEL TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO EN COLOMBIA	31
2.2.1. Panorama general del Valle de San Nicolás	35
2.2.2. Crecimiento poblacional Valle de San Nicolás	35
2.3.PANORAMA GENERAL DEL TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO EN EUROPA	39
2.4.REFERENTES DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO EUROPEOS	42
2.4.1. Panorama general del STP en las ciudades referentes	42
2.4.2. Recopilación de datos: Visita a Europa	43
2.4.3. Comparaciones y ejemplos de sistemas de transporte en Europa con el VSN	57
3. CASO DE ESTUDIO: VALLE DE SAN NICOLÁS	65
3.1.UBICACIÓN	65
3.2.JUSTIFICACIÓN	66
3.3.ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE MOVILIDAD	67
3.3.1. Planes de desarrollo municipal en el Valle de San Nicolás	69
3.3.2. Planes de desarrollo departamental y nacional en sistemas férreos	72
3.3.3. Análisis de posibles corredores viales para el transporte público masivo en el VSN	74
3.3.4. Análisis del modelo propuesto	97
4. RECOMENDACIONES	99
5. POLÍTICAS INTEGRALES Y VOLUNTAD POLÍTICA	100
6. CONCLUSIONES	101
7. TRABAJOS FUTUROS	104
8. REFERENCIAS	105

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Población de los municipios del VSN por habitante al 2015 (DANE, 2018).	36
Tabla 2. Densidad (hab/km <sup>2</sup> ) y superficie (km <sup>2</sup> ) de los municipios del VSN al 2015 (DANE, 2018).	37
Tabla 3. Transporte público de cada ciudad de estudio en Europa (DB, 2018), (Europa, 2018), (Frankfurt Deutschland, 2013), (MVV Muenchen Deutschland, 2017) y (S-Bahn Muenchen, 2017).	42
Tabla 4. Características técnicas de los U-Bahn en Berlín, Múnich y Fráncfort del Meno (Berlin Deutschland, 2000), (MVV Muenchen Deutschland, 2017) y (Urban rail, 2017).	53
Tabla 5. Características técnicas de los S-Bahn en Berlín, Múnich y Fráncfort del Meno (S-Bahn Berlin, 2018), (S-Bahn Muenchen, 2017) y (Urban rail, 2017).	55
Tabla 6. Características técnicas de los tranvías en Berlín, Múnich y Fráncfort del Meno (Stadtplan Berlin 360, 2017), (Strassenbahn Muenchen, 2017).	56



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ciclo de la historia de los sistemas de transporte público en Medellín, Antioquia.	20
Figura 2. Fotografías de los primeros coches del tranvía de Oriente en 1928 (Rionegro Patrimonio histórico, 2018).	21
Figura 3. Mapa de ubicación del municipio de Rionegro en el VSN (Plan Vial Rionegro, 2016).	38
Figura 4. Fotografías del tranvía, funicular, trolebús padrón de Budapest, Hungría.	45
Figura 5. Fotografías del micro trolebús híbrido de Viena, Austria.	46
Figura 6. Fotografías del tranvía moderno y antiguo de Viena, Austria.	46
Figura 7. Fotografías del metro, bús padrón, funicular y tranvía de París, Francia (Europa, 2018).	48
Figura 8. Fotografías del tranvía y trolebús de Bratislava, Eslovaquia.	49
Figura 9. Fotografías del autobús, tranvía, metro (Metro de Ámsterdam, 2018) y tren de cercanías de Ámsterdam, Países Bajos.	50
Figura 10. Fotografía del U-Bahn de Berlín, Alemania (Alemania, 2018).	54
Figura 11. Fotografía del tren regional (Regional Express, RE de Alemania	55
Figura 12. Fotografía del tranvía, Berlín, Alemania.	56
Figura 13. Fotografías del ICE, Alemania (DB, 2018).	57
Figura 14. Fotografía del tranvía de Ámsterdam, Países Bajos.	57
Figura 15. Fotografía de la Universidad de Antioquia, sección oriente, Antioquia, Colombia (Mi oriente, 2016).	57
Figura 16. Fotografía de la vía La Ceja – Rionegro, que pasa por la Universidad de Antioquia, sección oriente, Antioquia, Colombia.	58
Figura 17. Fotografía del tranvía de Fráncfort del Meno, Alemania.	58
Figura 18. Fotografía de la vía El Tranvía del municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia.	58

Figura 19. Fotografía de las líneas de alimentación aérea del trolebús pasando bajo un puente de Pilsen, República Checa.	59
Figura 20. Fotografía de las líneas de alimentación aérea del tranvía pasando bajo un puente de Núremberg, Alemania.	59
Figura 21. Fotografía de la vía Marinilla – El Santuario, que pasa bajo un puente peatonal de Antioquia, Colombia.	59
Figura 22. Fotografía del tranvía pasando por una zona arborizada de Kassel, Alemania.	60
Figura 23. Fotografía de las líneas aéreas de alimentación del trolebús pasando por medio de una zona arborizada de Pilsen, República Checa.	60
Figura 24. Fotografía de la vía que conduce al aeropuerto internacional JMC en jurisdicción del municipio de Guarne pasando por medio de una zona arborizada de Antioquia, Colombia.	61
Figura 25. Fotografía del tranvía pasando por vía compartida frente a plazoletas centrales de Ámsterdam, Países Bajos.	62
Figura 26. Fotografía de la vía que pasa por la plazoleta central de San Antonio de Pereira, Antioquia, Colombia.	62
Figura 27. Fotografía de la vía que pasa por la plazoleta central del municipio de La Ceja, Antioquia, Colombia.	62
Figura 28. Fotografía del bus articulado en la parada integrada del S-Bahn y U-Bahn de Núremberg, Alemania.	63
Figura 29. Fotografía del trolebús articulado en la vía de Bratislava, Eslovaquia.	63
Figura 30. Fotografía del bus padrón de Múnich, Alemania.	63
Figura 31. Fotografía del bus articulado en la vía de Múnich, Alemania.	63
Figura 32. Fotografía del paisaje del Valle de San Nicolás a la altura de la represa La Fe, Antioquia, Colombia (Desarrollo del VSN, 2012).	64
Figura 33. Fotografía del paisaje de Austria y la vía del tren regional que une a la capital, Viena, con otras ciudades cercanas (Austria, 2004).	64
Figura 34. Esquema de los mapas de Colombia, Antioquia, Valle de Aburrá y Valle de San Nicolás (Serna, 2011).	65
Figura 35. Método propuesto para el análisis del sistema de transporte a implementar en el valle de San Nicolás, Antioquia.	67
Figura 36. Acciones denotadas por el PROURE y el MME para un STP masivo eficiente y sostenible (MME-UPME, 2017).	69

Figura 37. Troncales de estudio de los municipios que conforman el Valle de San Nicolás, Antioquia.	75
Figura 38. Visualización geográfica de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Guarne, Antioquia (Google Earth, 2009).	76
Figura 39. Método para una buena prestación de servicio de buses intermunicipales.	78
Figura 40. Hoja de datos para el eje estructurante 1, con diferentes características de buses (Planit metro, 2014).	79
Figura 41. Visualización geográfica de la Troncal 2 desde la autopista Medellín - Bogotá en el municipio de Guarne y Rionegro, Antioquia (google earth, 2009).	80
Figura 42. Hoja de datos para el eje estructurante 2 (Planit metro, 2014).	82
Figura 43. Visualización geográfica de la Troncal 3 derivado desde la autopista Medellín - Bogotá zona Marinilla y límites con Rionegro, Antioquia (Google Earth, 2009).	83
Figura 44. Hoja de datos para el eje estructurante 3 (Planit metro, 2014).	86
Figura 45. Visualización geográfica de la Troncal 4, vía del municipio de Marinilla por la autopista Medellín - Bogotá hacia el municipio de El Santuario, Antioquia (Google Earth, 2009).	87
Figura 46. Hoja de datos para el eje estructurante 4 (Planit metro, 2014).	89
Figura 47. Visualización geográfica de la Troncal 5 derivado desde la autopista Medellín - Bogotá vía a Marinilla y El Santuario, Antioquia (Google Earth, 2009).	90
Figura 48. Hoja de datos para el eje estructurante 5 (Planit metro, 2014).	91
Figura 49. Visualización geográfica de la Troncal 6 derivado desde la autopista Medellín - Bogotá vía a Guarne a el aeropuerto interna. JMC Rionegro, Antioquia (Google Earth, 2009).	92
Figura 50. Hoja de datos para el eje estructurante 6 (Planit metro, 2014).	94
Figura 51. Visualización geográfica de las seis (6) troncales analizadas en el Valle de San Nicolás (Google Earth, 2009).	96

## LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1. Distribución del consumo por energético en el sector transporte 2015 (MME-UPME, 2017).	32
Gráfica 2. Consumo de energía en transporte carretero por segmento en 2015 (MME-UPME, 2017).	32
Gráfica 3. Historial del crecimiento de la población (en miles) del VSN desde 1995 – 2017 (Estudio poblacional DANE, 2015).	39
Gráfica 4. Emisiones de gases de efecto invernadero en la UE por sector de transporte – 2009 (Comisión Europea, 2014).	40
Gráfica 5. Crecimiento del transporte en La Unión Europea – 2010 (Comisión Europea, 2014).	41
Gráfica 6. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Guarne, Antioquia.	76
Gráfica 7. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Guarne y Rionegro, Antioquia.	81
Gráfica 8. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Marinilla y Rionegro, Antioquia.	84
Gráfica 9. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá del municipio Marinilla hacia el municipio de El Santuario, Antioquia.	87
Gráfica 10. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Marinilla y El Santuario, Antioquia.	90
Gráfica 11. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá vía a Guarne a el aeropuerto interna. JMC Rionegro, Antioquia.	93

## GLOSARIO

**Bus híbrido:** Un autobús híbrido es un vehículo que opera un motor de combustión junto con electricidad (por lo que no son totalmente eléctricos). Suelen usar un sistema que se conoce como eléctrico-diésel. Gracias a que en parte usan energías limpias, el uso de híbridos permite tener un 50% menos de emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente (El vínculo digital, 2017).

**Camacol Antioquia:** Es una asociación gremial sin ánimo de lucro, que agrupa y representa a las empresas y entidades de la cadena productiva de la construcción y contribuye significativamente a la consolidación de la actividad edificadora, a la dinamización del sector y al desarrollo de Antioquia (Camacol Antioquia, 2012).

**Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE):** Es una entidad colombiana que tiene como propósito la producción y difusión de investigaciones y estadísticas en aspectos industriales, económicos, agropecuarios, poblacionales y de calidad de vida encaminada a soportar la toma de decisiones en el país (DANE, 2018).

**Formulación del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá (PMMVA):** Se fundamenta en una metodología prospectiva para la identificación de los requerimientos de movilidad de la región metropolitana al 2020, que responda a la visión que se tiene para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá, mediante el cual se establecerán las políticas, las acciones, los programas, los proyectos y las inversiones. (Medellín 2015).

**Gases de efecto invernadero (GEI):** Corresponden a aquellas emisiones de gases provenientes de las actividades o procesos habituales del ser humano. Estos contribuyen, en diferentes grados, al Efecto Invernadero por la cantidad de moléculas del gas presente en la atmósfera. Dentro de los gases que tienen esta denominación se encuentran: Vapor de Agua, Dióxido de Carbono, Metano, Óxidos de Nitrógeno, Ozono, CFCs y HFCs (Energía, 2015).

**International Energy Agency (IEA):** Organización internacional que busca establecer políticas energéticas para garantizar una energía confiable y limpia. Se encarga de acelerar la transición energética mundial, proporcionando investigación, estadísticas, análisis en profundidad y recomendaciones de políticas (International Energy Agency, 2009)

**José María Córdoba (JMC):** Hace referencia al aeropuerto internacional en el municipio de Rionegro (Aeropuerto Rionegro, 2018).

**La Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia:** Es una entidad gremial, fundada en 1967, la cual agrupa a personas naturales y jurídicas vinculadas al

sector inmobiliario y que desarrollan su actividad en el departamento de Antioquia en las áreas de promoción, gerencia y construcción de proyectos, actividades de corretaje, administración y arrendamiento de bienes inmuebles, avalúos, administración de propiedad horizontal y consultoría inmobiliaria (Lonja de Propiedad Raíz, 2018).

**Ministerio de Minas y Energía (MME):** Es la oficina estatal que se encarga de dirigir la política nacional en cuanto a minería, hidrocarburos e infraestructura energética (Ministerio de minas y energía, 2018).

**Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales (PROURE):** Es un programa orientado fundamentalmente a la disminución de la intensidad energética, al mejoramiento de la eficiencia energética de los sectores de consumo y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, todo ello en función de la identificación de los potenciales y la definición de metas por ahorro energético y participación de las fuentes y tecnologías no convencionales en la canasta energética de Colombia (Caicedo, 2010).

**Plan de Acción Indicativo (PAI):** Es un plan del Ministerio de Minas y Energía (MME) que define las acciones estratégicas y sectoriales que permitan alcanzar las metas en materia de eficiencia energética; de tal manera que se contribuya a la seguridad energética y al cumplimiento de compromisos internacionales en temas ambientales; generando impactos positivos en la competitividad de Colombia y en el incremento de la calidad de vida de los mismos colombianos (MME-UPME, 2017).

**Sistema de Transporte Público (STP):** Comprende los medios de transporte en que los usuarios o pasajeros son servidos por terceros, esta prestación puede ser por parte de empresas públicas, privadas o mixtas.

**Sistema de autobús de tránsito rápido (BRT):** (*Bus Rapid Transit* en inglés, BRT). Sistemas de transporte rápidos o sistemas de transporte público masivo en autobuses. Se caracterizan por transitar generalmente por carriles exclusivos en zonas urbanas (Tovar, 2013).

**Transporte público:** El transporte público es una industria encaminada a garantizar la movilización de personas o cosas por medio de vehículos apropiados a cada una de las infraestructuras del sector, en condiciones de libertad de acceso, calidad y seguridad de los usuarios, sujeto a una contraprestación económica. (Art. 3, Ley 105 de 1993).

**Tera julio (TJ):** El julio o joule es la unidad utilizada por el sistema internacional de unidades para medir la energía, el trabajo y el calor (SI The International System of Units, 2006).

**Ruta:** Es el trayecto comprendido entre un origen y un destino, unidos entre sí por una vía, con un recorrido determinado y unas características en cuanto a horarios, frecuencias, paraderos y demás aspectos operativos (Art. 7, Dec. 170 de 2001).

**Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP):** Compañía Arrendataria Autónoma de los Transportes Parisinos. Es una empresa pública creada por el sindicato de transportistas de la Île de France para gestionar la red de Metro de París y otros transportes urbanos e interurbanos de la capital francesa y de su área metropolitana (RATP, 2016).

**Valle de San Nicolás (VSN):** Esta ubicado en el Altiplano antioqueño. Está conformado por los municipios de El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Guarne, Rionegro, La Ceja, La Unión, Marinilla y San Vicente (Orientese, 2018).

**Unidad de Planeación Mineroenergética (UPME):** Es una Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, regida por la Ley 143 de 1994 y por el Decreto número 1258 de junio 17 de 2013 (UPME, 2014).

**Vía troncal:** Vía general de comunicación ferroviaria entre los principales puntos generadores o receptores de carga o pasajeros.

## RESUMEN

Este trabajo de maestría en profundización se desarrolló alrededor de la necesidad de mostrar a la academia la importancia de realizar estudios de viabilidad de sistemas de transporte público masivo, eficientes y sostenibles en las áreas de mayor desarrollo territorial y poblacional del Departamento de Antioquia, como es el caso del Valle de San Nicolás en el Altiplano antioqueño, utilizando diferentes tecnologías de transporte e integrando los sistemas de movilidad.

Primero, se mostró el panorama general tanto de Colombia como de Europa en el tema de sistemas de transporte público para dar un punto de partida para el análisis de esta tesis, saber cómo se encuentra el país y a qué se puede proyectar basado en las experiencias de Europa.

Segundo, se identificó y recogió los mejores modelos para la zona de estudio en diversas tecnologías de transporte público masivo, realizando una amplia vigilancia tecnológica de los modelos más eficientes y sostenibles en ciudades como Budapest, París, Bratislava, Múnich, Fráncfort del Meno, Berlín y Viena.

Tercero, se escogió y se analizó e identificó la región del Valle de San Nicolás como área de estudio por su actividad comercial, industrial y residencial; por sus enormes cultivos que nutren especialmente los mercados de exportación; y por sus características topográficas, para poder analizar qué tipo de modelo de transporte europeo es más viable.

Por último, se desarrollaron propuestas para la implementación de sistemas de transporte público sostenibles, ágiles y eficientes, ofreciendo ideas para aumentar la calidad del servicio actual de transporte público que atiende los municipios del área de estudio.

A partir del trabajo desarrollado, se concluye que:

- Es importante la participación de las entidades gubernamentales como el ministerio del transporte y las administraciones municipales tanto del VSN como de todo el país, en la planificación y desarrollo de estudios para implementar medios de transporte más eficientes.
- Es necesario cuidar las franjas viales por medio de políticas estratégicas para la orientación del desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo para futuros proyectos de transporte ferroviario eléctrico, quedando plasmado en los Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Desarrollo departamental y municipal.



- Es fundamental organizar e integrar los sistemas de transporte público en todas las ciudades en desarrollo del país, facilitando la dinámica de éstos, con el objetivo de brindar orden, seguridad, economía y accesibilidad a los usuarios.
- Se debe implementar protocolos de control de rutas<sup>1</sup> en la prestación del servicio actual de buses y colectivos para obtener una mejor organización, puntualidad y calidad del servicio. en tanto se logra implementar un nuevo sistema de transporte como el que se pretende implementar acá.

Finalmente, este trabajo plantea alternativas para una buena aplicación e integración entre el transporte y el desarrollo de la zona del VSN, con miras a reducir el deterioro de la calidad del aire, el problema climático y los niveles de CO2 en el ambiente.

Dicha propuesta enriquecería la comprensión de los factores más importantes para transformar las ciudades mediante una movilidad sostenible, ágil y eficiente.

**PALABRAS CLAVES: Sistema de transporte público, transporte público eléctrico, tranvías, trenes de cercanías, trolebuses, movilidad sostenible, movilidad, planeación, Valle de San Nicolás, planes de ordenamiento territorial.**

---

<sup>1</sup> El protocolo de calidad de rutas en el servicio de transporte público requiere gestores que permitan: paradas fijas, horarios fijos de carga y descarga de pasajeros, horarios y frecuencias fijos de despacho, monitoreos de rutas y utilización de aplicaciones inteligentes para el itinerario. Todo esto con el fin de tener un servicio puntual y eficiente

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial europeo y, un poco más adelante, el estadounidense, estuvieron acompañados del avance y consolidación de la industria del acero y del transporte.

De la mano del desarrollo de rutas férreas en Europa occidental y en los Estados Unidos, las ciudades se transformaron en poderosos centros industriales, comerciales y financieros, cambiando definitivamente su imagen urbana (Márquez, 2012).

Los dispositivos de transporte modernos se convirtieron en símbolo de la transformación de la vida de los seres humanos y del triunfo de la modernidad (Berman, 1991). Los sistemas de transporte se modernizaron mediante la implementación de nuevas tecnologías, que revolucionaron la forma de los hombres de desplazarse en las ciudades y regiones. Trenes y tranvías cambiaron la vida y la cultura de los pobladores y habitantes de regiones y ciudades en todo el mundo (Geddes P. , 1960).

En la actualidad se presenta un problema común y creciente de transporte urbano, en muchas de las ciudades en proceso de desarrollo en el mundo y el sistema de transporte público de buses es el más común, pero también uno de los más contaminantes. Los problemas ligados al crecimiento de las ciudades son: la congestión vial, la accidentabilidad, la dificultad en el acceso, los problemas de salud y el estrés a raíz de lo anterior (Hidalgo, 2002). Todos estos problemas acarrearán un impacto económico debido a las externalidades negativas que representan estos sistemas de transporte. Para darle solución a estos problemas, se ha planteado varias soluciones, unas relacionadas directamente con el desarrollo de proyectos de transporte público, otras con la construcción de infraestructura vial y la implementación de otros medios de transporte como la bicicleta.

Muchas de las ciudades colombianas han llegado a restringir el uso del automóvil particular por los altos niveles de contaminación que se presentan en el año, aunque muchas de estas medidas no generan un gran impacto para solucionar el problema (Revista Impacto, 2018). El pensar en financiar un sistema público de transporte masivo alimentado con electricidad, podría ser una herramienta fundamental para solucionar los problemas de transporte urbano y lograr que dichos problemas disminuyan o se eliminen. El sistema de transporte público masivo es más eficiente y equitativo, ya que, en términos de espacio y cantidad, el sistema de transporte público puede transportar mayor número de

pasajeros por unidad de espacio, consume menos energía por pasajero y produce un menor impacto ambiental que un medio de transporte privado.

En (Bermeo, 2006) se analiza las zonas del Valle de San Nicolás y cómo se han utilizado los suelos de esta subregión sin restricciones, es decir, el crecimiento acelerado de esta zona se ha generado sin planeación de los espacios de suelo, lo que da una vista clara a un futuro congestionado y ambientalmente afectado por el crecimiento del territorio.

En (Pardo, 2009) se estudia cuidadosamente los detalles que detonan una crisis en el sistema de transporte urbano sin planificación; se muestran, además, las posibles soluciones a muchos de los problemas que puede tener una ciudad en vía de desarrollo. El aporte de estos autores apoya el análisis que se hace acá sobre la importancia de implementar sistemas de transporte público masivo como la solución de los problemas actuales y futuros que podría tener no solo la subregión del altiplano antioqueño, sino varias de las ciudades de Colombia y Latinoamérica.

En el plan de desarrollo, “Antioquia piensa en grande” (Pérez, 2016) se describe la implementación futura de sistemas férreos de transporte público en un horizonte de cincuenta años, y se definen los planes a seguir y las exigencias de este modo de transporte, como el cuidado de franjas de terreno y la ejecución de estudios sobre posibles rutas. Este Plan de Desarrollo Territorial muestra la importancia de la historia de la región, en donde el sistema de transporte público férreo era una realidad, pero por motivos de mala planeación y administración fueron eliminados y en la actualidad no se ve tan claro el cómo y el cuándo se pueden volver a implementar.

Los sistemas de transporte ferroviario han tenido un gran protagonismo en la historia de Antioquia, como dispositivos técnicos diseñados para posibilitar ágilmente la comunicación y conexión entre el casco urbano central y las áreas circundantes del Valle de Aburrá. Los tranvías eléctricos en Medellín era el ideal para la coyuntura de demanda y movilidad que vivía la ciudad, ya que se adaptaban plenamente a las condiciones topográficas y espaciales del momento sin tanto costo para la administración municipal (Márquez, 2012).

Medellín tuvo un ferrocarril urbano un cuarto de siglo antes de tener un ferrocarril a vapor y los tranvías tirados por caballos comenzaron a transportar pasajeros el 23 de enero de 1887 (Morrison, 2008). La Empresa de Tranvías Eléctricos, fundada en 1919 y reorganizada como el Tranvía Municipal de Medellín en 1920, cuando fue adquirida por un organismo estatal, las Empresas Públicas Municipales inaugura en 1921 la primera línea de tranvías eléctricos de la ciudad. Sin embargo, a partir de 1945 comenzaron a desaparecer, y para el año 1951 habían

sidio reemplazados por buses de combustión, dando fin a la red ferroviaria eléctrica (Morrison, 2008).

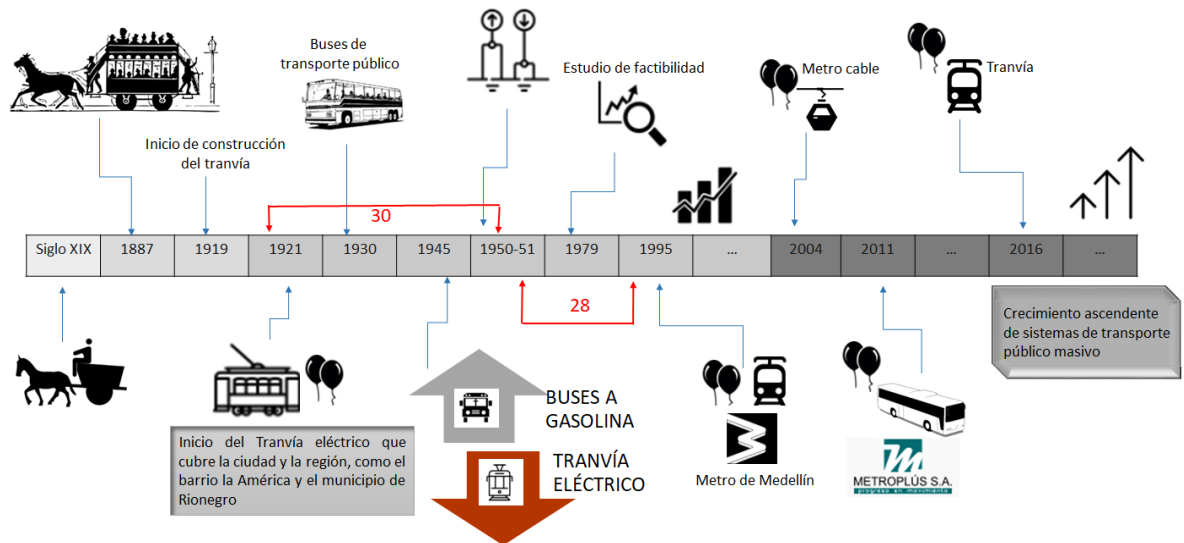


Figura 1. Ciclo de la historia de los sistemas de transporte público en Medellín, Antioquia.

A la par del tranvía de Medellín, nace la idea de crear una ruta férrea que conectara a Medellín con el Valle de San Nicolás y éste a su vez con el Magdalena medio. Román Gómez, líder conservador de Marinilla fue quien comenzó con la idea de impulsar el proyecto y construcción de la empresa del Tranvía de Oriente (ETO) a comienzos de la década de los 20 (Rionegro Patrimonio histórico, 2018).

El proyecto fue llevado al consejo de Medellín y la Asamblea de Antioquia, para que se analizara la posibilidad de implementar este modo de transporte. A mediados de 1924 se firma el contrato de construcción del proyecto. Se comienzan las obras en 1925, las cuales tendrían una ruta de más de 40 km entre Medellín, el Alto de la Sierra en Guarne, y Marinilla, además de 6 km de vía entre Rionegro y La Ceja (Rionegro Patrimonio histórico, 2018).

A diferencia del Tranvía de Medellín, que tenía alimentación por medio de catenaria, el Tranvía del Oriente funcionaría con vagones a gasolina. Vehículos como “Edwards”, Ford, GMC y REO, fueron adaptados a los rieles y continuaron con el sistema de combustión interna y la caja de cambios (Botero, 2010). En 1929 se da comienzo a el Tranvía de Oriente con una flota de:

- 4 carros-Motores con capacidad de 36 Pasajeros.

- 10 carros-Motores con capacidad de 25 Pasajeros.
- Vagones para carga con capacidad de 7 toneladas.
- 6 vagones para carga con capacidad de 3 toneladas.
- 1 vagón mixto con capacidad 11 toneladas sobre plataforma y 10 de remolque en la cordillera.
- 2 carros-Remolque en la cordillera que se utilizaban cuando fallaban los Carros-Motores.



Figura 2. Fotografías de los primeros coches del tranvía de Oriente en 1928 (Rionegro Patrimonio histórico, 2018).

El mismo año en que se inaugura el tranvía, entra en funcionamiento la vía que comunica a los municipios de Medellín, Santa Elena y Rionegro, con un trayecto de aproximadamente una hora y media, mientras que la vía del tranvía superaba las tres horas para llegar de Medellín a Rionegro. Esto y los problemas que se tenían entre los liberales de Rionegro y los conservadores de Marinilla, el proyecto se comenzó a debilitar, sumándole la mala administración y su mal funcionamiento, finaliza el contrato entre estos municipios en 1937 (Botero, 2010). Así pues, se deja de funcionar por completo el Tranvía del Oriente, perdiendo las líneas, las franjas y el interés de volver a retomar el proyecto hasta el presente.

Más recientemente, en 2016, el gobernador de Antioquia, Luis Pérez Gutiérrez, instala la primera mesa de trabajo con los interesados en el desarrollo del plan de reactivación del Ferrocarril de Antioquia: Gobernación de Antioquia, Alcaldía de Medellín, Área Metropolitana, Metro de Medellín, Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA), EPM y Empresas Varias de Medellín. También hace parte el Departamento de Planeación Nacional, el Ministerio de Transporte y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) (Mercado, 2016), para darle de nuevo la idea a la región de tener un sistema de transporte público masivo ferroviario.

En (Álzate, 2007) se propone un modelo de optimización multi-período de mínimo costo para la estimación de demandas de movilidad de los diferentes escenarios y políticas regulatorias de carácter energético y ambiental para el transporte público del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Mientras se define la inclusión de Antioquia en los planes de red ferroviaria del país, es necesario comenzar con:

- Análisis de viabilidad de troncales estratégicas.
- Delimitación de franjas viales.
- Análisis de modelos de transporte masivo para estas franjas.
- Interconexión de los municipios con el Valle de Aburrá, aeropuerto internacional JMC y resto del país.

Todo el trabajo realizado en esta tesis se ha concentrado en la recopilación de material bibliográfico, experiencias vividas, reportajes y el análisis de visitas realizadas a varias ciudades de Europa. Los documentos clave y algunos involucrados en los sistemas de transporte público aplicados en las ciudades europeas actualmente son la mayor base para analizar la viabilidad de implementar sistemas férreos de transporte en la zona de estudio de esta tesis, el VSN. Además, este trabajo sigue un espíritu de aporte al desarrollo de Colombia y la calidad de vida de sus habitantes con sistemas de transporte público amigables con el medio ambiente. El análisis del impacto de estos mejoramientos en esta tesis muestra la importancia del cuidado de las zonas territoriales para futuros proyectos y la importancia de la participación de todos los agentes de la política y la población en general.

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 PROBLEMA INVESTIGATIVO

El proceso de crecimiento del Oriente antioqueño se ha llevado a cabo en los últimos treinta años sin una planificación coordinada y estudiada en profundidad.

La Subregión del Valle de San Nicolás del Oriente antioqueño se encuentra en un proceso de desarrollo acelerado en el cual los agentes particulares y sectoriales han ido modificando las actividades y formas de ocupación de la zona.

El traslado de las industrias al Oriente y el uso de suelos han generado una modificación de las actividades, la economía, el paisaje y el uso del suelo. Gracias a las nuevas actividades socioeconómicas de la subregión se han desarrollado diferentes proyectos de vivienda privada, producción de industria, recreación y servicios, en los cuales se han necesitado los terrenos que eran utilizados para producción agropecuaria campesina para abastecer el Valle de Aburrá o exportar a otras regiones o países. El alto crecimiento de la zona y las nuevas actividades llevadas a cabo allí, exigen un planteamiento y planificación acorde con el presente y futuro de la misma.

La ubicación estratégica del Valle de San Nicolás ha desarrollado a su alrededor una infraestructura vial que la unen con el resto del país y otros países por medio del aeropuerto internacional. Pero estas rutas se están quedando cortas con el rápido crecimiento y expansión de zona, lo cual exige que se planifique y se estudie la posibilidad de implementar sistemas masivos de transporte que movilicen no solo los pasajeros de los nueve municipios del VSN, sino también las mercancías.

La expansión urbana es una realidad no solo de la subregión de estudio, sino en otras regiones de países desarrollados y en vía de desarrollo, donde la continuidad del crecimiento de las zonas no da espera a la creación o planteamiento de proyectos de transporte público, por lo que, al no planear la proyección físico-espacial de la expansión con buenos usos del suelo, se pronostica niveles de inmovilidad que acabarán con la competitividad y frustrarán por completo el crecimiento económico de las regiones en desarrollo.

Por todo ello, se escoge a los referentes de las ciudades europeas, los cuales han tenido un recorrido amplio en la historia y han realizado proyectos viales que han impulsado el crecimiento y la economía de las ciudades, y de los mismos países.

Las experiencias y resultados adquiridos en estas ciudades europeas no se pretenden aplicar directamente ni traslapar sin una adecuación y adaptación a las realidades de la zona; las mismas, facilitan la identificación de las prácticas y principios, claves y lecciones fundamentales que pueden utilizar y que pueden guiar la planeación y objetivos de las ciudades colombianas que busquen implementar, planear o posiblemente invertir en sistemas de transporte masivos sostenibles, con sistemas ferroviarios.

## **1.2 RAÍCES PRIMARIAS**

### **1.2.1 Raíz Técnica**

En la zona de estudio hasta la fecha no se tiene una planificación de cuidado de franjas para futuros sistemas de transporte férreos que unan los municipios entre sí y con otras regiones del país, por lo cual afectaría el desarrollo de este tipo de sistemas, ya que la compra de los predios encarecería la ejecución de cualquier proyecto y disminuiría su viabilidad.

Europa ha implementado los sistemas de transporte público masivo eléctrico desde hace décadas con estudios de proyección y excelente planeación de rutas y franjas por lo que hoy en día el transporte es un sector clave de actividad: aporta una importante contribución a la economía (4,8% del valor añadido bruto para el conjunto de los veintiocho<sup>2</sup>, equivalente a 548.000 millones de euros) y genera más de 11 millones de puestos de trabajo en Europa (europea, 2018).

### **1.2.2 Raíz de conocimiento e información**

Se requiere realizar una investigación previa de todas las variables de los diferentes sistemas de transporte, tales como:

- La interacción del sistema de transporte con las actividades de las ciudades o región.
- Las tecnologías implementadas en los vehículos.

---

<sup>2</sup> Los veintiocho son el conjunto de países que conforman la Unión Europea en la actualidad, estos son: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía y Suecia (Europea, 2018)



- Las características de funcionamiento y el método de trabajo en las ciudades en las que se está implementado.
- La tecnología de alimentación de los medios de transporte.
- La integración del sistema de transporte ferroviario con otros medios de transporte.
- La eficiencia y la frecuencia de los sistemas de transporte.
- Formas de recaudo y pagos de viajes.
- Los años en funcionamiento y la proyección de vida de los sistemas actuales de transporte.

Estas previas recopilaciones de datos ayudarán al investigador con la búsqueda de las posibles afinidades del sistema de transporte en funcionamiento con el sistema de Colombia.

### **1.2.3 Raíz Empresarial**

La implementación de sistemas ferroviarios en Colombia sin duda alguna impulsaría la industria en el país de materia prima, materiales y elementos; eléctricos, mecánicos o electrónicos de los sistemas de transporte, y la creación de carreras técnicas y profesionales de sistemas ferroviarios e ingeniería de la movilidad, entre otras. Se podrá crear un desarrollo e impulsar el conocimiento de la misma región, disminuyendo costos y apoyando a los profesionales locales.

### **1.2.4 Raíz Gubernamental**

En la actualidad no se tiene claro un Plan de Ordenamiento Territorial del Altiplano del Oriente antioqueño que exija el cuidado de las franjas para posibles desarrollos de proyectos de sistemas de transporte masivo para movimiento de pasajeros y de mercancías.

El gobernador actual de Antioquia, Luis Pérez Gutiérrez, tiene en su plan de desarrollo proyectos visionarios detonantes del desarrollo de la región, en el cual se encuentra el Ferrocarril de Antioquia, el cual uniría los tramos que conectan a Medellín con el Pacífico y el Magdalena Medio, como parte de la propuesta del Tren bioceánico del Cauca: Buenaventura – Cali – Medellín – Cartagena – Barranquilla, así como la inclusión de una línea férrea entre Medellín y la Gran Zona Portuaria de Urabá (Pérez, 2016). Pero dicho proyecto solo se anota como proyecto visionario, más no es claro en su concepción, en el cual se debe especificar las exigencias de este, la participación de todos los gobernantes del

departamento para el cuidado de las posibles rutas por donde se puedan llevar las vías férreas.

### **1.3 RAÍCES SECUNDARIAS**

- Referenciamiento de sistemas de transporte actuales en funcionamiento.
- Caracterización de estos sistemas y clasificación de tecnologías del transporte masivo de mediana y alta capacidad eléctrico o híbrido.
- Visitas en campo a diferentes sistemas de transporte en ciudades europeas.
- Visita a los municipios que conforman el Valle de San Nicolás y análisis de las actividades socioeconómicas de cada uno.
- Apoyo fotográfico de los sistemas y su funcionamiento.

### **1.4 ELEMENTOS**

#### **1.4.1 Elemento Primarios**

Para este caso se tiene sistemas de transporte de diferentes tipos y tecnologías en operación, a los que se les realiza un análisis en campo sobre: el comportamiento con el entorno, la comodidad del sistema, método de pago, rutas y líneas, tipo de alimentación y tecnología empleada, características visuales del sistema y características físicas del vehículo. Para todo ello se deberá tener muy claro cuáles son los proyectos que se tienen proyectados en:

- POT
- Plan de desarrollo departamental y municipal.
- Plan de desarrollo nacional.

#### **1.4.2 Elementos Secundarios**

Se tiene como apoyo previos estudios realizados en algunas de las ciudades colombianas, los sistemas ya en funcionamiento en países europeos y los futuros proyectos en implementación de sistemas de transporte masivo de mediana capacidad en Europa y Colombia.

## **1.5 RECEPTORES**

### **1.5.1 Receptores Directos**

Este trabajo de grado va dirigido a la comunidad académica y los organismos de planeación municipal de manera que se puedan desarrollar ciudades colombianas acordes con el crecimiento poblacional y territorial para efectuar proyectos a largo plazo de sistemas de transporte público masivo y tecnologías sostenibles fundamentados en los modelos europeos de transporte. Es por ello que se analiza la viabilidad de implementar algunos de estos sistemas de transporte en el Altiplano Oriental de Antioquia o bien llamado Valle de San Nicolás por su proyección y crecimiento territorial y poblacional.

### **1.5.2 Receptores Indirectos**

En este ámbito estarían: universidades con sus grupos de investigación, empresas de transporte público, fabricantes de sistemas de transporte masivo y mercados eléctricos afines a sistemas de tracción eléctrica e híbrida. Además de la misma industria fabricante que podría comenzar un mercado de piezas y elementos que utilizarían dichos sistemas de transporte, con mira a bajar sus costos.

## **1.6 PROPUESTA INVESTIGATIVA**

Para alcanzar los objetivos del trabajo se seguirá la metodología descrita a continuación:

- **Consulta bibliográfica:** Se procederá a realizar una vigilancia tecnológica, con el fin de obtener material bibliográfico e información técnica sobre los temas del proyecto, con la intención de conocer procesos, tecnologías y proyectos de sistemas de transporte público de mediana capacidad que hayan sido implementados o se encuentren en planeación para un futuro cercano.
- **Referenciamiento:** Se realizarán diferentes visitas a ciudades europeas con características similares o cercanas a las colombianas, realizando un análisis crítico de los mismos.
- **Clasificación de los sistemas de transporte:** Se documenta la información respectiva de los sistemas de transporte empleados en las ciudades referentes de Europa y cuáles de estos modelos son factibles implementar en Colombia.

- Identificación de las tecnologías del sistema de transporte en Colombia, con la información de los estudios previos de los antiguos sistemas, los actuales y los futuros proyectos en movilidad pública en las ciudades colombianas.
- Identificación de las actividades de las ciudades: Se identificarán las diferentes actividades que se ejecutan en cada una de las ciudades europeas y colombianas para tener en cuenta en la investigación, para la operación en tiempo real del sistema de transporte.
- Planteamiento del modelo de operación del sistema de transporte público de mediana capacidad más ocionado para implementarse a futuro en Colombia: Teniendo en cuenta las alternativas de operación analizadas y con base en las actividades investigativas que se llevarán a cabo, se planteará un modelo de operación viable en Colombia y se analizará dicho modelo para el caso del valle de San Nicolás, Antioquia.
- Redacción del informe final y las posibles conclusiones.

## **1.7 OBJETIVOS**

### **1.7.1 Objetivo general**

Desarrollar un estudio de profundización de los diferentes modelos de transporte público masivo de ocho ciudades de Europa (Ámsterdam, Budapest, Bratislava, Berlín, Fráncfort del Meno, Múnich, París, y Viena) tomadas como referentes para analizar cuál de estos puede llegar a ser viable e implementados a futuro en el Valle de San Nicolás dado su alto crecimiento poblacional y el uso que se le está dando al suelo en esta subregión.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

- Realizar un análisis del panorama general de Colombia, el Valle de San Nicolás y la Unión Europea en el sector transporte, especificando los medios de transporte público masivos.
- Seleccionar ciudades del continente europeo por sus características y modelos de transporte eficientes y sostenibles.
- Recopilar material bibliográfico, experiencias vividas, reportajes y análisis de las visitas realizadas a las ciudades de Europa, documentando información clave de los medios de transporte y los gestores de tráfico e información que utilizan.

- Caracterizar las similitudes físicas y estructurales del sistema de transporte público de las ciudades referentes con algunas zonas del caso de estudio, Valle de San Nicolás.
- Analizar e identificar las diferentes actividades y características topográficas de cada uno de los municipios del Valle de San Nicolás, analizando su crecimiento poblacional, el uso del suelo y los diferentes planes de desarrollo municipal y departamental de la región.
- Proponer un método para el análisis del sistema de transporte que facilite la selección de un modelo de transporte público para el VSN.
- Desarrollar y analizar algunos ejes estructurales entre los municipios que conforman el Valle de San Nicolás, en los que se podría implementar sistemas de transporte público masivo basados en los modelos referentes europeos.
- Realizar algunas recomendaciones a alcaldías y gobernación para el cuidado de las franjas de terreno en la subregión antes de que esta se desarrolle por completo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. FACTORES PARA CONSIDERAR

Se tiene claro que los mecanismos necesarios para una exitosa integración del transporte público y el desarrollo urbano se pueden categorizar como complejos. La multitud de factores involucrados incluye las características naturales e históricas propias de una ciudad en condiciones naturales e históricas, la perdurabilidad en el tiempo, los marcos institucionales, los recursos financieros, las estructuras de gobierno, las iniciativas y medidas del sector público para la planificación del transporte y las respuestas del mercado de cada ciudad (Madrid, 2003). Adicionalmente, se debe tener en cuenta y trabajar en favor del desarrollo de un sistema de transporte masivo sostenible y eficiente antes de que las ciudades se desarrollen por completo.

Las ciudades con buen acceso al transporte público y los espacios urbanos bien diseñados se convierten en lugares sumamente atractivos para vivir, trabajar, estudiar e invertir. Tales ambientes mejoran la competitividad económica de una ciudad, reducen la contaminación local y las emisiones globales de gases de efecto invernadero, y promueven un desarrollo inclusivo. Estos objetivos son el eje del desarrollo orientado al transporte, una forma urbana que cobra cada vez más importancia para el futuro sostenible de las ciudades colombianas.

Las experiencias y resultados adquiridos en las ciudades europeas, a las que se fue personalmente para obtener de primera mano la información para esta investigación, no se podrán aplicar directamente sin una adaptación a las realidades de la zona de estudio, Valle de San Nicolás, dado que las ciudades colombianas son muy diferentes a las ciudades europeas.

El propósito no es identificar prácticas precisas, sino dar a conocer datos, aprendizajes, principios claves y lecciones fundamentales que pueden guiar la planeación y la práctica de las ciudades colombianas que en la actualidad quisieran implementar, planear o posiblemente invertir en sistemas de transporte sostenible eléctrico o híbrido. La cultura europea en general se caracteriza como puntual y ágil, y ello se debe en gran parte al sistema de transporte público, ya que éste funciona de manera rápida, eficiente y puntual, lo que impregna a la cultura y modifica de forma positiva el día a día y las actividades que se lleven a cabo.

Algunas ciudades europeas serán el referente para esta tesis ya que el autor pretende mostrar como países ya desarrollados llevaron a cabo buenas prácticas para obtener la calidad de transporte y vida que se tiene en este continente. Para

todo ello, a continuación, se pondrá en contexto la situación del transporte público, la subregión de estudio y las ciudades referentes de Europa.

## **2.2. PANORAMA GENERAL DEL TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO EN COLOMBIA**

Colombia es un país latinoamericano con características mixtas en climas y territorio. La topología colombiana es diferente en cada región y ciudad, por lo que en ella se manejan diferentes sistemas de transporte, adecuados a las zonas. A través de su historia, en el transporte colombiano se ha implementado muchos medios de transporte públicos e individuales como la tracción animal y el ferrocarril<sup>3</sup>. Actualmente, los sistemas de buses normales, buses padrones y colectivos son los más utilizados en las ciudades principales e intermedias del país, pero el Valle de Aburrá es la gran diferencia en sistemas de transporte, ya que allí se cuenta con sistema metro, tranvía, BRTs (buses de tránsito rápido), teleféricos, buses normales y colectivos.

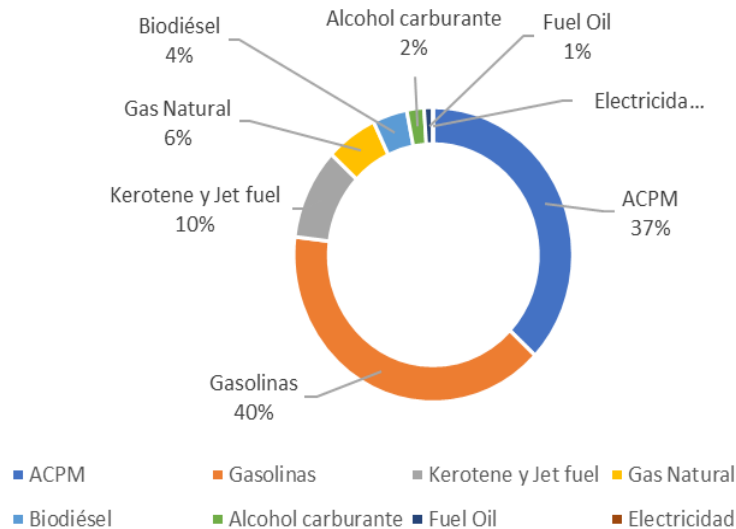
Colombia en la actualidad presenta muchos problemas en cuestión de sistemas de transporte y movilidad tanto en las ciudades principales como en las intermedias. El país tiene un nivel de consumo de energía para el sector transporte altamente perjudicial, con la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes, ya que los combustibles utilizados en esta actividad son desfavorables para el medio ambiente y salud de los habitantes (MME-UPME, 2017). Colombia es un país especial debido a su topografía nacional, la cual presenta variedad de accidentes geográficos, además de una densidad poblacional baja en términos de la totalidad de la extensión del territorio, además de ello, cuenta con ciudades principales altamente densas y distantes entre sí, por lo que se requiere un alto consumo de energía en el sector transporte para unir estas ciudades con los puertos y otras ciudades del país (MME-UPME, 2017).

De acuerdo con (MME-UPME, 2017). el sector transporte consume aproximadamente de 495.512 TJ y la fuente principal son los combustibles fósiles El ACPM y la gasolina motor son los energéticos más importantes en el sector transporte, su participación se muestra en las siguientes gráficas:

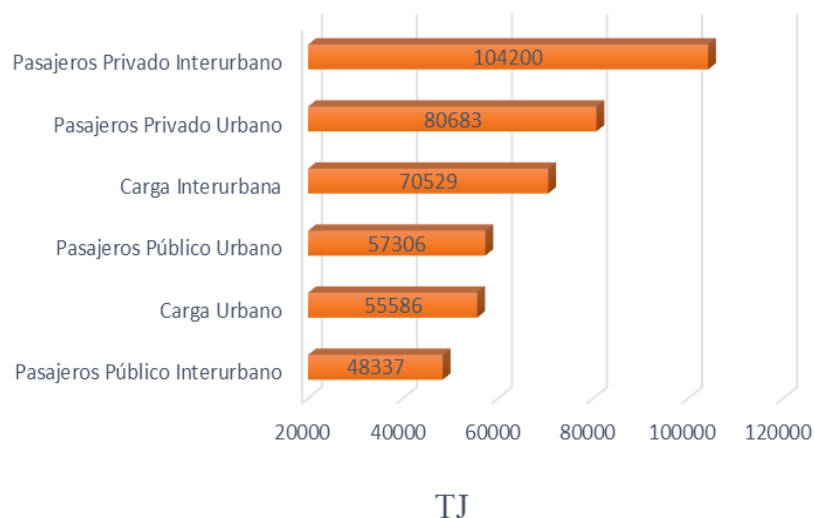
---

<sup>3</sup> El ferrocarril de Antioquia se encuentra en proceso de estudio por el consorcio encargado, hasta ahora se están haciendo los estudios de franjas de la Nación para el desarrollo del proyecto, tanto en la franja del río de los municipios de La Estrella y Caldas como en el norte de Medellín por el barrio La Pasarela. El municipio de Medellín y el Metro están negociando predios para la construcción del cable de El Picacho, y también se buscará recuperar las franjas que pertenecen a la Nación (Arango, 2017).

Gráfica 1. Distribución del consumo por energético en el sector transporte 2015 (MME-UPME, 2017).



Gráfica 2. Consumo de energía en transporte carretero por segmento en 2015 (MME-UPME, 2017).



En la Gráfica 1 se presenta la participación de cada energético en el consumo del sector transporte, en el que el consumo del ACPM tiene uno de los valores más grandes, y muchos de los vehículos de transporte público de pasajeros y transporte de carga lo utilizan como alimentación, mientras que el consumo de gasolina motor es el alimentador de los vehículos de uso privado de pasajeros.



Además de ello, en la gráfica 2 se muestra que la mayoría de estos consumos son para el modo de transporte carretero, en los cuales el consumo de energía del transporte privado de pasajeros ha tomado más importancia, siendo incluso mayor que el consumo en transporte interurbano<sup>4</sup> de pasajeros y el consumo en transporte interurbano de carga (MME-UPME, 2017).

En cuanto al consumo energético e impactos ambientales, el transporte público pareciera que tiene mayores emisiones contaminantes que los automóviles particulares, especialmente comparado con los buses de transporte público alimentados con Diesel de mala calidad con un vehículo particular con estándares de emisiones aceptables. Pero en este caso, se debe tener en cuenta la cantidad de pasajeros transportados en cada uno, ya que un bus puede transportar un promedio de 60 personas por viaje y el factor emisión por persona transportada se divide entre todos los pasajeros del vehículo. Esta comparación es aún más favorable para el sistema de transporte público cuando se hace con un bus articulado (transporta un promedio de 160 pasajeros) o sistemas masivos con alimentación eléctrica que movilizan entre 100 a 300 pasajeros por viaje.

Por otra parte, la inversión implicada en el transporte público es más eficiente dado que el número de viajes es menor en comparación con el transporte privado. La construcción y mantenimiento de las vías públicas en el país, puede ser mayor que la que requiere un sistema de transporte público masivo para movilizar la misma cantidad de personas. Por ejemplo, la inversión que se requiere para movilizar 500.000 automóviles privados en una autopista y la esperada para movilizar las mismas personas en un sistema masivo de transporte, demuestra que éste es menos costoso que aquel en términos de pasajeros transportados (Pardo, 2009). El Ministerio de Minas y Energía, MME, promulgo mediante la resolución 180919 de junio de 2010, el Plan de Acción Indicativo, PAI, 2010-2015 para desarrollar el PROURE, con metas y acciones de eficiencia energética por sector de consumo prioritario; entre las cuales se plantean soluciones para las actuales y futuras problemáticas del sector transporte en Colombia (MME-UPME, 2017).

Los planes para una buena y eficiente movilidad urbana en cualquier ciudad, constan de la elaboración de planes y acciones integrales y responsables que ponen en marcha a los encargados para conseguir una movilidad más eficiente energéticamente y menos contaminante, con metodologías de participación y concienciación social, publicidad y educación (Caicedo, 2010). Muchas de esas acciones las presenta el PROURE (Caicedo, 2010), y se citan a continuación:

---

<sup>4</sup> El término “interurbano” se refiere a las zonas fuera de los grandes centros urbanos de las ciudades principales del país como lo son: Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga y Villavicencio (MME-UPME, 2017).

### **Acciones:**

- Desincentivar el uso del vehículo particular mediante el desarrollo de sistemas integrados de transporte masivo de pasajeros.
- Promover y apoyar el sistema de transporte de bicicletas, bicicletas eléctricas, motos eléctricas o de bajo consumo de combustible, autos híbridos, entre otros. Motivar el mercado para que los fabricantes introduzcan al país más oferta de este tipo de vehículos.
- Llevar a cabo prácticas en gestión de parqueo.
- Realizar actividades de mejoramiento de la Red Vial.
- Examinar la puesta en funcionamiento de peajes electrónicos en las ciudades principales.
- Disminución de impuestos en medios de transporte eficientes y limpios.
- Incentivos y financiación para estudios y diseños básicos de infraestructuras, reserva de franjas, diseño e implementación de metodologías tecnológicas de información para los usuarios.
- Poner en funcionamiento medidas que implemente incentivos arancelarios.
- Planes de movilidad urbana.
- Buscar cómo financiar planes de movilidad, requerimientos y estudios de viabilidad de medidas de movilidad, realización de estudios de seguimiento de las regiones en vía de desarrollo y las implementaciones en cada ciudad.
- Utilización de sistemas ferroviarios.
- Cooperación y subsidios para estudios y diseños básicos de infraestructuras que incrementen la penetración del sector en el transporte de carga por sistemas férreos.

Todo ello son algunas de las acciones que el MME pretende aplicar para realizar cambios en las situaciones actuales y a futuro en el sector transporte del país. A continuación, se realizará un análisis en la zona de estudio escogida para esta tesis, Valle de San Nicolás, en la que se busca una buena y eficiente movilidad urbana, analizando la zona; su situación actual, crecimiento poblacional y uso del suelo, en busca de alternativas para el análisis de viabilidad de implementación de sistemas de transporte público sostenibles y eficientes.

### **2.2.1. Panorama general del Valle de San Nicolás**

Los diferentes procesos de planificación y desarrollo por las instituciones del Estado en la subregión del Valle de San Nicolás del Oriente antioqueño se han realizado a través de los últimos años. Muchos de ellos se han llevado a cabo con conocimiento amplio de la zona, la dinámica y los conflictos, pero no han logrado incidir sobre el ordenamiento del territorio de la misma forma que los agentes privados. El proceso de la configuración espacial de la subregión se ha ido desarrollando con una mayor incidencia y efectividad por los agentes privados, los cuales han gestionado y asignado al territorio una vocación condicionada por interés particulares en el sector económico y político (Bermeo, 2006).

La zona del oriente antioqueño ha tenido un crecimiento acelerado y una gran transformación del suelo por parte de los intereses de particulares y sectoriales de esta subregión, lo cual ha generado un desequilibrio territorial debido a las rápidas modificaciones del suelo, el paisaje y las actividades sociales y económicas, que tienen implicaciones culturales y ambientales en la subregión (Bermeo, 2006).

Las cifras que señalan la presión al territorio del Oriente antioqueño son significativas; el 97 % de los bosques está deforestado y el 53 % del uso del suelo está compartido entre la vivienda, la industria y el comercio (Álvarez, 2016). Además de ello, se ha registrado un desarrollo acelerado de la construcción de viviendas en el Oriente: la valorización del suelo en 2015 fue de un 11,4 %, según datos de la Lonja Propiedad Raíz (Lonja org, 2013), y el aumento de la venta de vivienda en el sector ha sido un 500 % en los últimos 7 años (Camacol Antioquia, 2012). El Oriente, después del Valle de Aburrá y Urabá, es la tercera región más poblada de Antioquia con 586.821 habitantes aproximadamente (Álvarez, 2016).

Esta subregión se encuentra estratégicamente ubicada, debido a que su infraestructura actual de transporte permite la comunicación de la capital del Departamento con las demás ciudades del país y del mundo, gracias a su amplia red vial y al aeropuerto internacional JMC. El espacio geográfico del VSN se encuentra viviendo una realidad de cambio constante, entre espacios rurales y urbanos. Esta subregión se encuentra en constante crecimiento, por lo que requiere una actuación para el ordenamiento territorial y gestión ambiental, por lo que hace necesario que las políticas de planificación sean coordinadas, estratégicas y estudiadas para buscar un equilibrio de la zona y un desarrollo equilibrado a través de los años.

### **2.2.2. Crecimiento poblacional Valle de San Nicolás**

Uno de los objetivos por los cuales se escoge el VSN para el proceso de investigación de esta tesis, es por su alto nivel de crecimiento territorial y poblacional. A través de los años el VSN se ha convertido en receptor de la población proveniente de los municipios vecinos del Oriente, ya sea por

desplazamientos por grupos armados o cautivada por la mejor dotación de infraestructura y la diversidad de actividades económicas. Estos flujos han generado un crecimiento continuo de la población asentada y flotante allí (Bermeo, 2006), y las estadísticas señalan que el número de habitantes ha tenido un rápido crecimiento en los últimos 40 años.

Actualmente la subregión tiene el 53,17 % de la población del Oriente antioqueño (347.833 habitantes aprox.), un 71,67 % de la población asentada en las cabeceras municipales (193.187 habitantes aprox.) y un 47,08 % de la población asentada en el resto del territorio de la región (154.646 habitantes aproximadamente, aunque no es claro que porcentaje de esta población es considerada como rural) (Bermeo, 2006). Las tablas a continuación muestran la composición urbano - rural de cada uno de los municipios que conforman el VSN y su densidad poblacional (hab/km<sup>2</sup>) basado en la superficie de cada uno de los municipios (km<sup>2</sup>):

Tabla 1. Población de los municipios del VSN por habitante al 2015 (DANE, 2018).

<b>MUNICIPIO</b>	<b>POB. TOTAL</b>	<b>URBANA</b>	<b>%URBANO</b>	<b>RURAL</b>	<b>%RURAL</b>
<b>Rionegro</b>	124.219	81.591	65,7	42.628	34,3
<b>Marinilla</b>	53.374	41.861	78,4	11.513	21,6
<b>La Ceja</b>	52.723	45.779	86,8	6.944	13,2
<b>Guarne</b>	50.797	25.609	50,4	25.188	49,6
<b>El Carmen de Viboral</b>	47.340	30.887	65,2	16.453	34,8
<b>El Santuario</b>	27.120	22.999	84,8	4.121	15,2
<b>San Vicente Ferrer</b>	19.389	7.383	38,1	12.006	61,9
<b>La Unión</b>	19.119	10.726	56,1	8.393	43,9
<b>El Retiro</b>	19.108	9.972	52,2	9.136	47,8

En dichas tablas se puede observar que el municipio con mayor población es Rionegro, mientras que El Retiro es el menor con 19.108 habitantes. Si se analiza la composición urbano – rural se observa que El Santuario, La Ceja y Marinilla se caracterizan por tener la mayor parte de la población en sus zonas urbanas, en comparación con San Vicente Ferrer y La Unión, municipios un poco más alejados de la zona central del área metropolitana del Valle de San Nicolás.

El Carmen de Viboral es el municipio más extenso con 448 km<sup>2</sup>, seguido de El Retiro y San Vicente Ferrer que tienen ambos casi la misma superficie de 244 km<sup>2</sup> y 243 km<sup>2</sup> respectivamente. Los municipios de La Unión y Rionegro tienen casi la misma superficie, pero no entran entre los más grandes, con una dimensión de 198 km<sup>2</sup> y 196 km<sup>2</sup> respectivamente. El Santuario es el municipio más pequeño con 75 km<sup>2</sup>, pues en 1838 fue jurisdicción del municipio de Marinilla (El Santuario, 2017).

Por último, en el aspecto sociodemográfico se analiza la densidad poblacional, elemento importante y significativo para analizar la posibilidad y viabilidad de implementar un sistema de transporte férreo que pueda movilizar la cantidad de habitantes que en la zona residen.

Tabla 2. Densidad (hab/km<sup>2</sup>) y superficie (km<sup>2</sup>) de los municipios del VSN al 2015 (DANE, 2018).

<b>MUNICIPIO</b>	<b>POB. TOTAL</b>	<b>SUPERFICIE (km<sup>2</sup>)</b>	<b>DENSIDAD (hab/km<sup>2</sup>)</b>
<b>Rionegro</b>	124.219	196	633,77
<b>Marinilla</b>	53.374	115	464,12
<b>La Ceja</b>	52.723	133	396,41
<b>Guarne</b>	50.797	151	336,40
<b>El Carmen de Viboral</b>	47.340	448	105,67
<b>El Santuario</b>	27.120	75	361,60
<b>San Vicente Ferrer</b>	19.389	243	79,79
<b>La Unión</b>	19.119	198	96,56
<b>El Retiro</b>	19.108	244	78,31

Como se observa en la tabla anterior, Rionegro es el municipio con mayor densidad poblacional (633,77 habitantes/km<sup>2</sup>), está ubicado de una forma más centrada en la región metropolitana del VSN y limitando por dos de los municipios más grandes del área metropolitana del Valle de Aburrá, Medellín y Envigado como se muestra en el siguiente mapa:

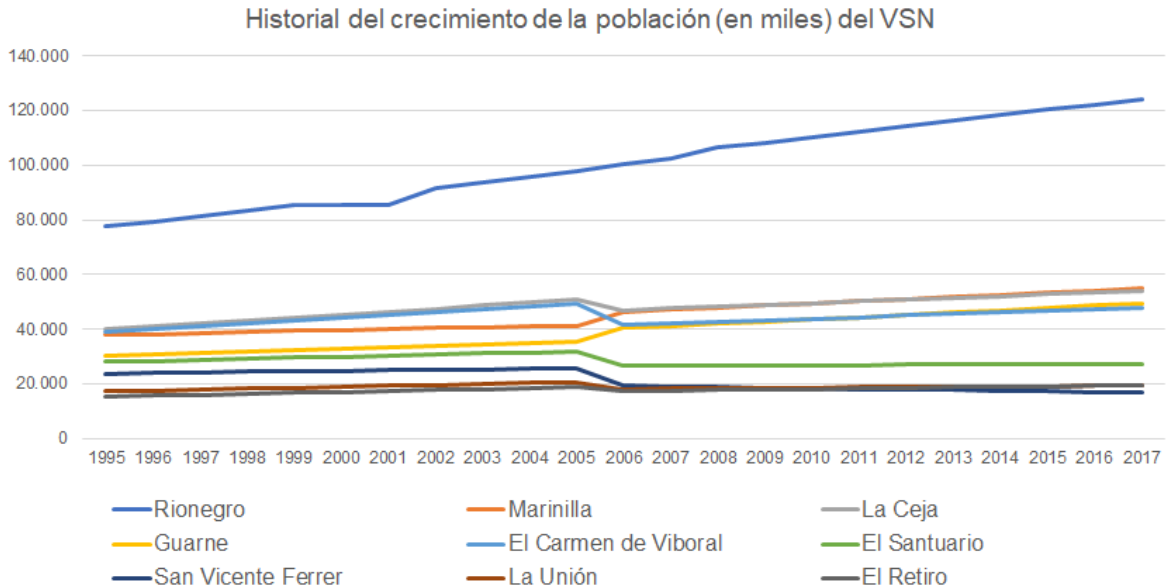


Figura 3. Mapa de ubicación del municipio de Rionegro en el VSN (Plan Vial Rionegro, 2016).

La Gráfica 3 fue sacada de un estudio estadístico realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la cual muestran el historial de comportamiento del crecimiento poblacional desde 1995 hasta el 2017 de cada uno de los municipios que conforman el VSN (Estudio poblacional DANE, 2015).

En ella se logra observar que la zona se encuentra en un crecimiento ascendente, en su mayoría, a través de los años. Esto podrá ayudar al autor a demostrar la importancia de realizar estudios y planificar proyectos alrededor del transporte público masivo, ojalá con sistemas férreos, debido a que cada municipio presentará un continuo crecimiento de su población y requerirá adecuaciones y actuaciones en el sector transporte para no convertirse en una subregión que a futuro presente inconvenientes en movilidad y contaminación al medio ambiente que afecte la calidad de vida de sus habitantes.

Gráfica 3. Historial del crecimiento de la población (en miles) del VSN desde 1995 – 2017 (Estudio poblacional DANE, 2015).



El municipio de San Vicente Ferrer tiene un comportamiento descendente debido a la migración de los pobladores a otros municipios en busca de trabajo y otras oportunidades. Las actividades del municipio son la ganadería y agricultura. Una de las causas a la emigración de la población de este municipio se debe al conflicto armado que asediaba a zona en los años 80 y 90.

Hace unos cuatro años, se viene dando en el municipio el cultivo de fresa, posicionándolo como el primer productor de esta fruta a nivel departamental, y se cultiva también frutales de clima frío como el aguacate y la uchuva, productos que se exportan al continente europeo (San Vicente Ferrer, 2018). No se tiene presencia de industria o fábricas grandes, y aún más lo afecta su ubicación con respecto a la autopista Medellín - Bogotá, que lo aleja del movimiento de esta y dificulta la conexión con los otros municipios. Mucha parte de su población rural es flotante, ya que gran parte de la zona se vende o alquila para fincas de verano y todo lo anterior afecta su crecimiento poblacional a través de los años.

### 2.3. PANORAMA GENERAL DEL TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO EN EUROPA

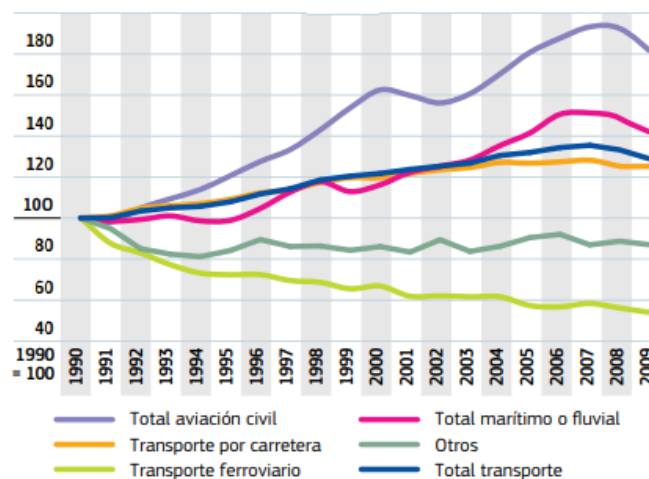
Los veintiocho países que componen la Unión Europea necesitan unas excelentes conexiones y redes de transporte para impulsar su comercio, dinamizar su economía y crear una fuente de empleo alrededor de este. La integración europea requiere de políticas comunes, por lo que el sector transporte es una de las cuatro

libertades establecidas en el Tratado de Roma en 1957 del mercado común en donde prevalece la libertad de circulación de personas, servicios y mercancías. La zona europea de transporte única se ha creado para una competencia justa de todos los diferentes medios de transporte: por carretera, ferroviario. Aéreo y marítimo o fluvial (UE Política Regional, 2011).

La red transeuropea de transporte, sus corredores clave y las secciones transfronterizas tienen un mecanismo llamado «Conectar Europa», el cual busca fortalecer, potenciar y dinamizar la economía de la UE. El sector transporte, en especial el sistema de transporte público ha progresado considerablemente a través de la historia, de forma social, económica y cultural que hasta la fecha sigue contribuyendo de forma significativa a la prosperidad y al empleo de muchos de los europeos. Este sector transporte en toda la UE ha generado más del 4,5 % de empleos, unos 10 millones de personas, este porcentaje es aproximadamente el mismo del producto interno bruto (PIB).

La UE ha contribuido crear muchas políticas en pro del medio ambiente, en lo que el transporte es protagonista. El ferrocarril es el medio de transporte menos contaminante, no supera el 1 %, el aéreo representa 13 %, el marítimo con 14 % y el que mayores emisiones de CO<sub>2</sub> produce es el transporte privado con un 71 % (Parlamento Europeo, 2018). En la siguiente gráfica se busca mostrar al lector las emisiones de gases de efecto invernadero que produce cada uno de los sectores de transporte de La Unión Europea según la comisión europea:

Gráfica 4. Emisiones de gases de efecto invernadero en la UE por sector de transporte – 2009 (Comisión Europea, 2014).



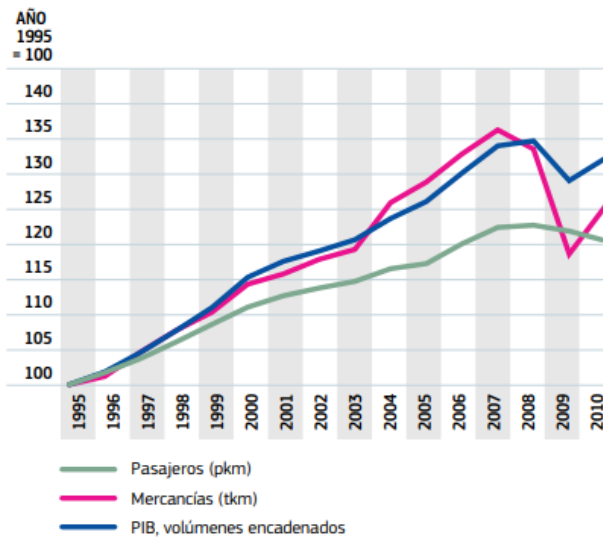
Los sistemas de transporte público eléctricos son uno de los consumos más importantes en las ciudades europeas. Con el uso de autobuses eléctricos frente a



los modelos diésel actuales, de una ciudad con aproximadamente medio millón de habitantes se ahorraría unos 10 millones de euros anuales<sup>5</sup>, implementando una flota de aproximadamente 400 autobuses eléctricos que no emitirían partículas contaminantes durante su funcionamiento y además generarían poco ruido. Aparte de los ahorros directos, las alcaldías o los ayuntamientos se ahorrarían algo más de 1 millón de euros sólo en materia de sanidad porque se reducirían las visitas a los médicos, según el estudio (Valero, 2015). La UE también realiza un gran aporte al proceso investigativo, para mantener todos los sistemas de transporte a la vanguardia de la competencia mundial, fomentando la reducción de las emisiones de carbono que produce el mismo sector transporte (Comisión Europea, 2014).

La UE ha creado ciertas legislaciones que comenzaron en los años 80, las cuales pusieron un punto de inflexión las políticas de transporte para ir hacia el mercado único europeo. La gráfica siguiente muestra el comportamiento a través de los años, del uso y crecimiento de los sistemas de transporte (Comisión Europea, 2014).

Gráfica 5. Crecimiento del transporte en La Unión Europea – 2010 (Comisión Europea, 2014).



Con un sistema de transporte abierto se han eliminado las barreras transfronterizas y ha generado integración de los mercados nacionales. Esto no busca desplazar el movimiento por carretera de mercancías, al revés, busca un

<sup>5</sup> Para realizar este análisis se han tenido en cuenta factores como el tiempo medio del viaje, las emisiones, el consumo de energía, el uso de recursos naturales, los impuestos y hasta el ruido que generan los autobuses convencionales (Valero, 2015).

mercado en conjunto, entre sistemas de transporte marítimo, ferrocarril, aéreo y por carretera, todo de manera sostenible y eficiente. Hasta la fecha se sigue invirtiendo en infraestructura para modernizar las vías y las piezas férreas, en busca de que la red sea lo más homogénea posible, que funcione con fluidez y que conecte todas las regiones y ciudades de la UE (Comisión Europea, 2014).

## 2.4. REFERENTES DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO EUROPEOS

### 2.4.1. Panorama general del STP en las ciudades referentes

Los análisis realizados para este trabajo fueron tomados de primera mano en ciudades del continente europeo para buscar una comparación con los sistemas de transporte público masivo en Colombia. En la tabla a continuación se puede observar los tipos de transporte público que tiene cada una de las ciudades referentes:

Tabla 3. Transporte público de cada ciudad de estudio en Europa (DB, 2018), (Europa, 2018), (Frankfurt Deutschland, 2013), (MVV Muenchen Deutschland, 2017) y (S-Bahn Muenchen, 2017).

CIUDAD	Bus normal	Trolebús	Tranvía	Metro	Funicular	Tren de cercanías
Ámsterdam	x		x	x		x
Budapest	x	x	x	x	x	x
Bratislava	x	x	x	x		x
Berlín	x		x	x		x
Fráncfort	x		x	x		x
Múnich	x		x	x		x
París	x		x	x	x	x
Viena	x	x	x	x		x

En la tabla anterior se puede observar que el sistema de transporte público más utilizado en las ciudades referentes es el autobús, tranvía, metro y tren de cercanías. El autobús es un sistema de transporte de mediana capacidad que puede ser más flexible en las rutas que conectan los puntos de la ciudad que no

han sido cubiertos por otros medios, así como los suburbios y áreas periféricas. El sistema de tranvía y metro, transportan un mayor volumen de pasajeros en cortos tiempos de recorrido. Los servicios de los sistemas de trenes de cercanías son los más comunes en toda Europa y unen no solo las regiones de cada país, sino también entre los países. Estas líneas posibilitan la conexión de los países de La Unión Europea y facilita el movimiento de mercancías y pasajeros, como se habló en el ítem anterior.

Las carreteras siguen siendo el principal medio para movilizar pasajeros y mercancías entre los países de la UE. El automóvil es el más utilizado, debido, en parte, a su utilización en trayectos cortos y locales y en las zonas rurales donde no existen otras opciones. Desde el 2001, después de una era de decadencia y estancamiento del sector ferroviario, estos sistemas comenzaron a aumentar su volumen de pasajeros y transporte de mercancías y estabilizaron su parte de mercado en relación con otros medios de transporte (Comisión Europea, 2014).

#### **2.4.2. Recopilación de datos: Visita a Europa**

Para el desarrollo de la investigación se realizó un viaje a algunas ciudades de Europa, con el propósito de observar de primera mano el funcionamiento de los modelos de sistema de transporte público y la interacción de este con las actividades de las ciudades, el entorno y el medio ambiente, además de la similitud con la zona de estudio en Colombia.

Los referentes para esta investigación fueron las ciudades de Budapest ( Hungría), Viena (Austria), París (Francia), Bratislava (Eslovaquia), Ámsterdam (Países Bajos) y Múnich (Alemania), Fráncfort del Meno (Alemania), Berlín (Alemania), en donde se encontró sistemas integrados<sup>6</sup> de transporte conformados por metros, varios tipos de trenes, tranvías, trolebuses y buses eléctricos e híbridos. En estas visitas se analizó la calidad del transporte público en aspectos como la duración del viaje, trasbordos, accesibilidad, información, oferta de billetes, además de las similitudes más llamativas de estas ciudades con la zona de estudio y otras ciudades de Colombia.

Los resultados muestran pequeñas diferencias entre los sistemas de transporte de las ciudades visitadas, pero se destaca los modelos de transporte alemanes, por su infraestructura, integración del transporte y flexibilidad de las vías férreas, ya que en las mismas líneas se manejan varios tipos de velocidades. A continuación, se recopila la información obtenida de cada referente:

---

<sup>6</sup> Sistemas integrados entre los trenes intermunicipales y regionales, con los tranvías y buses de las ciudades.

### **2.4.2.1. Budapest (Hungría)**

Capital de Hungría y la ciudad más poblada con 1,75 millones de habitantes, una superficie de 525 km<sup>2</sup> y una altitud de 151 m.s.n.m. (Budapest, 2018).

Budapest tiene una red de transporte público eficiente y amigable con el usuario. Esta red está compuesta por flotas de autobuses, trolebuses, tranvías y metros, los cuales tienen una frecuencia y puntualidad más que aceptable. El metro tiene cuatro líneas con frecuencia de 2 a 15 minutos y los tranvías tienen más de 40 líneas que atraviesan todo el centro de la ciudad con una frecuencia de 2 a 15 minutos, los autobuses cubren la mayor parte de la ciudad y cuentan con más de 200 líneas con una frecuencia de 10 a 20 minutos, mientras que los trolebuses<sup>7</sup> se encuentran en la periferia de la ciudad y cuentan con 15 líneas. El funicular de Budapest, que ostenta el título de ser el segundo funicular construido en Europa, une el Puente de las Cadenas con la parte superior de la ciudad, junto al Castillo de Buda, un recorrido netamente turístico de 365.76 metros. El tren de cercanías HEV<sup>8</sup>, que cuenta con 4 líneas que conectan el centro de Budapest con varios suburbios, barrios residenciales en las afueras y poblaciones próximas a la capital (Budapest, 2018).

Esta capital tiene una atracción única, sus lugares representativos e históricos que hacen de Budapest una ciudad con encanto propio. Budapest tiene una enorme historia y en ella siempre está presente su sistema de transporte público. Budapest tiene el segundo sistema de metro subterráneo más antiguo del mundo y su histórica Línea 1 que data de 1896. Su sistema de transporte público se encuentra integrado y su sistema de trolebuses pasa por muchas vías turísticas de la ciudad, la cual se encuentra arborizada en gran parte (como se evidencia en la siguiente fotografía tomada para detallar las líneas aéreas de alimentación), lo que demuestra que este tipo de sistemas puede coexistir con la naturaleza y las líneas aéreas.

Es interesante saber que, a pesar de las guerras y destrucción de las líneas férreas, la capital vuelve a reconstruirlas y no deja que este sistema tan importante y eficiente se pierda, como ocurrió en la capital de Antioquia en 1951, y siga prestando su servicio para residentes y turistas que visitan Budapest durante todas las épocas del año.

---

<sup>7</sup> Los trolebuses son una mezcla entre autobús y tranvía y operan en Budapest desde 1949. Es un medio de transporte más lento que el autobús ya que, al pasar por algunas calles estrechas, los trolebuses disminuyen la velocidad y suelen desconectarse accidentalmente (Budapest, 2018).

<sup>8</sup> Los HEV son trenes de cercanías, un medio de transporte ideal para viajar desde el centro de Budapest hacia los barrios periféricos y hasta algunas poblaciones cercanas a la capital (Budapest, 2018)



Figura 4. Fotografías del tranvía, funicular, trolebús padrón de Budapest, Hungría.

#### **2.4.2.2. Viena (Austria)**

Capital de Austria y uno de los nueve estados federados. Es la segunda ciudad más poblada de Europa Central y la décima ciudad de La Unión Europea (1,84 millones de habitantes y 2,4 millones en el área metropolitana), con una superficie de 414,87 km<sup>2</sup> y una altitud de 151 a 543 m.s.n.m. (Wien, 2013).

La red de transporte público de Viena recorre 1.150 km. Las 5 líneas del metro (U-Bahn)<sup>9</sup> tienen algunos tramos subterráneos y algunos sobre la vía con una frecuencia entre 2 a 5 minutos. Los tranvías o trenes ligeros (S-Bahn)<sup>10</sup> tienen más de 30 líneas y el sistema de autobuses cuenta con 127 líneas (Wien, 2013).

---

<sup>9</sup> El metro de Viena (U-Bahn) comenzó a construirse en el año 1969, convirtiéndose en uno de los más modernos de Europa (Wien, 2013).

<sup>10</sup> La red de tranvía de Viena está considerada una de las más extensas del mundo. Es un transporte cómodo y rápido para distancias cortas (Wien, 2013).

Además de ello esta ciudad cuenta con un novedoso sistema de transporte el cual consiste en un micro trolebús híbrido, el cual se alimenta con la misma línea aérea de alimentación de los tranvías y se desconecta, funcionando con la autonomía de las baterías cuando requiere entrar al centro histórico, volviéndose a conectar a la catenaria al salir de este o cuando lo requiera para continuar su recorrido.



Figura 5. Fotografías del micro trolebús híbrido de Viena, Austria.

Esta puede ser una buena tecnología para implementar en Bogotá, Cartagena, el centro de Medellín y otras ciudades altamente turísticas y que se encuentren en proceso de implementar tecnologías limpias, silenciosas y sostenibles.



Figura 6. Fotografías del tranvía moderno y antiguo de Viena, Austria.

Esta ciudad de Viena es muy activa económica y turística, su gran área está cubierta por los sistemas de transporte ya nombrados, que trabajan de manera integrada y pueden llevar al turista a recorrer varios puntos de la ciudad de una manera económica, segura y muy ágil. Muchas de las estaciones se encuentran en los puntos exactos de turismo, evitando las congestiones y los grandes

desplazamientos al turista. Las estaciones de donde se mueve el turismo y el área financiera son diferentes, mejorando la movilidad en la ciudad. El sistema de transporte público está muy bien adecuado para el turista, ya que muchas de las estaciones dan su nombre en inglés y las máquinas de tiquetes están en varios idiomas, lo cual facilita la compra de estos.

#### **2.4.2.3. Paris (Francia)**

Capital de Francia, su ciudad más poblada y la más poblada de La Unión Europea con 2,2 millones de habitantes, una superficie de 105,4 km<sup>2</sup> y una altitud de 28 a 130 m.s.n.m. (París, 2018).

La red integrada de transporte público de París está gestionada por RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens) y está compuesta por el metro, el autobús, la RER (ferrocarril), funicular, el tranvía y el Noctilien (autobús nocturno) (Guide, 1996). Su sistema de transporte se destaca por su eficiencia y la gran red ferroviaria que comunica a Paris con destinos como España, Italia, Reino Unido, Países Bajos, Roma, Milán, Venecia, Berna, Zúrich, Ginebra, Berlín, Múnich, Fráncfort y muchos más.

Indiscutiblemente el sistema de transporte de París ha aportado a su crecimiento y fortalecimiento económico. Su sistema de transporte ferroviario moviliza un aproximado de 1,02 millones de tráfico de pasajeros y 108,3 millones de toneladas de mercancías (Guide, 1996). El metro consta de 16 líneas que se unen con el tren RER y cuenta con 303 estaciones y 219 kilómetros de vías. Los trenes RER<sup>11</sup> tiene 5 líneas, con 256 estaciones y casi 600 km de vías.

París cuenta con 60 líneas diurnas y 40 nocturnas de autobuses con frecuencias entre 10 a 30 minutos. El tranvía tiene 9 líneas en funcionamiento y cuenta con una red de 186 paradas y más de 100 km de extensión y por último el funicular de Montmartre<sup>12</sup> que tiene una capacidad para 60 personas y puede trasladar 2000 pasajeros por hora en ambas direcciones.

París no solo es una de las ciudades más cosmopolita del mundo, también es una de las ciudades más visitada por el turismo y el sector financiero. Su población

---

<sup>11</sup> Los trenes RER de París son trenes regionales que, además de llegar a lugares cercanos, complementan la red de metro cuando circulan por el centro de la ciudad. El significado de RER es *Réseau Express Régional* (Guide, 1996).

<sup>12</sup> El Funicular de Montmartre es una especie de tranvía que comunica la parte baja del barrio de Montmartre con su parte alta, donde se encuentra la Basílica del Sagrado Corazón y la Plaza du Tertre. Es eléctrico y transporta más de 2 millones de pasajeros cada año. El trayecto dura poco más de un minuto y está totalmente automatizado, ya que los vehículos carecen de conductores (Guide, 1996).



flotante, trabajadores, artistas, estudiantes y turistas, que se movilizan todos los días por los sistemas de transporte de la ciudad de forma puntual y ágil. Al utilizar el sistema de tranvía, gracias a su ubicación, se puede apreciar en gran medida la ciudad y desplazarse fácilmente por el centro.

Los trenes de cercanías y tranvías son opciones que deben ser analizadas para implementar en el VSN, debido a que facilitan el movimiento de pasajeros y podrían interconectarse e integrar otros modos de transporte. Aunque las ciudades referentes, entre ellas París, son diferente en área y población al VSN actual, a futuro esta zona del Oriente antioqueño crecerá y deberá estar proyectada con estos medios de transporte para interconectarse con otras regiones de Colombia.



Figura 7. Fotografías del metro, bus padrón, funicular y tranvía de París, Francia (Europa, 2018).

#### **2.4.2.4. Bratislava (Eslovaquia)**

Capital de Eslovaquia y su mayor ciudad con 659.300 habitantes, una superficie de 367.584 km<sup>2</sup> y una altitud de 134 m.s.n.m. (Bratislava, 2018).

El transporte público urbano de Bratislava está formado por líneas de autobuses, trolebuses y tranvías. Los billetes del sistema integrado de transporte se cobran



por el tiempo en el que se esté en él, de 15, 30 y 60 minutos. El tren tiene dos<sup>13</sup> estaciones en Bratislava.

El modelo de sistema de transporte que tiene la ciudad de Bratislava es excelente para las ciudades medianas en la cuales se pueda utilizar los mismos corredores viales de los automóviles para el sistema de transporte público con tranvías y trolebuses, ya que ellos pueden interactuar más con la movilidad mixta<sup>14</sup> de transporte. Una de las ventajas de estos tipos de sistemas de transporte es la posibilidad de moverse en la superficie, lo cual mejora las condiciones de accesibilidad a las estaciones o paradas y su ahorro en los costos de la construcción, entre otros. Por lo tanto, este sistema de transporte se puede implementar en varias ciudades intermedias de Colombia y en muchos de los municipios del caso de estudio.



Figura 8. Fotografías del tranvía y trolebús de Bratislava, Eslovaquia.

#### **2.4.2.5. *Ámsterdam (Países Bajos)***

Capital oficial de Países Bajos y su mayor ciudad con 810.000 habitantes y 2,2 millones en el área metropolitana, una superficie de 219 km<sup>2</sup> y una altitud de - 2 m.s.n.m. (Amsterdam, 2017).

Aunque es una ciudad que se puede recorrer caminando o en bicicleta, Ámsterdam está hecha para el transporte público. Su sistema de transporte público está conformado por metro, tranvía, autobuses regionales y urbanos, autobuses eléctricos y varias lanchas colectivas y ferrys. Esta ciudad es una de las

---

<sup>13</sup> La estación principal (Hlavná Stanica) se encuentra muy cerca del casco antiguo. Sus líneas conectan a través de Košice el norte de Eslovaquia, la República Checa, Austria, Hungría y el sur de Eslovaquia. La otra estación es Bratislava-Petrzalka, que conecta Bratislava con Austria (Bratislava, 2018).

<sup>14</sup> Es la forma en la que el autor se refiere a la movilidad en la cual interactúan todo tipo de medio de transporte entre público y privado.

más turísticas y el sistema de transporte brinda servicio a cualquier parte de Países Bajos y a destinos internacionales.

Esta es la primera capital “Cero Emisiones”<sup>15</sup> de Europa, además de ello, las autoridades gubernamentales apoyan la utilización de sistemas de transporte eléctrico público y privado (Llopis, 2017). Ámsterdam cuenta con 200 tranvías en 16 líneas con una frecuencia de 5 a 10 minutos y realiza un promedio de 3600 viajes/día, una red de autobuses con más de 200 vehículos, 43 líneas con 4.050 viajes/día, 12 líneas de buses nocturnos que operan de lunes a viernes con 48 viajes/día, y sábados y domingo con 182 viajes/día, y a red de metro con 4 líneas y más de 100 trenes con un promedio de 800 viajes/día.



Figura 9. Fotografías del autobús, tranvía, metro (Metro de Ámsterdam, 2018) y tren de cercanías de Ámsterdam, Países Bajos.

---

<sup>15</sup> Ámsterdam se encuentra participando de un programa llamado “Aire Limpio 2025” el cual establece una serie de medidas a implementar para lograr niveles cero de contaminación. Este programa exigiría reglamentos y restricciones para vehículos a gasolina y Diesel. Con ello se apoyarían aún más el ingreso de vehículos eléctricos a la ciudad y esta llegase a tener un aire más limpio (Eléctrica, 2016).

Ámsterdam fue una de las ciudades más sobresalientes que se visitó, ya que se pudo analizar la movilidad y los sistemas de transporte, además del poder disfrutar de un aire más limpio y un ambiente más silencioso. Los ciudadanos de Ámsterdam utilizan mucho más la bicicleta por su facilidad para atravesar las pequeñas calles que interconectan los canales. También tiene un excelente sistema de transporte masivo en su periferia que interconecta a la ciudad con otras regiones del mismo país. Se nota al estar allí la calidad del aire y el esfuerzo de este país por reducir los niveles de contaminación con sistemas de transporte más eficientes y sostenibles.

En toda la ciudad se pueden ver puntos de recarga para automóviles, motos y bicicletas eléctricas, lo cual pone a disposición de todo el público la posibilidad de conectarse en la vía. Sin duda alguna la mayoría de los modelos de movilidad y de transporte que se ha visto en otras ciudades y se plasma en esta tesis no se podrán aplicar directamente sin una adaptación a las realidades de las ciudades de Colombia, dado que estas presentan diferencias sustanciales con respecto a las ciudades europeas.

#### **2.4.2.6. Alemania**

Alemania es un país caracterizado por su sistema eficiente y exitoso de economía, además de su alta calidad y puntualidad, esto debido en gran parte a una red de sistemas de transporte público interconectado con todo el país y con los países vecinos que trabaja de forma eficiente, ágil y sostenible. A continuación, se hace una breve reseña de las tres ciudades referentes de Alemania para esta investigación:

##### **2.4.2.6.1. Berlín:**

Capital de Alemania y la ciudad más poblada del país con 3,5 millones de habitantes, una superficie de 891,68 km<sup>2</sup> y una altitud de 34 m.s.n.m. (Berlin Deutschland, 2000).

Berlín es una de las ciudades de Alemania más llamativas y fáciles de visitar, ya que cuenta con una de las mejores infraestructuras de transporte del mundo. Una de las principales ventajas de la ciudad es su sistema de transporte moderno excepcionalmente amplio y de última generación (S-Bahn Berlin, 2018). Con dos aeropuertos, diez rutas ferroviarias principales y un sistema de transporte público completo, Berlín es un centro de tráfico ideal. El transporte público de Berlín se caracteriza por ser rápido y cómodo. El sistema de transporte público ha crecido a lo largo de varias décadas y consiste en trenes urbanos (S-Bahn) y metro (U-Bahn), autobuses y tranvías. El servicio de transporte público se presta con un sistema de boletos integrados, el cual es válido para todos los medios de transporte (S-Bahn Berlin, 2018).

Berlín y Múnich, como Bogotá y Medellín son capitales financieras, turísticas y culturales en la cuales se tiene una mezcla de población y naturaleza, por lo cual los medios de transporte deben ser sostenibles con el medio ambiente y prestar servicios de alta calidad para la demanda del día a día. Estos modelos alemanes de transporte se pueden estudiar para la implementación en Colombia, ya que muchas de las ciudades de este país están en proceso de crecimiento y a pocos años del desarrollo máximo del territorio. Berlín es tan diverso como las personas que viven allí, algo similar a Medellín.

#### **2.4.2.6.2. Múnich:**

Es la capital del estado federado de Baviera y después de Berlín y Hamburgo, la tercera ciudad más grande de Alemania por número de habitantes, con 1,4 millones, una superficie de 310,74 km<sup>2</sup> y una altitud de 519 m.s.n.m. (Muenchen , 2001).

Esta ciudad tiene una actividad muy acelerada e importante tanto del estado de Baviera como de Alemania. La ciudad y sus alrededores constituyen una de las regiones con mayor concentración de riqueza en Alemania (Muenchen , 2001).

El estado de Baviera en donde se encuentra Múnich tiene una similitud con Antioquia en cuanto a la constitución física y geográfica. Múnich se interconecta con todas las ciudades y pueblos a su periferia con redes ferroviarias en las cuales hace movimiento activo de pasajeros y mercancías, reduciendo costos y tiempos en envíos. Es esta la zona que se quiere tener como mayor referente para analizar su modelo de transporte y su viabilidad de implementación en el Valle de San Nicolás.

#### **2.4.2.6.3. Fráncfort del Meno:**

Capital del estado de Hesse con una población de 732,688 de habitantes y la quinta ciudad más grande de Alemania con una superficie de 248,31 km<sup>2</sup> y una altitud de 3 m.s.n.m. (Frankfurt Deutschland, 2013).

Esta es una de las ciudades más importantes financieramente. Fráncfort presenta un montón de superlativos: la red bancaria más densa de Alemania, la cuarta mayor bolsa del mundo y un sector comercial que es el motor indiscutible de la economía urbana (Frankfurt, 2017). Debido a su ubicación céntrica, Fráncfort es un nudo de transporte muy relevante en Europa. Dan cuenta de ello las instalaciones del aeropuerto de Fráncfort, la estación central de Fráncfort del Meno y el nodo de autopistas más denso del mundo (Frankfurt am Main, 2010).

### **Transporte público de Alemania**

El transporte público de Alemania cuenta con amplios horarios de todos los modos de transporte en los que se encuentran los trenes (*Zug*), metros (*U-Bahn*), tren

metropolitano (*S-Bahn*), tranvías (*Strassenbahn*) y los autobuses (*Bus*). Pero además de eso tienen los trenes de alta velocidad InterCity (IC) e InterCity Express (ICE). El ICE (tren de alta velocidad) llega a alcanzar velocidades de hasta 300 km/h (Alemania, 2018).

El sistema de transporte público en Alemania moviliza 30 millones de pasajeros diarios, y sus cifras van en aumento. Entre 2004 y 2013, el número total de pasajeros incrementó un 9,6%; actualmente hay 10,9 mil millones de usuarios anuales del transporte público, casi 1.000 millones más al año (Mobility, 2016). Esta cifra es aún más notable cuando se considera que la población de Alemania se redujo de 82,5 millones a 81,1 durante este periodo. Las redes integradas de trenes interurbanos y de cercanías, así como los tranvías y los buses, constituyen los pilares de movilidad de las ciudades alemanas (Mobility, 2016). Un sistema bien consolidado de instituciones, normas y financiación brindan la estructura para uno de los mejores sistemas de transporte público del mundo (Mobility, 2016).

**Metro (U-Bahn):** U-Bahn es la red ferroviaria subterránea de transporte metropolitano en Alemania. Sus características varían dependiendo de la ciudad; a continuación, se presenta una tabla donde se observan algunas de ellas en tres ciudades referente:

Tabla 4. Características técnicas de los U-Bahn en Berlín, Múnich y Fráncfort del Meno (Berlin Deutschland, 2000), (MVV Muenchen Deutschland, 2017) y (Urban rail, 2017).

<b>Ciudades</b>	<b>Berlín</b>	<b>Múnich</b>	<b>Fráncfort del Meno</b>
<b>Longitud (km)</b>	146,3	103,1	65
<b>Estaciones</b>	173	96	86
<b>Frecuencias (min)</b>	5-15	5-15	5-15
<b>Líneas</b>	10	8	9
<b>Ancho de vía (mm)</b>	1435	1435	1435
<b>Alimentación (Vcd)</b>	750	750	750
<b>Velocidad media(km/h)</b>	20-40	20-40	20-40
<b>Pasajeros (diarios)</b>	1.300.000	1.100.000	321.000



Figura 10. Fotografía del U-Bahn de Berlín, Alemania (Alemania, 2018).

**Tren de cercanías (S-Bahn):** Es un tren de cercanías o suburbano de corta distancia (menos de 100 km entre estaciones) que prestan el servicio entre el centro y las afueras de las ciudades (S-Bahn Berlin, 2018). Puede movilizar pasajeros por vagón de 140 a 280 usuarios, además de ello tiene una velocidad de 70 a 110 kilómetros por hora (Palma, 2004).

También tiene una característica bien importante, pueden tener una capacidad de aproximadamente 15.000 a 40.000 pasajeros por hora – sentido. Sus estaciones están separadas aproximadamente de 500 a 2.000 metros, su coste total de km de infraestructura es de aproximadamente 24 a 60 millones de euros (Palma, 2004). Adicionalmente los trenes de cercanías cuentan con las siguientes características:

- El S-Bahn en el centro de la ciudad circula en intervalos de 5 minutos, mientras que a las afueras presta un servicio usualmente cada 10 ó 20 minutos, con estaciones de trasbordo que ofrecen mayor frecuencia.
- Tiene una sección subterránea bajo el centro de la ciudad, núcleo donde converge la mayoría de las líneas.
- Presta un servicio de conectividad admirable, por lo que con un solo tiquete se puede transportar a varios lugares de la ciudad utilizando otro sistema de transporte (U-Bahn, tranvía o autobuses).



Tabla 5. Características técnicas de los S-Bahn en Berlín, Múnich y Fráncfort del Meno (S-Bahn Berlin, 2018), (S-Bahn Muenchen, 2017) y (Urban rail, 2017).

Ciudades	Berlín	Múnich	Fráncfort del Meno
Longitud (km)	338	434	303
Estaciones	166	150	108
Líneas	15	8	9
Ancho de vía (mm)	1435	1435	1435
Alimentación (Vcd)	750	750	750
Velocidad Med(km/h)	39	39	39
Pasajeros (diarios)	1.100.000	800.000	400.000



Figura 11. Fotografía del tren regional (Regional Express, RE de Alemania

**Tranvía (Strassenbahn):** El tranvía transita en centros urbanos e interurbanos a velocidades que no sobrepasan los 80 km/h. Pueden transportar un promedio de 110 a 310 pasajeros, además de tener una capacidad de usuario por hora y sentido de 4.000 a 20.000, con una separación entre las estaciones de 300 a 1.500 metros y un coste total de km en infraestructura (millones de euros) entre 9 a 15 millones de euros.

Tabla 6. Características técnicas de los tranvías en Berlín, Múnich y Fráncfort del Meno (Stadtplan Berlin 360, 2017), (Strassenbahn Muenchen, 2017).

Ciudades	Berlín	Múnich	Fráncfort del Meno
Longitud (km)	193.6	150	63.55
Estaciones	404	165	127
Líneas	22	13	9
Ancho de vía (mm)	1435	1435	1435
Alimentación (Vcd)	600	750	600
Velocidad Med(km/h)	20	20	20
Pasajeros (diarios)	480.000	284.000	140.000



Figura 12. Fotografía del tranvía, Berlín, Alemania.

**InterCity Express (IC, ICE):** Trenes de alta velocidad (hasta 300 km/h), de trayectos tanto largos como cortos por todo el país y países vecinos. Este tipo de sistema se logró acomodar a las líneas actuales de trenes, en la actualidad se tienen 259 trenes con una velocidad de 280 km/h y una capacidad de 645 pasajeros. Su ancho de vía es 1.435 mm lo cual se acopla a todos los anchos de vías de los trenes de cercanías y trenes regionales. Esto último es una ventaja ya que se puede utilizar dichas vías para varios tipos de sistemas ferroviarios.





Figura 13. Fotografías del ICE, Alemania (DB, 2018).

### 2.4.3. Comparaciones y ejemplos de sistemas de transporte en Europa con el VSN

En este ítem se quiere mostrar algunas de las similitudes que se presentan entre algunas ciudades colombianas y europeas con el sistema de transporte público. Además, mostrar al lector el análisis de las diferentes características de operación, manejo y tipos de tecnologías de los sistemas de transporte público europeo, y con ello realizar un referenciamiento de la operación de los modelos con Colombia.

#### 2.4.3.1. Ejemplo 1: Paso por centros educativos



Figura 14. Fotografía del tranvía de Ámsterdam, Países Bajos.



Figura 15. Fotografía de la Universidad de Antioquia, sección oriente, Antioquia, Colombia (Mi oriente, 2016).



Figura 16. Fotografía de la vía La Ceja – Rionegro, que pasa por la Universidad de Antioquia, sección oriente, Antioquia, Colombia.

La fotografía de la izquierda fue tomada en la ciudad de Ámsterdam, en la cual se observa el tranvía pasando al frente de una institución educativa, y como ejemplo se muestra la segunda (derecha) y tercera fotografía (baja central), de la Universidad de Antioquia, seccional Oriente (Mi Oriente, 2016). En ellas se puede observar la vía de La Ceja – Rionegro, la cual no presenta mucha curvatura y su área puede ser objeto de estudios para implementar métodos de transporte tipo tranviarios para el movimiento de estudiantes y fomentar la zona para la construcción de más instituciones educativas. Hacer partícipe de un entorno que facilite el trasporte de estudiantes desde el centro de los municipios hasta las instituciones educativas que se encuentran alejadas del casco urbano del Oriente.

#### **2.4.3.2. Ejemplo 2: Paso por franjas verdes y vía segregada**



Figura 17. Fotografía del tranvía de Fráncfort del Meno, Alemania.



Figura 18. Fotografía de la vía El Tranvía del municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia.

En estas fotografías se observa el tranvía de la ciudad de Fráncfort del Meno (izquierda) y la vía de El tranvía (derecha) en el municipio de Rionegro, a la altura

de la transversal 49. Sobre esta vía se realiza una de las propuestas que se discutirán en el capítulo 3 (troncal 3: Eje Vial Estructurante Número 3: Autopista Medellín – Bogotá (Municipios de Rionegro - Marinilla). En ambas fotografías se observa una franja verde de más de 4 m, la cual es utilizada para la movilización del tranvía por vía segregada, y que se podría utilizar en Rionegro con la franja central que pasa por medio de las vías hacia el centro de Marinilla o Rionegro, dependiendo del sentido.

### 2.4.3.3. Ejemplo 3: Paso por puentes y vías compartidas



Figura 19. Fotografía de las líneas de alimentación aérea del trolebús pasando bajo un puente de Pilsen, República Checa.



Figura 20. Fotografía de las líneas de alimentación aérea del tranvía pasando bajo un puente de Núremberg, Alemania.



Figura 21. Fotografía de la vía Marinilla – El Santuario, que pasa bajo un puente peatonal de Antioquia, Colombia.

En estas fotografías se quiere mostrar cómo pueden pasar las líneas eléctricas bajo un puente para alimentar tanto un sistema tranviario como un trolebús en una



vía compartida con el tráfico vehicular, dicho puente (en ambas fotografías) es por donde pasan las líneas férreas del tren de cada ciudad. La fotografía de la izquierda superior muestra la red de un sistema de trolebuses de la ciudad de Pilsen en República Checa y la fotografía de la derecha superior muestra el tranvía de la ciudad de Núremberg en Alemania (aunque no son ciudades referentes oficiales de la tesis, fueron lugares que se visitaron en Europa).

En estas fotografías se detalla que no hay impedimento para pasar las líneas de alimentación sobre una vía mixta bajo un puente. Así pues, se muestra la fotografía central baja, en la que se observa la vía sobre la autopista Medellín – Bogotá en jurisdicción del Municipio de Marinilla que conduce hacia El Santuario, ruta propuesta en el capítulo 3 (troncal 4: Eje Vial Estructurante Número 4: Autopista Medellín – Bogotá (Municipio de Marinilla – vía al municipio de El Santuario)).

#### **2.4.3.4. Ejemplo 4: Paso por vías con arborización lateral**



Figura 22. Fotografía del tranvía pasando por una zona arborizada de Kassel, Alemania.



Figura 23. Fotografía de las líneas aéreas de alimentación del trolebús pasando por medio de una zona arborizada de Pilsen, República Checa.



Figura 24. Fotografía de la vía que conduce al aeropuerto internacional JMC en jurisdicción del municipio de Guarne pasando por medio de una zona arborizada de Antioquia, Colombia.

Se puede apreciar en la Figura 22 un sistema de tranvía que convive con la naturaleza y la arborización sobre su costado, en la ciudad de Kassel, Alemania y en la Figura 23 una red aérea que alimenta el sistema de transporte de trolebuses que pasa por medio de la vía con arborización en ambos costados en la ciudad de Pilsen, República Checa (Aunque no son ciudades referentes principales, se visitaron en Europa). En la Figura 24, se observa la vía que conduce al aeropuerto internacional JMC en jurisdicción del municipio de Guarne, troncal ejemplo del capítulo 3 (troncal 6: Eje Vial Estructurante Número 6: Autopista Medellín – Bogotá (Municipios de Guarne – Rionegro, Aeropuerto Internacional JMC)). El sistema que se propone en el capítulo 3, podría interactuar con la naturaleza y los árboles que se encuentran al costado de la vía sin ningún problema.

#### **2.4.3.5. Ejemplo 5: Paso por vías compartidas frente a plazoletas centrales**

La Figura 25 muestra el sistema de tranvía de la ciudad de Ámsterdam, el cual comparte la vía con otros vehículos y pasa por el frente de una iglesia; en Europa como en Colombia los cascos urbanos se han desarrollado alrededor de los templos religiosos. Es por lo que se compara con las iglesias del barrio San Antonio de Pereira (Figura 26) en el municipio de Rionegro y la iglesia en el parque principal del Municipio de La Ceja (Figura 27). Este último se caracteriza por tener vías muy rectas y con pocas pendientes, en la cual un sistema tranviario a futuro podría ser el eje estructurado de la ciudad y facilitar la movilidad limpia del municipio. Estas vías se pueden compartir con otros vehículos, aprovechando la actual calzada, lo que no impide el movimiento de otros medios de transporte.



Figura 25. Fotografía del tranvía pasando por vía compartida frente a plazoletas centrales de Ámsterdam, Países Bajos.



Figura 26. Fotografía de la vía que pasa por la plazoleta central de San Antonio de Pereira, Antioquia, Colombia.



Figura 27. Fotografía de la vía que pasa por la plazoleta central del municipio de La Ceja, Antioquia, Colombia.



#### 2.4.3.6. Ejemplo 6: Sistema de buses padrones y articulados



Figura 28. Fotografía del bus articulado en la parada integrada del S-Bahn y U-Bahn de Núremberg, Alemania.



Figura 29. Fotografía del trolebús articulado en la vía de Bratislava, Eslovaquia.



Figura 30. Fotografía del bus padrón de Múnich, Alemania.



Figura 31. Fotografía del bus articulado en la vía de Múnich, Alemania.

En estas fotografías se puede observar los diferentes buses de servicio público de las ciudades en Europa. La fotografía de la izquierda superior fue tomada en la ciudad de Núremberg (Alemania), la derecha superior muestra el sistema de trolebuses de la ciudad de Bratislava (Eslovaquia) y la parte baja muestra el sistema de buses normales de la ciudad de Múnich (Alemania) con buses articulados y normales. Todos estos son buses con tecnologías y capacidades diferentes, funcionan de manera organizada, puntal y segura en cada una de las ciudades. Los sistemas de transporte público de buses son una de las mejores alternativas en las ciudades de Colombia y municipios que conforman el VSN.

Pero dichos sistemas deban ser unificados e introducidos en un modo de servicio puntal, con paradas fijas y horarios fijos, apoyados por sistemas tecnológicos de información al usuario (con aplicaciones móviles). Muchos de estos buses llegan a la estación principal de ferrocarriles y se integran con otros medios de transporte.

#### 2.4.3.7. Ejemplo 7: Paisajes similares



Figura 32. Fotografía del paisaje del Valle de San Nicolás a la altura de la represa La Fe, Antioquia, Colombia (Desarrollo del VSN, 2012).



Figura 33. Fotografía del paisaje de Austria y la vía del tren regional que une a la capital, Viena, con otras ciudades cercanas (Austria, 2004).

En las fotografías anteriores se puede observar dos diferentes paisajes, pero similares entre sí. La foto superior es de una zona del Valle de San Nicolás en la que se puede observar parte de la represa de La Fe (Desarrollo del VSN, 2012) y la foto de abajo es de los paisajes de Austria, vía que une a la capital, Viena, con otras ciudades cercanas (Austria, 2004). Este ítem pretende mostrar al lector que los paisajes son similares y que se puede visualizar un futuro con sistemas de ferrocarriles en la zona, que no afectan el paisaje y crean un buen vínculo con la naturaleza existente.



### 3. CASO DE ESTUDIO: VALLE DE SAN NICOLÁS

#### 3.1. UBICACIÓN

La subregión Valle de San Nicolás, de Rionegro o también llamado del Altiplano, se encuentra localizado en la cordillera central de los Andes, al Oriente del departamento de Antioquia. Está conformado por 9 municipios: El Carmen de Viboral, El Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro y San Vicente (Cornare, 2017).

Limita por el norte con los municipios de Copacabana, Barbosa, Girardota y Concepción; por el occidente con Medellín, Caldas y Envigado, jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Por el sur con Santa Bárbara, Montebello, Abejorral y Sonsón; y por el occidente con los municipios de Cocorná, Granada y el Peñol. Cuenta con una extensión de 176.000 hectáreas distribuidas en 31.400 habitantes en zona urbana y 145.200 habitantes en zona rural (Cornare, 2017).

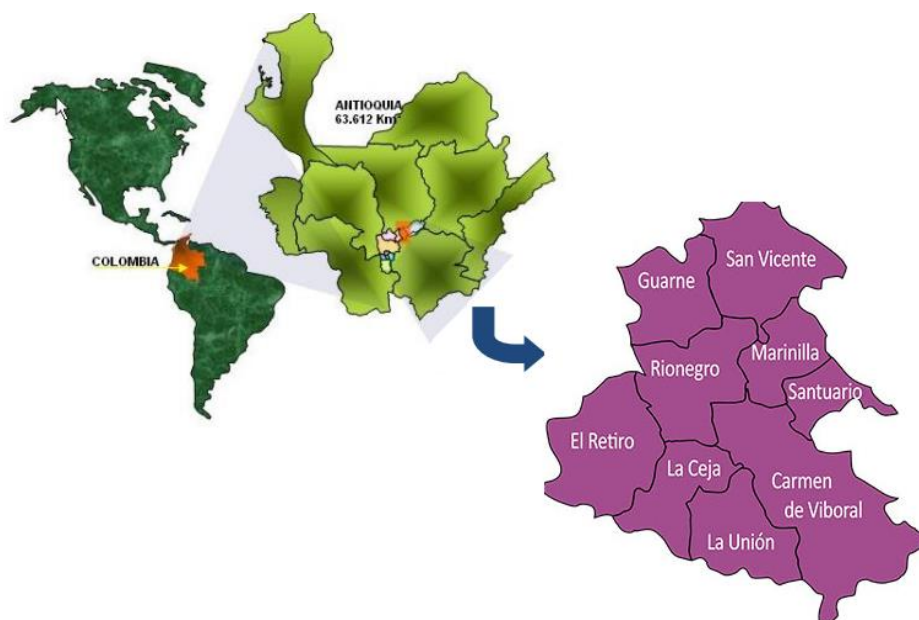


Figura 34. Esquema de los mapas de Colombia, Antioquia, Valle de Aburrá y Valle de San Nicolás (Serna, 2011).

La población de la subregión está distribuida en un 72,1 % en el área urbana y 60.,3 % en la rural. Los municipios de La Ceja, Marinilla, El Carmen de Viboral, Guarne y Rionegro concentran la mayor población con un 46,6 %, en donde Rionegro es el que mayor población con un 17,1 %. Sus altitudes varían entre los

1.900 y los 2.600 m.s.n.m. y su temperatura oscila entre 5 y 18 °C (Cornare, 2017).

Su carácter estratégico también se relaciona con la ubicación de infraestructura de transporte que permite la comunicación de la capital del departamento con las demás ciudades del país y del mundo, gracias a una amplia red vial y al aeropuerto internacional JMC; por la relocalización de la industria proveniente de Medellín y sus municipios vecinos; y por la posibilidad de contar con suelo adecuado y disponible para la construcción de viviendas, en especial condominios y parcelaciones campestres utilizados como segunda o primera residencia, ante la escasez de suelo urbanizable en el Valle de Aburrá.

### **3.2. JUSTIFICACIÓN**

Basta solamente con hablar de la cantidad de personas que congrega cada día el aeropuerto José María Córdova, que tiene una circulación de aproximadamente 18.000 pasajeros, más las 5.500 personas que constituyen la comunidad aeroportuaria, entre empleados de aerolíneas, mecánicos y pilotos, entre otros, más el asentamiento de grandes empresas, la zona franca<sup>16</sup>, la conectividad vial con el centro y occidente del país, la gran riqueza histórica, la buena infraestructura hospitalaria y la creciente afluencia de capitales y empresas, para considerar al VSN un excelente referente para analizar la viabilidad de implementar un sistema de transporte rápido y eficiente, que fortalezca la economía y la actividad comercial.

Rionegro se identifica como la próxima “gran ciudad del Oriente”, con varios núcleos poblacionales importantes. Mientras que los municipios de Marinilla, La Ceja y el Carmen de Viboral, conformarían un área metropolitana ocupada por el 25 % de la población de la Subregión y las mayores densidades de ocupación (Bermeo, 2006).

La economía de la subregión está descrita por el movimiento del comercio mixto y la agricultura. Debido a la ubicación de la subregión las actividades agrícolas no pueden ser de baja productividad dada la alta valorización de la tierra en estos predios, por lo que los cultivos de flores para la exportación y la ganadería de leche están estratégicamente ubicadas, próximas al área metropolitana y al aeropuerto internacional. En segundo lugar, la economía campesina con niveles tecnológicos diversos está ubicada en los municipios de La Unión, El Carmen de

---

La Zona Franca de Rionegro se encuentra ubicada en el departamento de Antioquia a 30 km de la ciudad de Medellín; a un costado de la pista del aeropuerto internacional José María Córdova que atiende la capital del departamento (Aeropuerto Rionegro, 2018).

Viboral, El Santuario, Marinilla, San Vicente, con productos tales como hortalizas, papa, tomate, fríjol y maíz (Bermeo, 2006). Todas estas mercancías son distribuidas de forma terrestre, congestionando las vías que en su mayoría no superan un solo carril y afectando la movilidad.

### 3.3. ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE MOVILIDAD

En la figura siguiente se muestra un diagrama de bloques que describe el método propuesto del análisis teórico de las posibles tecnologías en transporte masivo basadas en los referentes europeos del capítulo 2.

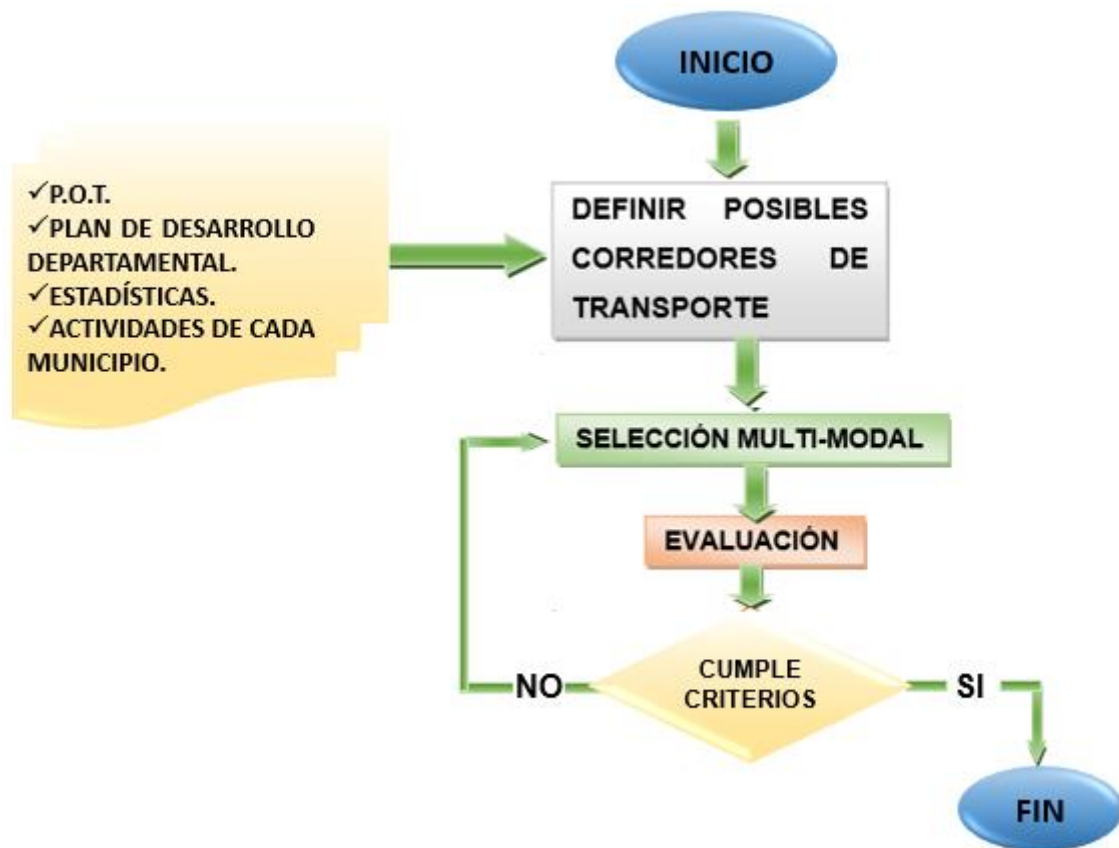


Figura 35. Método propuesto para el análisis del sistema de transporte a implementar en el valle de San Nicolás, Antioquia.

Esta primera etapa da inicio al análisis con la entrada de los estudios en movilidad y transporte de los:

- ❖ Planes de sistemas férreos en Antioquia y el Valle de San Nicolás
- ❖ Planes de desarrollo municipal en el VSN y departamental

Estos planes de ordenamiento y desarrollo territorial, las actividades socioeconómicas de los municipios y las estadísticas de crecimiento son la fuente para poder entender qué planes tienen las administraciones en el sector transporte y que tipos de proyectos de transporte masivo se tienen proyectados a mediano y largo plazo en la subregión. Con esta información se procede con la siguiente etapa:

- ❖ Análisis de posibles corredores viales para el transporte público masivo en el VSN.

En esta etapa se proponen unas rutas de corredores viales entre los municipios con características más favorables para la implantación de sistemas masivos de transporte. En este punto se realiza un análisis más detallado del eje vial propuesto, en el que la:

- Ubicación
- Descripción
- Análisis
- Propuesta
- Evaluación

Todo ello crea una ventana a la posibilidad de implementarlos e incluir estas rutas en los Planes de Ordenamiento Territorial como un instrumento de planificación de las ciudades alrededor de un sistema de transporte masivo; antes de que éstos se desarrollen por completo. Con él se regula la utilización, ocupación y transformación del espacio físico urbano y rural. La oportunidad de crear rutas con modelos de sistemas de transporte masivo que unan la subregión con otras regiones del país, lo que representaría un paso para el desarrollo de las ciudades, creando fortalecimiento cultural y económico, además de la posibilidad de impulsar la industria actual y la que se pueda desarrollar alrededor de este modo de transporte.

Continuando con las etapas del método de análisis, se procede a evaluar los medios de transporte que fueron propuestos en la etapa anterior y cuáles de ellos al ser implementados crean beneficios. Estos describen algunas de las ventajas que podría ofrecer estos medios de transporte a la subregión del altiplano antioqueño y al departamento. La implementación de estos medios de transporte público masivo pueden:

- Potencializar varias áreas de la industria.
- Impulsar la industria metal – mecánica.

- Creación de nuevas carreras profesionales.
- Creación de nuevas fuentes de empleo.
- Reducción en la contaminación ambiental.
- Impulsar la economía de la subregión.
- Integrar e interconectar la subregión con el resto del país.

Estas ventajas descritas son basadas en las experiencias de la UE y de los países referentes que se nombran en esta tesis. Estos beneficios son los que han fortalecido la economía de Europa y es importante al evaluar las etapas anteriores que estos criterios se puedan cumplir y puedan crear beneficios a la subregión, de lo contrario se debe realizar nuevamente el análisis y proponer otro medio de transporte público masivo

### 3.3.1. Planes de desarrollo municipal en el Valle de San Nicolás

Se presenta en este ítem la vigilancia a los planes de desarrollo territorial de los nueve municipios que conforman el Valle de San Nicolás y se muestra un poco de cada uno. A continuación, se muestra algunas de las acciones denotadas por el PROURE y el MME, para el punto de partida investigativo de los planes de desarrollo:

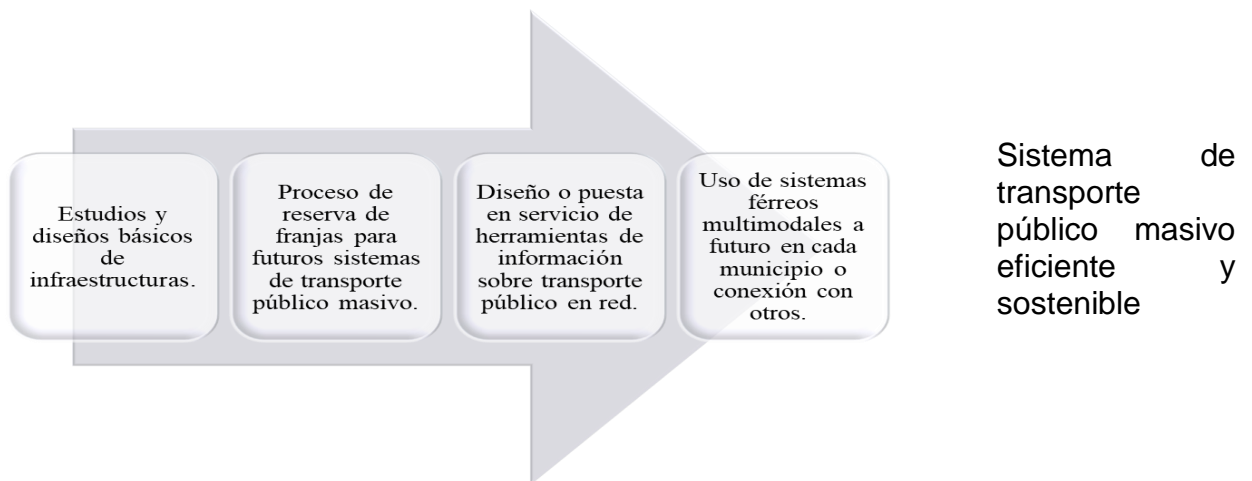


Figura 36. Acciones denotadas por el PROURE y el MME para un STP masivo eficiente y sostenible (MME-UPME, 2017).

**Rionegro:** El Plan de Desarrollo 2016-2019 “Rionegro, tarea de todos”, habla de los proyectos y planificaciones para solucionar los inconvenientes de movilidad que presenta el municipio, tanto en la parte rural como en la urbana. Muchos de estos proyectos se concentran en la infraestructura vial que en el cambio o mejora

de los sistemas actuales de transporte (Cardona, 2016). Aunque el plan de desarrollo como tal no hable acerca de otros proyectos o soluciones viales, el alcalde Andrés Julián Rendón junto al Gerente del Sistema Operativo de Movilidad Oriente Sostenible (Somos), David Quintero, hablan en otros medios acerca del proyecto de transporte público masivo del municipio, el cual se encuentra en estudios de viabilidad para implementar un modelo de tren ligero impulsado vía neumática con motores de viento, por medio de la activación de turbinas (Mi Oriente, 2017), el cual circulará por gran parte del municipio (aún se encuentra en estudios el recorrido final). Se habla de los estudios en los que se descartó el metro, por su alto costo y los sistemas BRTs por contaminantes, pero no se muestran dichos estudios o se contemplan en el plan de desarrollo.

**La Ceja:** El Plan de Desarrollo 2016-2019, “¡porque en La Ceja podemos vivir mejor!”, propone realizar acciones para mitigar los problemas que presenta el municipio en varias áreas, entre ellas el sistema de transporte público, ya que muchos de los habitantes estudian o trabajan en los municipios aledaños (Ospina E., 2016). Plan de movilidad y transporte del municipio no contempla proyectos que interconecten el casco urbano con otros municipios por medio de otras tecnologías y métodos de transporte, tanto de mercancías como de pasajeros.

**El Carmen de Viboral:** El Plan de Desarrollo 2016 – 2019, “El Carmen de Viboral, territorio de vida y paz”, se muestra consciente del crecimiento acelerado y urbanización que vive en la actualidad el municipio, además de las necesidades de contar con inversiones en infraestructuras sostenibles que permitirán al municipio ser más resistente al cambio climático e impulsar el crecimiento económico y la estabilidad social (Giraldo, 2016), pero no se habla de las acciones para el sistema de transporte actual de carga y pasajeros con los otros municipios subyacentes, que conforman el VSN.

**Marinilla:** El Plan de Desarrollo 2016 – 2019, “Marinilla somos todos”, habla acerca de los presupuestos que se tienen para el tema de movilidad y transporte, además de las adecuaciones que requiere el municipio para una movilidad más ágil y segura (Ramírez, 2016). Este plan de desarrollo no clarifica cuáles son los proyectos, ni habla de algunas de las acciones anteriores para integrar e interconectar los municipios que conforman el VSN para movimiento de carga y pasajeros, en el que se incluya a Marinilla.

**Guarne:** El Plan de Desarrollo 2016 – 2019, “tus ideas nos inspiran, construcción colectiva de futuro”, muestra al municipio con más recursos económicos de la subregión, pero con menos oportunidades de transformación, que avanza sin articulaciones con los otros municipios del Valle de Aburrá (VA) y los municipios del Oriente antioqueño. Aunque el municipio tiene una gran presencia en el movimiento de mercancías a Bogotá, la zona franca y el aeropuerto internacional JMC, este presenta problemas y no es eficiente (Marín, 2016). A pesar de todo ello, no se tienen planes de movilidad y transporte masivo intermodal que lo

interconecten con los otros municipios del VSN y del VA, ni mucho menos como abarcar las acciones ya mostradas de un STP eficiente y sostenible

**San Vicente Ferrer:** El Plan de Desarrollo 2016 – 2019, “juntos sí podemos”, no habla mucho acerca de los planes de movilidad y transporte del municipio o entre los otros municipios aledaños, todo esto dado a que el municipio se encuentra más enfocado en fomentar el crecimiento poblacional y fortalecer otras áreas más importantes e influyentes para el municipio. El gobierno departamental quiere construir unas rutas viales que interconecten el municipio con los municipios de Concepción y Alejandría (Jaramillo, 2016). Su plan de desarrollo no implementa alguna de las acciones nombradas anteriormente.

**El Santuario:** El Plan de Desarrollo 2016 – 2019, “juntos hacemos el cambio”, habla acerca del panorama actual de transporte y movilidad del municipio, en el que anota que la Secretaría de Transporte y Tránsito buscará promover y posicionar los servicios en los municipios cercanos y realizar estudios de movilidad tanto en la zona urbana como en la zona rural (Ramírez L. A., 2016) pero no se habla acerca de la interconexión entre otros municipios o futuros proyectos con el VSN en temas de sistema de transporte público masivo de pasajeros y carga.

**El Retiro:** El Plan de Desarrollo 2016 – 2019, “juntos construimos un municipio mejor”, trata el tema del déficit que presenta en la estructura física de la vía actual y los proyectos para intervenir las vías sin pavimentación y con algunas afectaciones (Botero J. C., 2016). Además de ello, el municipio no cuenta con un plan de infraestructura física, lo cual afecta los posibles proyectos y desarrollos para el municipio, que se encuentra en un crecimiento acelerado por la migración de muchos pobladores del Valle de Aburrá en busca de una mejor calidad de vida y mayor tranquilidad.

El municipio no cuenta con los estudios ni diagnósticos actualizados para los temas de movilidad o de proyecciones a futuro en implementación de otro tipo de transporte público. La situación actual impide la toma de decisiones y por ende la puesta en marcha de acciones para mitigar o solucionar las problemáticas de movilidad y transporte (Botero J. C., 2016).

**La Unión:** El Plan de Desarrollo 2016 – 2019, “fuerza y corazón por la gente de La Unión” se habla acerca de todos planes que tiene el municipio para atacar las problemáticas en cuanto a movilidad y transporte y cómo mejorar la accesibilidad del transporte por medio de la articulación de estrategias de movilidad y mejoramiento de la calidad del aire, estudios, diseños y formulación de proyectos para la construcción de vías, estudio de movilidad, entre otros. La Unión presenta un potencial no sólo comercial, sino también ecoturístico y agroindustrial (Botero H., 2016). En el plan de desarrollo no se encuentra información acerca de rutas que interconecte al municipio con los otros por sistemas de transporte masivo,

aparte de los buses intermunicipales que circulan actualmente. Ninguna de sus estrategias aplica alguna de las acciones nombradas al inicio de este ítem.

Luego de la vigilancia desarrollada a cada uno de los planes de desarrollo de los municipios que conforma el Valle de San Nicolás, se observa la falta de proyectos y planeaciones que interconecten los municipios con sistemas masivos de transporte a mediano y largo plazo. El crecimiento de la mayoría de estos municipios es continuo y solicita estudios y análisis sobre como fortalecer las comunicaciones entre el VSN, el Valle de Aburrá y los otros municipios y regiones aledañas. Esta subregión puede impulsarse económicamente con buenas rutas y sistemas de transporte masivo que fomenten la movilidad de pasajeros y mercancías que se produzcan en esta zona.

### **3.3.2. Planes de desarrollo departamental y nacional en sistemas férreos**

El Plan de Desarrollo 2016 – 2019 “Antioquia Piensa En Grande”, realizado por el Gobernador Luis Pérez Gutiérrez, habla acerca del sistema férreo que alguna vez se tuvo en Antioquia y la posibilidad de volver a implementarlo. Este tipo de sistemas de transporte en el Valle de Aburrá y la conexión con otros municipios y regiones del país contribuiría a la optimización de costos por tonelada transportada y menor impacto ambiental con respecto al transporte de carga por carretera, claro está, si este sistema fuese de movimiento de pasajeros y mercancías (Pérez, 2016). El proyecto de un sistema férreo multipropósito en Antioquia se encuentra en proceso de estudios de prefactibilidad y realización de estudios de factibilidad por parte de los entes encargados del gobierno actual.

La recuperación del ferrocarril de Antioquia conectaría de la siguiente forma:

- Conexión Tebaida-Bolombolo.
- Conexión Bolombolo-Caldas.
- Conexión La Pradera-Puerto Berrío.
- Conexión a Urabá.

Existen otros proyectos que buscan la inclusión del sistema férreo de Antioquia, con el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario, el cual promueve la reactivación de 80 km de sistema férreo en Antioquia, alternativa que fue presentada por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). El estudio de factibilidad por medio de una empresa consultora que le dará el alcance definitivo al proyecto para que en un futuro se pueda realizar el proceso de licitación y proceder con la ejecución (ANI, 2017). El objetivo de este proyecto es la adecuación de un corredor para la puesta en marcha de un sistema de transporte público férreo que transporte pasajeros (en el día) y mercancías (en la noche), prestando un servicio de forma rápida y eficiente entre municipios cercanos a Medellín, como Caldas, Sabaneta,



Barbosa y Botero (ANI, 2017). Aunque en este plan no se tiene contemplado el Valle de San Nicolás, este estudio puede dar miras a otras zonas de la región y del país, para fomentar proyectos que utilicen sistemas ferroviarios.

El Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 propone un sistema férreo de transporte de mercancías en Colombia, creando trayectos claves de corredores ferroviarios para complementar la infraestructura actual, con el objetivo de lograr mayores niveles de competitividad (DNP, 2014). Además de ello, el Plan Maestro de Transporte 2015 – 2035, el horizonte de Colombia, realizado por el entonces vicepresidente de la República, Germán Vargas Lleras y el Ministerio de Transporte, el cual habla de un sistema intermodal de transporte que busca organizar de forma eficiente y estratégica el crecimiento de Colombia, a través de una red de infraestructura férrea que logre la interconexión entre las ciudades, regiones, puertos y fronteras, priorizando los proyectos con mayor impacto en la economía nacional (Gobierno de Colombia, 2015).

El Plan de desarrollo 2016 – 2019, “Medellín cuenta con vos”, también incluye el proyecto de estructuración del sistema férreo multipropósito con tren de cercanías para pasajeros y tren de carga o residuos sólidos a La Pradera. Todo ello, con mira a la realización de estudios de viabilidad técnica, legal y financiera del sistema férreo multipropósito como una obra metropolitana y de la región de Antioquia (Gutiérrez F., 2016). También, se hace referencia a el proyecto que lleva a cabo este mismo plan de desarrollo, realizado por el alcalde Federico Gutiérrez, el cual proyecta una estructura para la conexión del transporte masivo de Medellín con el Valle de San Nicolás a través del Túnel de Oriente, el cual se encuentra en estudios de prefactibilidad y selección de tecnología para realizar dicha conexión hasta el aeropuerto internacional JMC desde Medellín. Es por ello que también se pone en contexto el Plan Maestro del Metro de Medellín, el cual pretende de igual forma crear líneas férreas que unan al Valle de Aburrá con el Valle de San Nicolás con un proyecto de 1,2 billones de pesos, el cual tendría un área de influencia directa en los municipios de Marinilla, Rionegro, La Ceja y el aeropuerto internacional JMC, con un sistema específicamente férreo (Gutiérrez F., 2016).

Se nombra también un proyecto que tiene la empresa Metro de Medellín, en el cual se nombra la creación de una ruta que aproveche la vía del tranvía de Ayacucho, siguiendo por el barrio Alejandro Echavarría hacia el Oriente, tomando la ruta del túnel que se encuentra en proceso de construcción, y llegar al aeropuerto JMC. Este proyecto tendría una inversión de 980.000 millones de pesos para la infraestructura férrea del tranvía de 13 km (Revista Metro de Medellín, 2006).

Por último, se abarca más acerca del proyecto de transporte público masivo de Rionegro, el cual se ejecutará por medio de la empresa Somos (Sistema Operativo de Movilidad Oriente Sostenible) y la alcaldía de Rionegro. Este proyecto se encuentra analizando los resultados de los estudios técnico, legal y financiero del

tren liviano de altura realizado por el Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (Fonade). Este sistema será elevado y tendrá una línea de 18 km, movilizándolo aproximadamente a 25.000 pasajeros por hora/sentido. El gerente de la empresa Somos, David Quintero, asegura que este proyecto puede emigrar en un futuro a un sistema metro (Semana, 2017).

Aunque existe mucha información de los planes ambiciosos que tiene el gobierno y el municipio de Rionegro, no es claro aún cuáles son las franjas que se están cuidando, ni cómo se van a reservar. No se habla de políticas o normativas para cuidar los corredores y evitar que se utilicen los suelos para otros propósitos. Se observa un futuro con estudios de prefactibilidad y búsqueda de financiación para llevar a cabo estos proyectos, pero se perciben muchos vacíos sobre cómo enfrentar estos macroproyectos.

### **3.3.3. Análisis de posibles corredores viales para el transporte público masivo en el VSN**

Los pasos para seleccionar las posibles troncales viales en el Valle de San Nicolás son las siguientes:

- Definir los posibles corredores viales y delimitar las posibles franjas.
- Caracterizar las franjas definiendo la demanda y la oferta del servicio de transporte público en la ruta asignada.
- Determinar la competencia que enfrenta el servicio del sistema de transporte elegido en la línea.
- Proponer un medio de transporte que se adecúe a esa franja (buses padrones, buses articulados o biarticulados, trolebús, tranvía o metro de cercanías).
- Evaluar la viabilidad de la implementación del medio de transporte propuesto.

En la siguiente figura se pueden observar las rutas principales actuales que unen los nueve (9) municipios que conforman el Valle de San Nicolás.

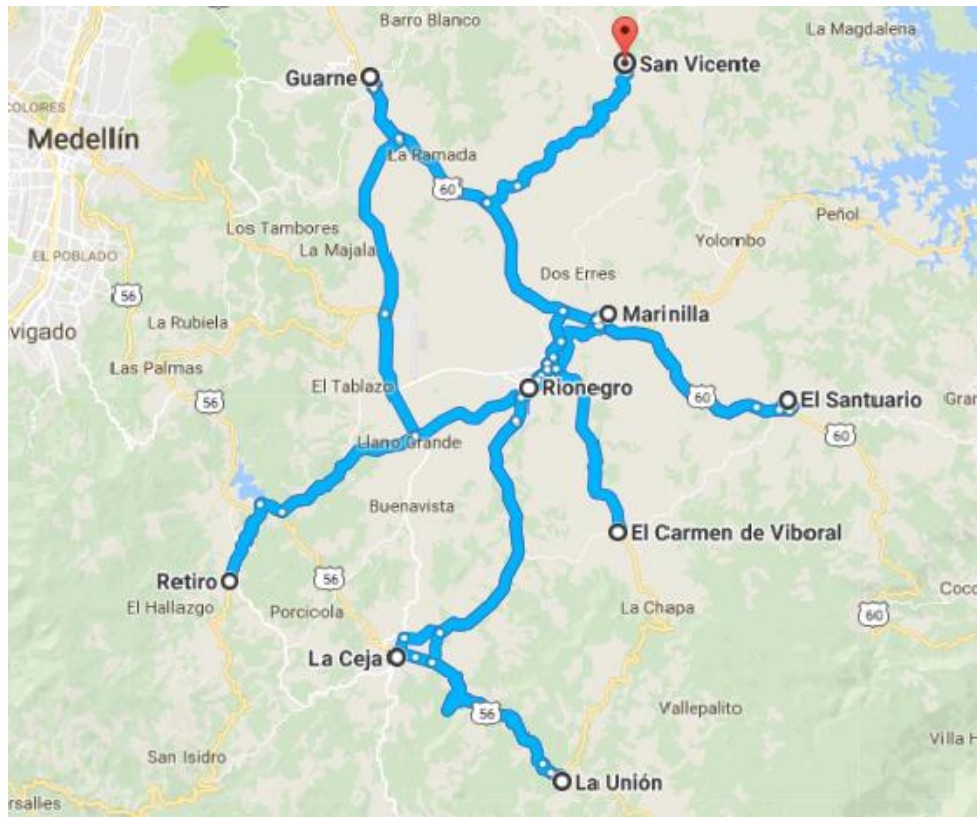


Figura 37. Troncales de estudio de los municipios que conforman el Valle de San Nicolás, Antioquia.

### 3.3.3.1. **TRONCAL 1: Eje Vial Estructurante Número 1: Autopista Medellín – Bogotá (municipios de Guarne)**

**Ubicación:** Guarne, municipio del Oriente antioqueño y el más cercano a la ciudad de Medellín, a una distancia de 24 km. Se encuentra circundado por colinas de pequeña elevación a 2.280 m.s.n.m. Limita por el norte con los municipios de Copacabana, Girardota y San Vicente Ferrer, por el este con San Vicente Ferrer, por el sur con el municipio de Rionegro y por el oeste con el municipio de Medellín (Guarne, 2017).



Figura 38. Visualización geográfica de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Guarne, Antioquia (Google Earth, 2009)<sup>17</sup>.

**Descripción:** Esta troncal la cruza la Autopista Medellín - Bogotá, que recorre en dirección transversal de occidente a suroriente, y ubica al municipio de Guarne a una distancia de 21 km de la capital departamental. Esta ruta es especialmente utilizada para movimiento activo de mercancías y pasajeros ya que tiene una vía constituida, rápida y segura. Esta troncal tiene una longitud de 22,5 km y une el Municipio de Bello y Guarne por la autopista a la altura de la carrera 53 con calle 44, con una inclinación<sup>18</sup> promedio de 6,7 % a -5,1 % como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica 6. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Guarne, Antioquia.



**Análisis:** Esta vía es utilizada diariamente por ser una de las más rápidas y seguras. Actualmente transitan por ella camiones, volquetas, buses intermunicipales, buses regionales, buses nacionales, microbuses, colectivos, taxis, vehículos privados, bicicletas y motos, siendo una de las autopistas más

<sup>17</sup> Se utilizó el programa informático Google Earth para demarcar el eje estructural propuesto.

<sup>18</sup> La rampa máxima antes de acceder a una vía pública será del seis por ciento (6 %) (Ministerio de Transporte, 2013).

activas y concurridas de la región. Pero el sistema de transporte público más común en sus vías son los buses intermunicipales, los cuales funcionan con tarifas asequibles y a una buena velocidad, con tiempos puntuales de salida y duración de recorridos que dependen del tráfico en los municipios de llegada.

**Propuesta:** El sistema actual de transporte público desde la terminal del Norte del Valle de Aburrá hasta los municipios más cercanos del VSN que transitan por esta autopista es eficiente y continuo, pero si se requiere implementar mejores métodos y modelos de servicio con tiempos de salida y llegada puntuales, con rutas demarcadas, con paradas fijas, de ser posible carriles tránsito preferenciales, ya que las vías bien compartidas y una ciudadanía educada, mejora notoriamente la rapidez de los viajes y la efectividad del sistema público de transporte.

Este sistema de autobuses puede ser con buses padrones o buses articulados para un mejor y mayor movimiento de pasajeros, de 100 a 300 pasajeros/trayecto lo que disminuiría la cantidad de viajes y la cantidad de buses en la vía, a una frecuencia de entre 5 a 10 minutos dependiendo de la demanda (hora valle u hora pico). Se propone de igual forma, crear terminales centrales para la implementación de un Sistema Integrado de Transporte Público. Creando una red de transporte articulada que promueva el fácil acceso, cobertura y calidad en toda la subregión. La idea es que los usuarios se puedan movilizar en los distintos modos de transporte (buses articulados, buses normales, busetas, colectivos y ha futuro porque no, al Metro), con una tarifa unificada que implicará menores costos a la hora de hacer trasbordos.

El buen servicio de transporte público en esta vía puede ser más atractivo para las personas del Valle de Aburrá que trabajan o estudian en el Oriente, ya que no sería necesario trasladar su lugar de residencia, debido a la buena prestación del servicio, costos razonables, horarios dinámicos y frecuencias cortas de salida y llegada. Los usuarios pueden preferir este medio público de transporte al privado, con lo que disminuiría el tráfico y la contaminación en la vía. Este sistema actual de transporte se debe mejorar para prestar un servicio ágil, seguro y eficiente por lo que se propone una mirada a los modelos europeos, los cuales implementan varios gestores de transporte para mejorar el servicio.

A continuación, se muestra una figura que representa los gestores de transporte que son factores comunes en ciudades referentes europeas y que se propone implementar en esta troncal.



Figura 39. Método para una buena prestación de servicio de buses intermunicipales.

Estas imágenes fueron tomadas en la ciudad de Núremberg (Alemania) y desde la aplicación del Deutsche Bahn (obtenida del celular personal). Esta metodología de gestión y prestación del servicio que se implementa en la mayoría de las ciudades europeas y referentes de esta tesis, muestran que con estas aplicaciones la calidad del servicio puede mejorar notoriamente con:

- Estaciones de carga y descarga de pasajeros fijas.
- Estaciones conjuntas de transbordos a otros sistemas integrados de transporte.
- Señalización por medio de plataformas tecnológicas y paneles led.
- Aplicaciones móviles con información de: rutas, transbordos, horarios, mapas y consejos para el usuario.
- Compra de tiquetes por la aplicación móvil.

**Evaluación:** Se debe hacer un estudio amplio de esta propuesta y analizar las ventajas que tendría el implementar no solo una buena flota de buses articulados para mayor movimiento de pasajeros, sino también, los gestores de transporte



para aumentar la calidad del servicio e incentivar el uso de este medio en vez del privado.

















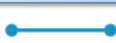

Hoja de datos de los ejes estructurantes propuestos con buses de diferentes capacidades							
EJE ESTRUCTURANTE 1	Sistema	Capacidad	Distancia		Costo		
							
	Bus normal	45 – 65 sentados. <sup>1</sup>	100 hasta 1.000 Pasajeros hora/sentido. <sup>1</sup>	Varia dependiendo de la zona.	22,5 km de longitud total recorrido	Costo capital 310,65K – 372,78K USD por vehículo.	Costo proyecto Varía dependiendo de los vehículos requeridos.
							
Bus articulado BRT	95 – 105 total.	1.900 hasta 2.100 Pasajeros hora/sentido.	500 – 1.000 metros	22,5 km de longitud total recorrido	Costo capital 3,10 – 18,63 millones USD por km. 310,65K – 372,78K USD por vehículo. <sup>1</sup>	Costo proyecto 69,75 – 416,17 millones USD. El costo total varía con respecto a los vehículos requeridos.	
							
Metrobús – bus articulado con carril compartido	60 – 70 total. <sup>1</sup>	1.200 hasta 1.400 Pasajeros hora/sentido. <sup>1</sup>	200 – 1.000 metros	22,5 km de longitud total recorrido	Costo capital 115,3K – 1,24 millones USD por km. 248,5K – 465,97K USD por vehículo. <sup>1</sup>	Costo proyecto 2,59 – 27,9 millones USD. El costo total varía con respecto a los vehículos requeridos.	

Figura 40. Hoja de datos para el eje estructurante 1, con diferentes características de buses (Planit metro, 2014).

Los buses padrones, articulados y biarticulados, alimentados por tecnologías limpias y menos contaminantes pueden movilizar un mayor número de pasajeros por hora sentido y pueden facilitar el movimiento de miles de pasajeros desde el Valle de Aburrá hasta el VSN por la autopista Medellín – Bogotá, por lo que es el sistema propuesto para el eje estructurante 1. La implementación de estos medios de transporte podría estar entre 2,59 a 27,9 millones de dólares, dependiendo de la demanda y de los buses que se quieran adquirir para transitar en este eje estructurante.

Aunque entre los datos de la Figura 40 este las características y los costos de un sistema BRT, solo se muestra para observar las diferencias entre los sistemas de transporte propuesto para este eje. Los sistemas BRT exigen carriles dedicados para su tránsito rápido y en la actualidad es difícil seccionar un carril de la autopista Medellín - Bogotá y crear otro carril es una obra costosa que no facilita su viabilización y encarece el proyecto. Pero de aplicar este tipo de sistemas de transporte en este eje estructurante, el costo estaría entre 69,75 a 416,17 millones de dólares, en donde las franjas podrían hacer la diferencia. El cuidar las franjas estratégicas para futuras obras de sistemas BRT o comprarlas (el estado o los municipios) podría disminuir el costo hasta el rango mínimo a un futuro, pero de no hacer una buena planificación y adquirir estas franjas, el proyecto puede estar en el rango máximo o superarlo, debido a que los suelos tienen a aumentar los costos

a futuro y la compra de ellos encarecería este y cualquier tipo de trayecto de sistemas de transporte público masivo.

### 3.3.3.2. **TRONCAL 2: Eje Vial Estructurante Número 2: Autopista Medellín – Bogotá (municipios de Guarne – Rionegro)**

**Ubicación:** Rionegro es la principal localidad y eje de desarrollo de dicha subregión. Limita al norte con los municipios de Guarne y San Vicente Ferrer, por el este con los municipios de Marinilla y El Carmen de Viboral, por el sur con el municipio de La Ceja, y por el oeste con los municipios de El Retiro, Envigado y Medellín. Tiene una superficie de 196 km<sup>2</sup> y una altitud de 2.080 m.s.n.m. (Rionegro, 2018).

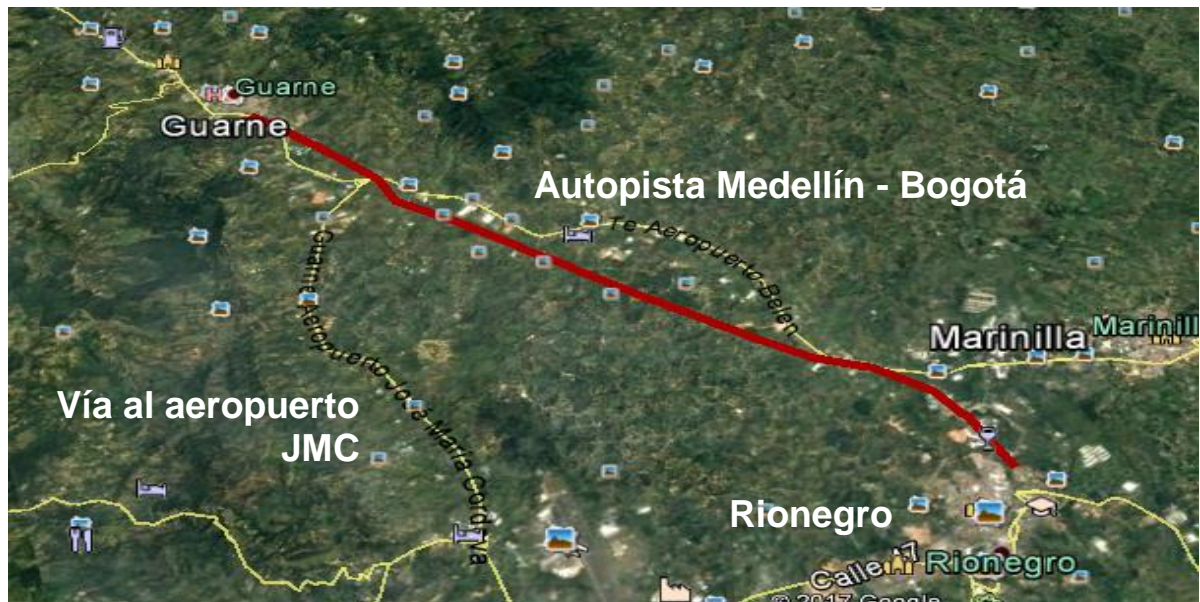


Figura 41. Visualización geográfica de la Troncal 2 desde la autopista Medellín - Bogotá en el municipio de Guarne y Rionegro, Antioquia (google earth, 2009).

**Descripción:** Esta troncal propuesta une los municipios de Guarne y Rionegro por la autopista Medellín - Bogotá y diferentes vías veredales. Esta ruta de 16,3 km aproximadamente, que va desde la autopista en la zona del municipio de Guarne y atraviesa la vía por la Vereda La Onda, pasando tangencialmente por la vía de Guarne al aeropuerto Internacional JMC, atravesando la vía Galicia, la cual va a Rionegro por el intercambio vial de Belén (carrera 47) y desembocando en la transversal 49 “vía el tranvía” del municipio. Esta ruta tiene una inclinación de 3.6 % como se muestra en la Gráfica 7.



Gráfica 7. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Guarne y Rionegro, Antioquia.



**Análisis:** En la actualidad las rutas intermunicipales del municipio de Guarne a Rionegro suplen las necesidades de transporte de personas a los diferentes lugares de destino, todo ello como lo presenta el plan de desarrollo de ambos municipios. Estas rutas tienen más cantidad de pasajeros en fines de semana por aspectos comerciales y turísticos, mientras que en semana el transporte es básicamente de pasajeros (estudiantes y trabajadores). Pero debido a que la frecuencia de algunas rutas no es buena (en algunos casos con salidas cada 20 a 40 minutos), el sistema de rutas se percibe como insatisfactorio y poco eficiente. La demanda insatisfecha en Guarne, calculada como la demanda total menos la oferta oscila entre el 10 % y 15 % de la demanda total (Calderón, 2010).

Los municipios de Rionegro, Guarne y Marinilla son centros de poder económico, político y comercial; marcando proyectos de desarrollo, obras de infraestructura e industrialización, desde los últimos 40 años, que le dan a la subregión y los municipios las características actuales, enmarcadas en un proceso de urbanización y crecimiento poblacional (Marín, 2016). Esto exige que se implementen estudios para futuros desarrollos de transportes masivos que pueda movilizar la población en crecimiento continuo.

**Propuesta:** Para esta intersección entre los municipios de Guarne y Rionegro se propone implementar un sistema de tren de cercanías o suburbano de corta distancia que prestaría un servicio multimodal, con movimiento de pasajeros y mercancías<sup>19</sup>. Este sistema estaría compuesto por una serie de vagones o coches acoplados entre sí y remolcados por una locomotora, lo cual sería beneficioso para el movimiento de mercancías, dependiendo de la capacidad de carga que se requiera mover. Puede transportar aproximadamente 140 a 280 usuarios por vagón. También tiene una característica bien importante, pueden tener una

---

<sup>19</sup> Estas mercancías se pueden enviar en las noches para no afectar el tráfico de pasajeros que se realiza en el día, de esta forma es posible implementar un sistema de transporte multipropósito multimodal.

capacidad de aproximadamente 15.000 a 40.000 pasajeros por hora – sentido. Sus estaciones estarían separadas aproximadamente de 500 a 2.000 metros. Este sistema sería similar al presentado en el capítulo 2, que muestra en detalle las características del sistema S-Bahn de Alemania.

**Evaluación:** Para poder implementar estos medios de transporte en la zona, se requiere estudios especializados para determinar con exactitud la pendiente y las exigencias del terreno, además de todos los aspectos técnicos que requiere el corredor vial. También se requiere incluir desde ahora estudios técnicos, financieros y legales para evaluar la implementación de esta propuesta. Dicha troncal se podrá convertir en un eje articulador de crecimiento ordenado de ambas municipalidades que finalmente tendrán contacto en una conurbación e industrialización de la zona. Además de ello podrá estar interconectada con otros municipios con el desarrollo de otras troncales.

Estos medios de transporte tienen la ventaja de poder transportar más personas por sentido y acoplar a la locomotora vagones para carga. un promedio entre 90 a 190 pasajeros por vagón sentados, con un promedio de 2.500 a 40.000 pasajeros hora / sentido. La infraestructura del tren de cercanía o suburbano también permite múltiples trenes acoplados, duplicando o triplicando la capacidad dependiendo de la demanda.

El análisis del costo que tendría implementar este medio de transporte ferroviario en el eje estructurante propuesto esta entre los 5 – 100 millones de dólares / milla (Planit metro, 2014), unos 3,10 a 62,13 millones de dólares / kilómetro respectivamente, costo de implementación (que no incluye infraestructura ni equipos). Por consiguiente, el costo del proyecto estaría entre 50,53 a 1059,5 millones de dólares, en donde las circunstancias de un proyecto está en el rango menor de realizar bien la planeación y estructurar normativas que cuiden las franjas territoriales estratégicas en el VSN, en el presente, y de no realizar estas actividades y buenos estudios, el costo del proyecto estaría en el rango mayor o hasta más costoso, debido a que se requiere la compra de predios que cada año se valorizan más en el oriente antioqueño y esto podría a futuro inviabilizar cualquier proyecto de transporte masivo.

Hoja de datos de los ejes estructurantes propuestos con tren de cercanías o suburbano multimodal						
EJE ESTRUCTURANTE	Sistema férreo	Capacidad		Distancia		Costo
2	Tren de cercanías multimodal	90 – 190 pasajeros por vagón sentados	2.500 – 40.000 Pasajeros hora/sentido	500 – 2.000 metros de separación entre estaciones	16,3 km de longitud total recorrido	Costo capital 3,1 – 65 millones USD por km <sup>1</sup> Costo proyecto 50,53 – 1059,5 millones USD

Figura 42. Hoja de datos para el eje estructurante 2 (Planit metro, 2014).

En la Figura 42 se muestra las características que tendría el sistema de transporte público masivo para el eje estructurante 2 que une los municipios de Guarne y Rionegro por la Autopista Medellín – Bogotá. La capacidad de los vagones, el número de pasajeros por hora / sentido, el costo de los km en millones de dólares, son algunas de las características que puede tener este medio de transporte para el eje estructurante propuesto.

### 3.3.3.3. **TRONCAL 3: Eje Vial Estructurante Número 3: Autopista Medellín – Bogotá (municipios de Rionegro - Marinilla).**

**Ubicación:** Marinilla limita con Rionegro, El Santuario, El Peñol, San Vicente Ferrer y El Carmen de Viboral. Tiene una extensión de 115 km<sup>2</sup> y unas alturas que oscilan entre los 1.900 y 2.400 m.s.n.m. Marinilla ocupa el 6,3 % de la región del Oriente antioqueño y el tercer lugar en área cultivada (sobre 23.245 hectáreas totales cultivadas). Hace parte, además, del área de influencia de la Corporación Autónoma Regional Rionegro - Nare (CORNARE) y como tal recibe un manejo especial por parte de esta institución, en cuanto a la protección, reglamentación y manejo de los recursos naturales y del ambiente (Marinilla, 2017).



Figura 43. Visualización geográfica de la Troncal 3 derivado desde la autopista Medellín - Bogotá zona Marinilla y límites con Rionegro, Antioquia (Google Earth, 2009).

**Descripción:** Esta troncal une el municipio de Marinilla y el municipio de Rionegro por la desviación de la autopista Medellín-Bogotá. Esta ruta la comparten ambos municipios, desde la desviación de la autopista Medellín – Bogotá, conocida como T del aeropuerto JMC – Belén, a la altura de la carrera 60 del municipio de Marinilla hasta la frontera con el municipio de Rionegro, en la transversal 49.

Esta troncal es estratégica debido a que por la zona donde se propone el sistema férreo se encuentran varias de las grandes industrias y desemboca en una zona de alto movimiento comercial en Rionegro. Esta vía se utiliza diariamente para mover pasajeros y en gran parte mercancías que nutren los comercios y las industrias de la zona. La economía del municipio de Marinilla se basa en productos agrícolas como la papa, frijol, maíz y hortalizas. El 40% de la economía municipal depende del sector primario, otro 40 % del sector secundario (comercio-servicios) y un 20 % de la pequeña y mediana industria (Marinilla, 2017). Esta troncal tiene una longitud de 5,73 km con una inclinación promedio de 2,9 % a -3,8 %.

Gráfica 8. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Marinilla y Rionegro, Antioquia.



**Análisis:** Los trazos que tiene esta troncal cumplen con un requisito de diseño para la implementación de un sistema ferroviario debido a su pendiente. Este sistema se analiza inicialmente tipo tranvía para el movimiento de pasajeros, el cual pudiese potencializar los predios y la actividad económica debido a la afluencia de industrias en la zona. El hecho de que sea un eje de conectividad prioritario entre ambas municipalidades va a generar un atractivo en el uso del suelo que lo va a potencializar y va a generar un crecimiento acelerado y claramente definido en proceso de conurbación.

**Propuesta:** Se propone un sistema tranviario de 5,73 km de longitud de línea, 29,4 m de largo aproximadamente, 2,3 m de ancho y 3,36 m de alto, lo cual se acomoda a las dimensiones de la franja intermedia que existe actualmente en la ruta. Pueden transportar un promedio de 110 a 310 pasajeros, con una capacidad de usuario por hora y sentido de 4.000 a 20.000. En la actualidad pareciese un valor muy alto para la cantidad de habitantes, pero la subregión del oriente

antioqueño está en una gran etapa de desarrollo y crecimiento, por lo que a futuro este sistema estará adecuado para movilizar la demanda exigida.

La ruta que se propone se conectaría a la primera rotonda de Marinilla, pasando por la transversal 49 hasta la segunda rotonda vía a Rionegro. La pendiente máxima está vía es de 9.7%, un poco más de lo permitido, pero ya que el sistema de medida de pendientes no es muy exacto, es posible que el dato arrojado este alterado por los autos o resaltes inesperados en la medición. Para ello se recomienda un análisis de esta pendiente con un software especializado y ajustar en la práctica la vía con obras civiles.

Este tipo de sistemas de transporte se propone basado en las experiencias de las ciudades que se tomaron como referente en la presente tesis. En cada una de ellas, se apreció el sistema de transporte tranviario, ya que este era el más utilizado en dichas ciudades por los usuarios. Este sistema presta un servicio ágil, seguro y confortable, con una frecuencia activa y constante hasta altas horas de la noche, facilitando la integración de otros medios y el movimiento eficiente de los pasajeros a sus lugares de destino. Este sistema de transporte puede instalarse en la misma vía y así compartir la ruta con otros medios de transporte. Aunque no toda la zona del oriente o de la ruta trazada está urbanísticamente desarrollada, se puede presupuestar una ruta segregada o adecuar la vía para ser compartida. Es importante también aclarar que la zona del altiplano antioqueño es una de las mayores zonas de generación de energía eléctrica por medio de sistemas hídricos, por lo que estos medios de transporte pueden ser alimentados por las muchas subestaciones de energía que en estos municipios se encuentran.

***Evaluación:*** Se menciona la necesidad de armonizar el valor de las pendientes por lo cual se deberá hacer estudios topográficos y lograr aplanar las pendientes que se tienen. Al utilizar un software como Google Earth no se logra apreciar de forma exacta la topografía de la zona. Una buena integración de profesionales civiles y arquitectos podrían lograr una adecuada ruta para el desarrollo de sistemas tranviarios.

Estos medios de transporte tienen la ventaja de poder transportar más personas por sentido, un promedio entre 115 y 185 pasajeros por vagón, con 1.200 pasajeros hora / sentido. La infraestructura del tranvía también permite múltiples trenes acoplados, duplicando o triplicando la capacidad con solo pequeños costos adicionales. La zona en la que se propone este sistema está rodeada por industrias por lo que un medio de transporte que movilice los pasajeros entre Marinilla y Rionegro, fomentaría la creación de una zona altamente industrial y con gran demanda.

El análisis del costo que tendría implementar este medio de transporte tranviario en el eje estructurante propuesto esta entre los 30 – 80 millones de dólares / milla (Planit metro, 2014), unos 19 a 48 millones de dólares / kilómetro respectivamente,

costo de implementación que no incluye infraestructura ni equipos. El coto que podría llegar a tener este eje estructurante se encuentra entre 106,6 a 273,4 millones de dólares, en donde el rango menor se puede mantener en el tiempo si se aplican normativas y planificaciones para cuidar las franjas y así evitar tener que compararlas a futuro y aumentar el costo del proyecto al rango superior. Los costos de un sistema tranviario varían mucho, entre tecnologías, capacidades y modelos de los trenes y los proyectos, pero influye enormemente los estudios, análisis y planeaciones que se realicen con tiempo para la ejecución de estos a mediano o largo plazo. Se enfatiza en la necesidad de crear leyes, normativas y legislaciones que promuevan el cuidado de las franjas estratégicas para la implementación de sistemas de transporte masivo en el oriente antioqueño y la subregión del Valle de San Nicolás. En la Figura 44 se muestra la hoja de datos para el eje estructurante 3 propuesto, en las que se puede observar algunas de las características que puede tener este sistema de transporte público.

Hoja de datos de los ejes estructurantes propuestos con tranvía						
EJE ESTRUCTURANTE	Sistema	Capacidad		Distancia		Costo
3	Tranvía	30 – 80 sentados (180 total). <sup>1</sup>	3,600 hasta 20.000 Pasajeros hora/sentido. <sup>1</sup>	300 – 1.500 metros de separación entre estaciones.	5,73 km de longitud total recorrido	Costo capital 18,6 – 47,7 millones USD por km (incluido el vehículo). <sup>1</sup> Costo proyecto 106,6 – 273,4 millones USD.

Figura 44. Hoja de datos para el eje estructurante 3 (Planit metro, 2014).

#### 3.3.3.4. **TRONCAL 4: Eje Vial Estructurante Número 4: Autopista Medellín – Bogotá (municipio de Marinilla – vía al municipio de El Santuario)**

**Ubicación:** Toda la troncal está en jurisdicción del municipio de Marinilla, pero esta vía conduce al municipio de El Santuario por la autopista Medellín – Bogotá, como se aprecia en la siguiente figura.



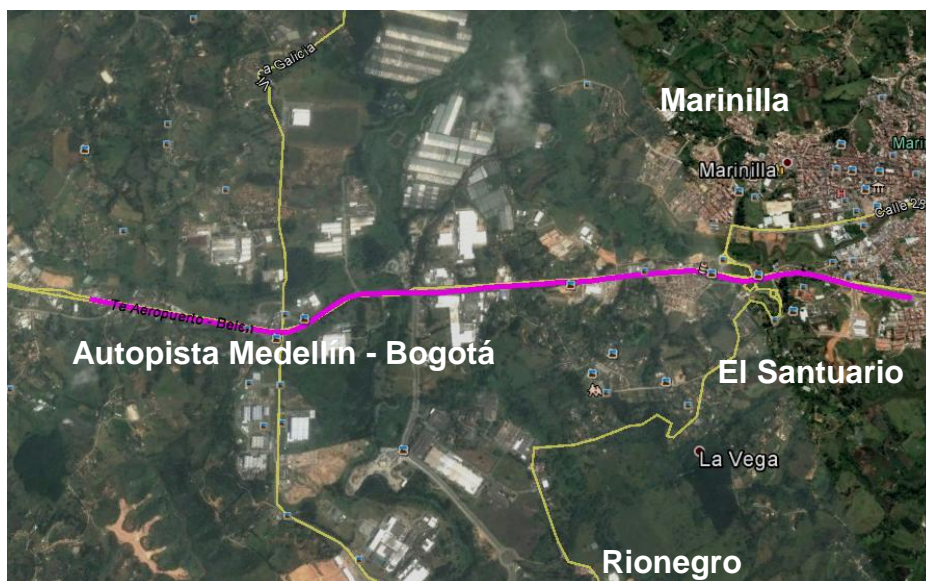


Figura 45. Visualización geográfica de la Troncal 4, vía del municipio de Marinilla por la autopista Medellín - Bogotá hacia el municipio de El Santuario, Antioquia (Google Earth, 2009).

**Descripción:** Esta troncal se encuentra en la ruta que conduce de la autopista Medellín – Bogotá en jurisdicción del municipio de Marinilla en dirección al municipio de El Santuario. Esta vía la cual se utiliza diariamente para mover pasajeros y en gran parte mercancías. Esta troncal tiene una longitud de 4,53 km con una inclinación promedio de 4,2 % a -4,0 %.

Gráfica 9. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá del municipio Marinilla hacia el municipio de El Santuario, Antioquia.



**Análisis:** Esta troncal tiene una gran importancia, debido a que cruza varios de los municipios más fuertes del Valle de San Nicolás, como lo es Marinilla, Rionegro y El Santuario. La economía de esta zona se basa en agricultura, ganadería, avicultura, industria de confecciones, comercio activo y turismo ecológico, por lo que la creación de una ruta que pueda transportar tanto mercancías como pasajeros es ideal para esta ruta e impulsaría las actividades y la economía.

**Propuesta:** Para esta troncal como ya se dijo en el análisis anterior se sugiere una red ferroviaria que cubra tanto el tráfico de la zona como el regional. Un sistema de tren de cercanías con vagones acoplados y arrastrados por una locomotora. Este sistema se propone multimodal y multipropósito, para el movimiento de pasajeros y carga, sugiriendo una conexión integrada con las otras troncales propuestas en este capítulo y porque no, con los ferrocarriles propuestos en el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario nombrado en el ítem 3.3.2 que habla acerca de los planes de sistemas férreos en Antioquia y el Valle de San Nicolás.

El transporte de mercancías ferroviario prestaría un servicio seguro, ecológico, rápido, estable y puntual para la región, potencializando el uso del suelo, las actividades económicas y tradicionales de la zona. La conexión con los cascos urbanos de los otros municipios puede facilitar el movimiento de los estudiantes a las zonas universitarias del oriente y facilitar la educación del municipio y esto aportar conocimiento local a la región, sin duda alguna, favorece al crecimiento y desarrollo. El hecho de que sea un eje de conectividad prioritario entre ambas municipalidades y que vaya en la vía a El Santuario (“Ciudad de la agricultura”), El Peñol, Guatapé y San Rafael, zonas turísticas, potenciaría la economía de la región oriental de Antioquia.

Esta propuesta nace después de analizar los sistemas y las ventajas de ellos en los países referentes europeos. El transporte de la UE ha progresado considerablemente y sigue contribuyendo de forma significativa a la prosperidad y el empleo de todos los países unidos de Europa. El sector transporte, en este caso el ferroviario, ha generado alrededor de 10 millones de trabajos, un 4,5 % del empleo total en la UE, el cual representa aproximadamente el mismo porcentaje del producto interior bruto (PIB). Las conexiones de sistemas transporte multimodales son también sustanciales para la economía de la UE en términos de exportaciones (Comisión Europea, 2014).

**Evaluación:** La propuesta de estas troncales no solo es para la interconexión del valle, sino que se propone estudios, análisis, proyección y planeación de sistemas férreos para interconectar no solo esta subregión, sino todas las regiones posibles de Colombia. Los planes de desarrollo municipales, departamentales y nacional ya tienen la opción de implementar sistemas férreos en Colombia, pero se requiere más estudios y compromisos de muchos de los municipios que conforman el país.

La idea de proponer sistemas públicos integrados multimodales y multipropósito en la actualidad da una esperanza e intención de trascender y buscar soluciones para un futuro en movilidad, agilidad y sostenibilidad de un país que crece y se desarrolla poco a poco. Estos medios de transporte tienen la ventaja de poder transportar más personas por sentido, un promedio entre 90 a 190 pasajeros sentados y acoplar a la locomotora vagones para carga de diferentes capacidades de toneladas transportadas. El promedio de pasajeros hora/sentido es de 2.500 a 40.000 aproximadamente.



El proyecto propuesto para este eje estructurante se encuentra entre 14,1 a 294,5 millones de dólares, en donde el costo de las tierras influye en el costo máximo o mínimo del proyecto. Los terrenos por donde se ejecutaría este y cualquier otro eje estructurante, deben ser evaluados para comenzar con la planificación y proyección de las fajas y cuidarlas con normativas o comprándolas (el estado o los municipios) para que a futuro no se incrementen los costos del proyecto por la necesidad de comprar los terrenos para la construcción de la infraestructura férrea.

A continuación, se presenta la hoja de datos que tendría el eje estructurante 4 propuesto:







Hoja de datos de los ejes estructurantes propuestos con tren de cercanías o suburbano multimodal							
EIF ESTRUCTURANTE	Sistema férreo	Capacidad		Distancia		Costo	
							
4	Tren de cercanías multimodal	90 – 190 pasajeros por vagón sentados	2.500 – 40.000 Pasajeros hora/sentido	500 – 2.000 metros de separación entre estaciones	4,53 km de longitud total recorrido	Costo capital 3,1 – 65 millones USD por km <sup>1</sup>	Costo proyecto 14,1 – 294,5 millones USD

Figura 46. Hoja de datos para el eje estructurante 4 (Planit metro, 2014).

### 3.3.3.5. TRONCAL 5: Eje Vial Estructurante Número 5: Autopista Medellín – Bogotá (municipios de Marinilla y Santuario)

**Ubicación:** El Santuario es el territorio más pequeño de la subregión del altiplano. Limita al norte con Marinilla y El Peñol, al nororiente con el municipio de Granada, al suroriente con los municipios de Cocorná y El Carmen de Viboral, y al occidente nuevamente con el municipio de Marinilla. Está a 57 km de la capital de Antioquia, Medellín. Tiene una superficie de 75 km<sup>2</sup> y una altitud de 2.150 m.s.n.m. (El Santuario, 2017).



Figura 47. Visualización geográfica de la Troncal 5 derivado desde la autopista Medellín - Bogotá vía a Marinilla y El Santuario, Antioquia (Google Earth, 2009).

**Descripción:** Esta troncal propuesta une el municipio de Marinilla y el centro del municipio de El Santuario, pasando al lateral de la autopista Medellín-Bogotá. Esta troncal se interconectaría para llegar al centro del municipio del Santuario. Esta vía comunica estos dos importantes municipios, y se utiliza diariamente para mover pasajeros y en gran parte productos agrícolas que se cosechan en El Santuario y Marinilla. Esta troncal tiene una longitud de 9,11 km con una inclinación promedio de 4,9 % a -6,2 %.

Gráfica 10. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá con el municipio de Marinilla y El Santuario, Antioquia.



**Análisis:** La creciente expansión urbanística en las periferias de Marinilla y el continuo crecimiento de El Santuario, hace pensar en la importancia de potenciar estos municipios, creando sistemas de transporte que los una e impulse la agricultura, ganadería, turismo y comercio de cada uno. La ruta que se propone podría cubrir la movilidad de los dos municipios e interconectarse con la troncal 4 propuesta en el ítem anterior. Las actividades de los dos municipios son activas y

requieren un sistema de transporte masivo más rápido y ágil para potencializar la economía y el crecimiento tanto territorial como poblacional.

**Propuesta:** Para esta troncal se sugiere una red ferroviaria, con un sistema de tren de cercanías con vagones acoplados y arrastrados por una locomotora. Este sistema se propone multimodal y multipropósito, para el movimiento de pasajeros y carga, sugiriendo una conexión integrada con las otras troncales. Este sistema de transporte se interconectaría con las otras troncales y posiblemente los otros proyectos propuestos en los planes de desarrollo nombrados en el presente capítulo. Este sistema de transporte sería de manera idéntica al propuesto en la troncal 4, y se proyectaría una adecuación para interconectar ambas troncales y generar varias redes de transporte.

**Evaluación:** Para esta troncal se propone un sistema férreo que pueda movilizar los pasajeros como las mercancías que se producen en la zona de los municipios de Marinilla y El Santuario, por lo que un tren de cercanías multipropósito sería el ideal en esta franja. Con un promedio entre 90 a 190 pasajeros por vagón sentados, con un promedio de 2.500 a 40.000 pasajeros hora / sentido.

El análisis del costo que puede tener el implementar este medio de transporte ferroviario en el eje estructurante propuesto esta entre los 5 – 100 millones de dólares /milla (Planit metro, 2014), unos 3,10 a 62,13 millones de dólares / kilómetro respectivamente. Por tanto, el costo de esta estructura vial de 9,11 kilómetros totales de trazado, esta entre 28,33 a 592,15 millones de dólares, que depende, como ya se había dicho en las anteriores evaluaciones de los ejes propuestos, de las adquisiciones de fajas estratégicas para la construcción de la infraestructura de este tipo de transporte férreo. El costo del proyecto puede estar en el rango máximo de no realizar buenas planeaciones y proyecciones en el presente para la ejecución de estos sistemas públicos a futuro.

A continuación, se muestran algunas de las características que podría tener este sistema de transporte propuesto para este eje estructurante 5:







Hoja de datos de los ejes estructurantes propuestos con tren de cercanías o suburbano multimodal							
EIF ESTRUCTURANTE	Sistema férreo	Capacidad		Distancia		Costo	
							
5	Tren de cercanías multimodal	90 – 190 pasajeros por vagón sentados	2.500 – 40.000 Pasajeros hora/sentido	500 – 2.000 metros de separación entre estaciones	9,11 km de longitud total recorrido	Costo capital 3,1 – 65 millones USD por km <sup>1</sup>	Costo proyecto 28,33 – 592,15 millones USD

Figura 48. Hoja de datos para el eje estructurante 5 (Planit metro, 2014).

**3.3.3.6. TRONCAL 6: Eje Vial Estructurante Número 6: Autopista Medellín – Bogotá (municipios de Guarne – Rionegro, Aeropuerto Internacional JMC).**

**Ubicación:** Unión entre el municipio de Guarne y el municipio de Rionegro, con llegada al Aeropuerto Internacional JMC.

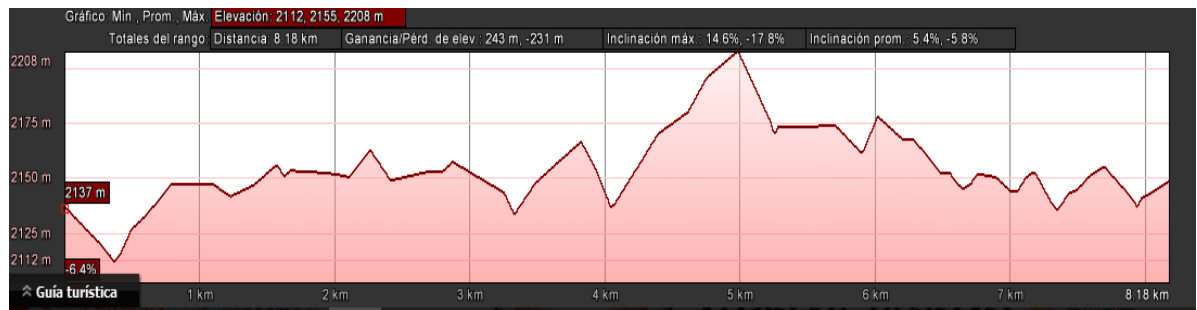


Figura 49. Visualización geográfica de la Troncal 6 derivado desde la autopista Medellín - Bogotá vía a Guarne a el aeropuerto interna. JMC Rionegro, Antioquia (Google Earth, 2009).

**Descripción:** Esta troncal une la vía del municipio de Guarne hasta el municipio de Rionegro llegando al Aeropuerto Internacional JMC, la cual se utiliza diariamente para mover una cantidad de personas que congrega cada día el aeropuerto José María Córdoba, que tiene una circulación de aproximadamente 18.000 pasajeros, más las 5.500 personas que constituyen la comunidad aeroportuaria, entre empleados de aerolíneas, mecánicos y pilotos, entre otros. Además, de los asentamientos de las grandes empresas que se encuentran en su periferia, entregas de mercancías a la Zona Franca y al mismo aeropuerto para exportación o transporte a otras regiones. Esta troncal tiene una longitud de 8.18km con una inclinación promedio de 5,4 % a -5,8 %.



Gráfica 11. Visualización geográfica de la pendiente de la autopista Medellín - Bogotá vía a Guarne a el aeropuerto interna. JMC Rionegro, Antioquia.



**Análisis:** El movimiento de pasajeros y mercancías para la zona franca y el aeropuerto hacen de esta troncal una de las más concurridas para los pasajeros que suben desde Medellín, como para los habitantes de los municipios aledaños.

El cultivo agroindustrial de la floricultura que se encuentra en la subregión puede catalogarse como una actividad actual de exportación, que genera ventajas competitivas por el uso de los recursos territoriales naturales (tierras y aguas), la abundante mano de obra asalariada (Gutiérrez, 2016). Adicionalmente, esta zona tiene uno de los progresos más competitivos económicamente con respecto al Valle de Aburrá, por lo cual requiere una conectividad competente y ágil para el movimiento de pasajeros y mercancías tanto al aeropuerto JMC como a la subregión oriental.

**Propuesta:** Para esta troncal se sugiere un sistema de tren de cercanías como en las troncales anteriores, ya que este sistema da la posibilidad de volverlo multimodal y así poder hacer movimiento de pasajeros y carga en el mismo sistema de transporte. La pendiente promedio de esta troncal es favorable para implementar este sistema, pero se sugiere un buen análisis civil para buscar la mejor ruta y forma de aplanar las vías. Teniendo un sistema integrado de transporte público se podrá potencializar la zona y crear más corredores integrados.

En muchos de los aeropuertos de las ciudades europeas referente se tienen sistemas de trenes de cercanías para el movimiento de los pasajeros hasta ellos. Este sistema de transporte se podría implementar de tal forma que una no solo a los municipios de Guarne y Rionegro, sino que se una con el Valle de Aburrá. El plan maestro del Metro de Medellín contempla esta posibilidad por medio del túnel de oriente, el cual se encuentra actualmente en construcción (Medellín 2015). Además, también se puede integrar con el sistema del modelo de tren ligero impulsado vía neumática con motores de viento que circulará por gran parte del municipio de Rionegro presentado por la empresa somos y tratado en el ítem 3.3.1. del presente capítulo. Con todas estas redes y modelos de transporte el

oriente podrá estar preparado para un desarrollo territorial y poblacional, con un crecimiento y fortalecimiento de la economía y las actividades de la región.

**Evaluación:** Debido a las grandes actividades de cultivos para exportación que se lleva a cabo en la zona y que utiliza el aeropuerto internacional JMC para la exportación de dichos productos se requiere sistemas de transporte ágiles y rápidos para el movimiento de las mercancías, sin dejar a un lado la cantidad de pasajeros que viajan y trabajan en él. Esta troncal se uniría a las otras troncales propuestas.

Estos medios de transporte tienen la ventaja de poder transportar más personas por sentido y acoplar a la locomotora vagones para carga. un promedio entre 90 a 190 pasajeros por vagón sentados, con un promedio de 2.500 a 40.000 pasajeros hora / sentido. El análisis del costo de este medio de transporte ferroviario en el eje estructurante propuesto esta entre los 5 – 100 millones de dólares / milla (Planit metro, 2014), unos 3,10 a 62,13 millones de dólares / kilómetro respectivamente, por lo que los 8,18 kilómetros totales de trazados propuestos dan un costo entre los 25,43 a 531,7 millones de dólares como se observa en la siguiente figura, donde el costo del proyecto depende entre tantos factores, del costo de las tierras que se requieran para la infraestructura férrea. La alerta esta, la importancia de cuidar las franjas en el presente facilita un proyecto a futuro.

A continuación se muestran algunas de las características que puede tener estos medios de transporte férreos multimodales:

Hoja de datos de los ejes estructurantes propuestos con tren de cercanías o suburbano multimodal							
EJE ESTRUCTURANTE	Sistema férreo	Capacidad		Distancia		Costo	
						\$	\$\$\$
6	Tren de cercanías multimodal	90 – 190 pasajeros por vagón sentados	2.500 – 40.000 Pasajeros hora/sentido	500 – 2.000 metros de separación entre estaciones	8,18 km de longitud total recorrido	Costo capital 3,1 – 65 millones USD por km <sup>1</sup>	Costo proyecto 25,43 – 531,7 millones USD

Figura 50. Hoja de datos para el eje estructurante 6 (Planit metro, 2014).

### 3.3.3.7. OTRAS TRONCALES

#### Ubicación:

- **La Ceja** limita por el Norte Rionegro; por el nororiente el Carmen del Viboral; por el Oriente La Unión, por el sur Abejorral; por el suroccidente Montebello y por el occidente El Retiro. Tiene una superficie de 133,6 km<sup>2</sup> y una altitud de 2.143 m.s.n.m. (La Ceja, 2017).

- **El Retiro** limita Norte: Envigado y Rionegro, Oriente: Rionegro y La Ceja, Occidente: Caldas y Envigado, Sur: Montebello y Santa Barbara. Tiene una superficie de 244 km<sup>2</sup> y una altitud de 2.175 m.s.n.m. (El Retiro, 2017).
- **La Unión** limita por el norte con los municipios de La Ceja y El Carmen de Viboral, por el este con El Carmen de Viboral, por el sur con los municipios de Sonsón y Abejorral y por el oeste con el municipio de La Ceja. Tiene una superficie de 198 km<sup>2</sup> y una altitud de 2.500 m.s.n.m. (La Unión, 2017).
- **San Vicente Ferrer** limita Norte: Barbosa, Concepción, El Peñol, Sur: Rionegro, Marinilla, Oriente: Concepción y El Peñol, Occidente: Girardota y Guarne. Tiene una superficie de 243 km<sup>2</sup> y una altitud de 2.201 m.s.n.m. (San Vicente Ferrer, 2018).

**Análisis:** En la actualidad estos municipios están interconectados con vías de acceso en buen estado. Los movimientos de buses intermunicipales que acercan a los pasajeros a sus lugares de trabajo en los otros municipios y el casco urbano de Medellín son constantes y con buenos horarios de salida, aunque se presentan retrasos en la llegada debido a la congestión. En los planes de ordenamiento territorial de cada uno de estos municipios mostrados en el capítulo 2, se puede detallar que ninguno habla acerca de la conexión por carretera con otros municipios, pero si del transporte interno de cada uno.

Todos los municipios nombrados anteriormente se encuentran en desarrollo y crecimiento, por lo que requiere que sean analizados y que entre ellos se creen rutas para interconectarlos entre sí y con otros municipios de la región. La diversificación de mercados, bienes y servicios de los municipios del altiplano antioqueño fomentan la importancia de proyectar a futuro redes de transporte que puedan descongestionar la zona, impulsar los mercados y dinamizar la economía.

**Propuesta:** Para estos municipios se propone una metodología de calidad del transporte, en donde se fije los lugares de descarga de los pasajeros y las paradas en los trayectos. También se propone un cambio de flota de buses, por sistemas más adecuados, tecnológicos y sostenibles. Estos sistemas de transporte podrían ser los buses padrones o buses articulados dependiendo del número de pasajeros que se quiera movilizar en la ruta o en las horas de mayor tráfico. Los buses podrían movilizar de 2.000 a 3.000 pasajeros hora/sentido o más, con una capacidad por vehículo de hasta 160 pasajeros. Este sistema puede ser similar a los implementados en Medellín con el servicio de los buses padrones y articulados del Metroplús.

En la actualidad muchos buses intermunicipales trabajan en la zona, pero generan grandes descargas de contaminación y esto afecta la calidad del aire. Esta propuesta es similar a la de la troncal 1, por lo que una buena metodología de

transporte con medios tecnológicos y organizados, podrían aportar al sistema de transporte soluciones a las problemáticas presentadas cada POT municipal.

**Evaluación:** Es posible analizar a futuro líneas férreas o rutas de buses que interconecten estos municipios, pero debido a que son municipios con un desarrollo económico más lento que el de los analizados en las troncales del 1 al 6, se propone implementar buenas prácticas en el funcionamiento y metodología de transporte. La adecuación y unificación de los sistemas de transporte genera una estructura ágil y confiable de movimiento de pasajeros.

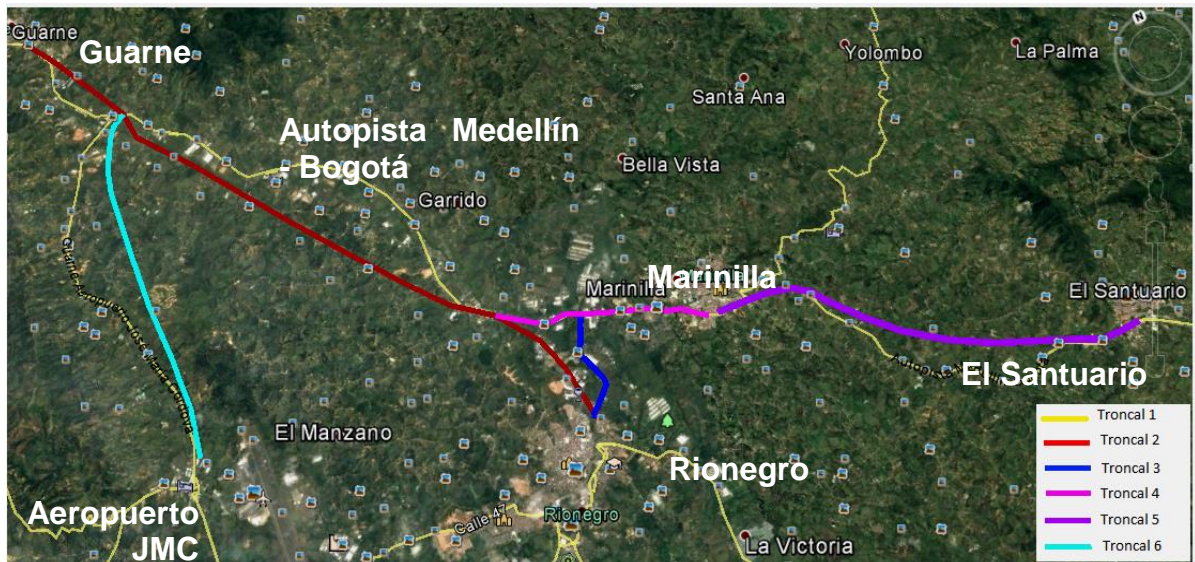


Figura 51. Visualización geográfica de las seis (6) troncales analizadas en el Valle de San Nicolás (Google Earth, 2009).

Todas las troncales propuestas en este capítulo son basadas en los modelos y sistemas de transporte implementados en las ciudades referentes europeas, en las cuales se observó como el sistema de transporte público masivo aportaba al crecimiento económico de la ciudad, región y país. Estas ciudades estuvieron alguna vez en proceso inicial de desarrollo o reconstrucción después de las guerras, como lo está viviendo la región antioqueña. Europa sabía que necesitaba buenas conexiones de transporte para impulsar el comercio y el crecimiento económico, para crear empleo y prosperidad. En la actualidad estos sistemas siguen funcionando y por décadas son y serán parte fundamental de la economía europea.

Las redes de transporte son esenciales para la cadena de suministro y constituyen la base de la economía de estas ciudades europeas, por lo que Colombia está en el momento ideal para proyectar y planear sistemas de transporte público masivos, ojalá eléctricos y férreos, para el movimiento de pasajeros y mercancías con gestores y metodologías de transporte para mejorar el servicio al usuario.



### 3.3.4. Análisis del modelo propuesto

Basado en las troncales propuestas en el ítem anterior con el método formulado para el análisis del sistema de transporte a implementar en el Valle de San Nicolás, se procede a realizar una evaluación de la retroalimentación que tendría la ejecución de estas propuestas:

La implementación de sistemas de transporte aporta en gran medida al crecimiento económico de la subregión del Valle de San Nicolás y región de Antioquia. Esto apoya la integración de otras rutas férreas que tiene contemplado el gobierno, puesto que el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Transporte las cuales priorizarán estas intervenciones a través de la formulación de un Plan Maestro Ferroviario que trace la ruta de desarrollo de mediano y largo plazo. Todo ello analizando el componente financiero, técnico, económico, institucional, ambiental y legal de la ejecución e implementación de sistemas férreos en Antioquia, fomentaría el desarrollo económico, dándole mayor fortalecimiento al sector transporte tanto de pasajeros como de carga. La recuperación de aquellos tramos inactivos con mayor potencial de transporte de carga, la implementación de accesos regionales y la conectividad de redes a otras regiones del país y promocionar los sistemas con intermodalidad aportan al crecimiento socioeconómico del país (DNP, 2014).

Todo esto se podría ver como un dinamizador y potencializador de la subregión de la siguiente forma:

- Impulsar la industria que se encuentra en la zona actualmente: se puede beneficiar por el movimiento más ágil de los trabajadores y mercancías hacia Medellín, otros municipios o por medio del aeropuerto internacional JMC.
- Impulsar la industria metalmecánica: con el desarrollo de elementos y componentes que requiere la construcción y el mantenimiento de los vehículos y vía férrea.
- Creación de nuevas carreras profesionales: se pueden desarrollar basado en la necesidad que requeriría el sistema de transporte. Las profesiones como: Ingeniería en Transporte y Tránsito, logística, Ingeniería en Transporte e Ingeniería Ferroviaria, entre otras, pueden estar orientadas a satisfacer la demanda de profesionales en esta actividad.
- Creación de nuevas fuentes de empleo: indiscutiblemente la implementación de estos sistemas de transporte crearía una gran oferta de empleo para muchas áreas en la subregión.
- Reducción en la contaminación ambiental: dado a que este sistema de transporte necesita menos espacio por persona transportada para moverse.

El espacio para movilizar un gran número de pasajeros y mercancías sería menor que en otros medios de transporte o vehículos privados.

- Impulso de la economía: esta subregión es rica en la producción agrícola y muchos de estos productos se exportan a otras regiones y otros países por medio del aeropuerto JMC, por lo que al tener un buen sistema multimodal que sea más rápido, la economía de la subregión puede aumentar. Además de que ello puede potencializar el diseño y ejecución de otros proyectos y se procesa a la interconexión de Antioquia con otras regiones y puertos del país.

Todas estas características y fuentes de progreso con la implementación de un sistema de transporte público masivo en la subregión, puede retroalimentar a los planes de ordenamiento territorial y departamental en la búsqueda de fuentes de financiación y proyección para nuevos proyectos. Se debe tener claro que Colombia es un país en desarrollo y que muchas de estas acciones pueden fomentar el crecimiento del país y dar vista a un futuro próspero y organizado.

Los referentes europeos que se obtuvieron para esta tesis denotan la importancia de un sistema de transporte público eficiente, ágil y sostenible, que aporta en gran medida a la economía, cultura y sociedad, ya que genera costumbres de movimiento de pasajeros puntuales y fomenta esto en las actividades del día a día de sus habitantes. Colombia puede ver a muchos de los países europeos como referentes para la implementación de sus metodologías de transporte, ya que son ellos los que pueden aportar con experiencias vividas los retos que el país está teniendo en la actualidad y tendrá en un futuro.

Basado en los costos que se proponen en cada uno de los ejes estructurantes son una base para mostrarle al lector un valor tentativo de los costos del proyecto, pero se deja claro la importancia de realizar un estudio más profundo, teniendo en cuenta las características de cada una de las rutas, la demanda, las tecnologías de los vehículos y la infraestructura que estos requieran.

#### 4. RECOMENDACIONES

Se recomienda a alcaldes municipales, tener en sus planes administrativos proyecciones de desarrollo en componente de infraestructura y movilidad, generando estrategias conjuntas con otros municipios para implementar sistemas de transporte público masivo dinámicos que puedan emigrar a otras tecnologías y perdurar en el tiempo. Los beneficios obtenidos por una buena planificación de la movilidad y la conectividad se traducen en ahorros importantes en el gasto de transporte, disminución de los índices de contaminación, reducción de riesgos en salud, menor tiempo en los desplazamientos y su consecuente impacto sobre la calidad de vida.

De igual forma se recomienda a todos los gobernantes y participantes de los planes de desarrollo nacional y departamental ser más específicos en las acciones a seguir con los proyectos férreos que se proponen. La creación de normativas que exijan el cuidado de franjas y aportes económicos para la ejecución de estos proyectos (método de financiación), se hacen necesarios en dichos planes, ya que es esto lo que viabilizará los proyectos en un futuro. Muchas zonas de Antioquia y del país se están reservando por empresas privadas como estrategia del llamado “engorde de tierras” pagando impuestos como rural, que a futuro se convertirán en zonas urbanísticas sin un diseño o planeación de la zona y del sistema de transporte masivo, lo cual claramente generaría inconvenientes a futuro por la mala planeación y los altos costos de compra de predios.

Estas zonas se deben evaluar estratégicamente para ser compradas por las alcaldías o el departamento y así conservar la franja para futuros proyectos, evitando el encarecimiento de los predios. Es imprescindible integrar el transporte público del VSN con el uso y valor del suelo, específicamente con las áreas en las cuales se proyecta un mayor uso del suelo para planes de urbanización e industria. Se requiere que entre esto esté propuesto un análisis de la gestión de la demanda, donde esta genere una situación mucho más favorable para el transporte público y más equitativa para todos los ciudadanos. La compra de los predios a los costados de las vías o en cualquier zona que se requiera, deben comprarse y quedar a nombre de las municipalidades o la nación, para facilitar en un futuro proyectos de transporte público que ayuden a la descongestión del momento o a fortalecer la movilidad y la economía de las zonas.

## 5. POLÍTICAS INTEGRALES Y VOLUNTAD POLÍTICA

Después del análisis realizado a los planes de desarrollo municipal, departamental y nacional, es claro la necesidad de que las ciudades y municipios tengan políticas integrales de transporte conjuntas y en pro de un mismo objetivo, el crecimiento socioeconómico del país. En lo que esté incluido los factores económicos, sociales y ambientales de las regiones y busquen una sostenibilidad en estas mismas dimensiones a mediano y largo plazo.

Se requiere cambiar el enfoque de la política de transporte de una ciudad hacia uno que dé prioridad a los ciudadanos y al crecimiento social, es decir, al plantear políticas, proyectos y diseños de transporte, se debe tener en cuenta las necesidades de los usuarios en estado de discapacidad, al peatón, al ciclista y todos los usuarios que utilizan el sistema de transporte público (Pardo, 2009). Las ciudades y sus gobernantes deben priorizar el sistema de transporte en todos sus planes y proyectos, ya que es esto lo que facilita la movilidad y el orden en las ciudades. Europa y las ciudades referentes propuestas para esta tesis muestran como con buenas políticas de transporte se fomenta el sistema público y se genera una cultura a su alrededor.

Para poder lograr una política integral de transporte sostenible en el Valle de San Nicolás, se propone la creación de un macro plan de ordenamiento territorial que contemple todas las necesidades conjuntas de la subregión y que se busque soluciones comunes. Los límites entre los municipios en la zona de estudio no son muy demarcadas o notorias, por lo que un plan en general entre todos los municipios puede generar soluciones más viables y adecuadas. La integración con las políticas urbanas y la planeación de la subregión a mediano y largo plazo puede generar mayores efectos sobre la misma, con un buen esquema en el que el uso de los suelos, las normativas urbanísticas y el concepto de ciudad sea más exigente y siempre visionario con el crecimiento de la zona.

## 6. CONCLUSIONES

Se encontró que Colombia ha sido un país que a través de los años ha utilizado varios medios de transporte público similares a los europeos, en los que se destacaron los ferrocarriles y los tranvías. En la actualidad algunos de esos modelos siguen funcionando como metros, trenes de carga, tranvías, teleféricos y buses padrones, aunque esto no es en todo el país y no todos son con tecnologías limpias. Colombia aún presenta muchos problemas en cuestión de sistemas de transporte y movilidad tanto en las ciudades principales como en las intermedias, ya que muchas están creciendo sin una adecuada planeación del territorio y del transporte.

El panorama general del Valle de San Nicolás mostró que la subregión llevaba un continuo crecimiento y desarrollo del territorio, convirtiéndose en una zona estratégica e importante socioeconómicamente. Este análisis arrojó que los municipios de Rionegro, Marinilla, La Ceja, Guarne y El Carmen de Viboral son los que tienen una mayor concentración de población. Estos municipios mueven grandes cantidades de productos y mercancías que abastecen el Valle de Aburrá, otras regiones aledañas y otros países por medio de la infraestructura vial y aeroportuaria a través del aeropuerto internacional JMC.

Mucha de la infraestructura vial está diseñada con un solo carril, el cual es compartido por otros medios de transporte, sometiendo a la población a peligros y problemas de accidentabilidad, además de las grandes congestiones que se presentan en muchas de estas vías que interconectan los municipios.

El panorama general de la Unión Europea en el sector transporte muestra grandes avances, creando excelentes conexiones y redes de transporte, las cuales han impulsado el comercio, dinamizando la economía y creando millones de empleos. Y el conjunto de políticas integrales y comunes ha creado una red transeuropea de transporte que ha eliminado las barreras transfronterizas y ha generado integración de los mercados nacionales.

Ámsterdam, Budapest, Bratislava, Berlín, Fráncfort del Meno, Múnich, París, y Viena, fueron los clasificados por sus excelentes modelos de transporte público, eficientes, sostenibles y amigables con el usuario. La red del transporte está integrada y creada para conectar diferentes zonas de las ciudades, otras regiones y países vecinos. Todas estas ciudades tienen una estación principal de trenes donde convergen la mayoría del transporte público, creando una red integrada que facilita la movilidad y prestan un servicio ágil, eficiente, organizado y sostenible.

Se encontró que los modelos de transporte más utilizados en todas estas ciudades europeas son los buses padrones, tranvías, metros y trenes de cercanías, mostrando que son estos los sistemas más adecuados para el movimiento de

pasajeros y los más apropiados para crear un sistema integrado de transporte público entorno al crecimiento de las ciudades, y por suerte son los cuatro medios de transporte ya implementados en zonas de Colombia.

Lo anterior generó un impulso para proponer algunos ejes viales estructurantes en base a estos modelos de transporte, entre algunos municipios del VSN, en donde se caracterizó las similitudes y se mostró algunos ejemplos y comparaciones entre algunas zonas de las ciudades europeas y del Valle de San Nicolás. En estas comparaciones se tuvo en cuenta el paso por centros educativos, paso por franjas verdes y vías segregadas, paso por puentes y vías compartidas, paso por vías con arborización lateral, paso por vías compartidas frente a plazoletas centrales y sistemas de buses padrones y articulados, mostrando que muchas de estas zonas de la subregión pueden ser adecuadas para la implementación de sistemas de transporte masivo similares a los europeos.

Del análisis anterior se logró observar las grandes similitudes que existen entre varias zonas de las ciudades europeas y del Oriente, lo cual puede facilitar la proyección de medios de transporte basados en modelos europeos. El VSN aún se encuentra en proceso de crecimiento, pero es hora de crear planes conjuntos entre los municipios para crear proyectos que faciliten la movilidad y que estén diseñados para la demanda futura de la subregión y dar solución a las necesidades del territorio.

Se concluye después del desarrollo del método propuesto para el estudio de sistema de transporte a implementar en el Valle de San Nicolás, lo siguiente:

- ❖ Los planes del departamento y la nación en el sector transporte, habla de varios proyectos entorno a sistemas masivos, entre ellos los sistemas férreos multimodales, que facilitarán el movimiento de mercancías y pasajeros por franjas que interconectarán varias regiones del país entre sí y con los puertos. Y aunque si se tienen proyecciones de sistemas de transporte masivo, no se especifica cuáles son los pasos por seguir ni que políticas se están aplicando para desarrollar estos proyectos o cuidar las franjas territoriales por donde pasarán.
- ❖ De los ejes estructurales propuestos se concluye que cada uno requiere un análisis concreto de la demanda futura, estudio de suelos y pendientes, separación de franjas y métodos de financiación. De no cuidar las franjas y realizar una buena planeación, cada proyecto puede estar cerca del rango máximo del costo evaluado para cada eje estructurante y esto puede afectar la viabilización de cualquier proyecto de transporte masivo. El llamado de atención para los alcaldes de estos municipios y los sistemas de planeación es la importancia de cuidar las fajas estratégicas para la futura implementación de medios de transporte público masivos.

- ❖ Los resultados de las pendientes analizadas de cada eje estructurante no superan un promedio del 7 %, valor que favorece las rutas a futuras proyecciones de sistemas férreos como tranvías y trenes de cercanías multimodales (pasajeros y carga), aunque este análisis de pendiente sugiere la implementación de un sistema de medida avalado y calibrado para dar un dictamen final.
- ❖ En cuanto a las tecnologías propuestas, se destacó el tren de cercanías o suburbano debido a su característica multimodal que favorece al movimiento tanto de pasajeros como de carga. Estos medios de transporte pueden mover grandes cantidades de pasajeros y aunque la subregión a la fecha no tenga tanta demanda como para implementar este modelo, a largo plazo y gracias a la proyección del crecimiento de esta subregión, este medio de transporte puede movilizar la demanda futura y fomentar las conexiones con otras regiones para crear corredores estratégicos. También se destacó el tranvía en una zona con alto movimiento de pasajeros que se movilizan hacia la área industrial entre Rionegro y Marinilla. Este medio de transporte podría movilizar a los empleados y fomentar la creación de un corredor industrial en esta franja a largo plazo.
- ❖ Los sistemas de buses articulados o biarticulados es la propuesta que se realizó para los otros ejes estructurantes, debido a que estos modelos de transporte pueden de igual manera movilizar grandes cantidades de pasajeros y continuar utilizando la infraestructura vial sin modificaciones.
- ❖ La metodología de gestión y prestación del servicio que esta implementada en la mayoría de las ciudades europeas referentes se propone para cada eje estructurante y modelo de transporte actual. Estos gestores de transporte facilitan la movilidad, agilidad y puntualidad de los medios de transporte tanto actuales como los propuestos. Es fundamental organizar e integrar los sistemas de transporte público en todos los municipios del VSN y las demás ciudades en desarrollo del país, facilitando la dinámica de éstos, con el objetivo de brindar orden, seguridad, economía y accesibilidad a los usuarios.

Finalmente, este trabajo planteó alternativas para una buena aplicación e integración entre el transporte y el desarrollo de la zona del VSN, con miras a reducir el deterioro de la calidad del aire, el problema climático y los niveles de CO<sub>2</sub> en el ambiente, además de crear criterios que favorecen socioeconómicamente la subregión con impulso de la industria actual y de nuevos metales, creación de nuevas carreras profesiones entorno a los sistemas de transporte férreos y la movilidad, creación de nuevas fuentes de empleo e impulso de la economía de la subregión, región y país.

## **7. TRABAJOS FUTUROS**

Basado en las propuestas realizadas en la presente tesis, se deja para futuros estudios la realización de la:

- Estructuración técnica, legal y financiera de los corredores propuestos.
- Modelación financiera detallada de los corredores.
- Propuestas normativas para la preservación de fajas viales estratégicas para sistemas de transporte férreos o con carriles dedicados.



## 8. REFERENCIAS

- Aeropuerto Rionegro. (12 de 03 de 2018). *Aeropuerto rionegro*. Obtenido de Aeropuerto rionegro: <http://www.aeropuertorionegro.co/>
- Alemania, G. d. (12 de 01 de 2018). *Guia de Alemania*. Obtenido de Guia de Alemania: <https://www.guiadealemania.com/transporte-en-alemania/>
- Álvarez, V. A. (13 de 08 de 2016). Crecimiento urbano en Oriente, urge políticas públicas para evitar colapso. *Colombiano*, págs. 1-4.
- Álvarez, Á. (2004). Transporte Urbano, Diferencias entre Tranvía, Metro Ligero y Metro Convencional. *CITOP*, 1-8.
- Álvarez, V. A. (13 de 08 de 2016). *elcolombiano.com*. Obtenido de elcolombiano.com: <http://m.elcolombiano.com/crecimiento-urbano-del-oriente-antioqueno-requiere-politicas-publicas-para-no-colapsar-LG4769814>
- Álzate, J. M. (2007). Modelos para analizar el desarrollo del transporte urbano del Valle de Aburrá con consideraciones económicas, energéticas y ambientales. *Revista de ingeniería de la Universidad de los Andes*, 1-5.
- Amsterdam. (12 de 03 de 2017). *Amsterdam, Netherlands*. Obtenido de amsterdam.nl: <https://www.amsterdam.nl/>
- ANI. (24 de 03 de 2017). *ANI*. Obtenido de Agencia Nacional de Infraestructura : [http://www.ani.gov.co/sites/default/files/comunicado\\_-\\_ferrocarril\\_de\\_antioquia.pdf](http://www.ani.gov.co/sites/default/files/comunicado_-_ferrocarril_de_antioquia.pdf)
- Arango, R. (11 de 11 de 2017). El nuevo Ferrocarril de Antioquia irá hasta por debajo de la tierra. *El Colombiano*, págs. P 1-4.
- Austria. (27 de 12 de 2004). *Geographical Austria*. Obtenido de geographical.co.uk: <http://geographical.co.uk/people/cultures/item/1490-austria-by-rail>
- Berlin Deutschland. (03 de 12 de 2000). *Berlin, Deutschland*. Obtenido de berlin.de: <https://www.berlin.de/>
- Berman, M. (1991). *Todo lo sólido se desvanece en el aire: la experiencia de la modernidad*. Bogotá: Ed. Siglo XXI.
- Bermeo, C. E. (2006). *Evaluación de los procesos de planificación y ordenamiento territorial de suelo productivo agropecuario en la subregión valles de San Nicolás del Oriente antioqueño*. Medellín: Universidad Nacional de Antioquia.

- Botero, A. (2010). *Del tranvía de mulas al metro de Medellín: cien años de esfuerzos para desarrollar un sistema de transporte masivo en el valle del Aburrá*. Medellín: Planeta.
- Botero, H. (2016). *Plan de desarrollo municipal 2016 – 2019, “Fuerza y corazón por la gente de la unión”*. La Unión, Antioquia: Alcaldía de La Unión.
- Botero, J. C. (2016). *Plan de Desarrollo 2016 - 2019, "Juntos construimos un Municipio mejor"*. El Retiro, Antioquia: Alcaldía de El Retiro.
- Bratislava. (13 de 01 de 2018). *Guía turística Bratislava, Eslovaquia*. Obtenido de Guía de Bratislava: <http://www.guiadebratislava.com/transporte/>
- Budapest. (13 de 01 de 2018). *Guía turística Budapest, Hungría*. Obtenido de disfruta budapest: <https://www.disfrutabudapest.com/trolebus>
- Budapest. (12 de 01 de 2018). *Ver budapest*. Obtenido de Ver budapest: [http://www.verbudapest.com/tren\\_cercanias\\_hev.html](http://www.verbudapest.com/tren_cercanias_hev.html)
- Caicedo, O. F. (2010). *Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales – PROURE*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- Calderón, J. y. (2010). *Metodología para estudio de demanda de transporte público de pasajeros en zonas rurales*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Camacol Antioquia. (15 de 02 de 2012). *Camacol Antioquia*. Obtenido de [camacolantioquia.org.co](http://www.camacolantioquia.org.co): [http://www.camacolantioquia.org.co/corporativo.php?sec=quienes\\_somos](http://www.camacolantioquia.org.co/corporativo.php?sec=quienes_somos)
- Comisión Europea. (2014). *Transporte: Conectar a los ciudadanos y las empresas de Europa*. Bruselas, Bélgica: Dirección General de Comunicaciones.
- Cornare. (04 de 09 de 2017). *Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare*. Obtenido de [Cornare.gov.co](http://www.cornare.gov.co): <http://www.cornare.gov.co/corporacion/institucional/resena-historica>
- Cornare. (18 de 01 de 2017). *Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare*. Obtenido de [cornare.gov.co](http://www.cornare.gov.co): <http://www.cornare.gov.co/corporacion/division-socio-ambiental/subregiones/151-subregion-valles-de-san-nicolas>
- DANE. (19 de 03 de 2018). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de [dane.gov.co](http://www.dane.gov.co): <http://www.dane.gov.co/index.php/acerca-del-dane/informacion-institucional/generalidades>

- DB. (10 de 01 de 2018). *Deutsche Bahn*. Obtenido de Deutsche Bahn: <https://www.bahn.com/es/view/trenes/larga-distancia/ice-e-ice-sprinter.shtml>
- Desarrollo del VSN. (24 de 04 de 2012). *WSP*. Obtenido de [wsp.com](https://www.wsp.com/es-CO/proyectos/ag-valle-san-nicolas): <https://www.wsp.com/es-CO/proyectos/ag-valle-san-nicolas>
- DNP. (2014). *Base del Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018*. Colombia: Departamento Nacional de Planeación.
- El Carmen de Viboral. (01 de 12 de 2017). *Secretaría de Gobierno El Carmen de Viboral, Antioquia*. Obtenido de [elcarmendeviboral-antioquia.gov.co](http://elcarmendeviboral-antioquia.gov.co): [http://elcarmendeviboral-antioquia.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://elcarmendeviboral-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml)
- El Retiro. (06 de 09 de 2017). *Secretaría de Gobierno El Retiro, Antioquia*. Obtenido de [elretiro-antioquia.gov.co](http://elretiro-antioquia.gov.co): [http://elretiro-antioquia.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://elretiro-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml)
- El Santuario. (13 de 08 de 2017). *Gobernación de El Santuario Antioquia*. Obtenido de [elsantuario-antioquia.gov.co](http://www.elsantuario-antioquia.gov.co): [http://www.elsantuario-antioquia.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.elsantuario-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml)
- El Universal. (2013). El Plan de Ordenamiento Territorial: la brújula que guía al Distrito de Cartagena. *EL UNIVERSAL*, 1-5.
- Energía, M. d. (15 de 4 de 2015). *huella de carbono*. Obtenido de <http://huelladecarbono.minenergia.cl/>
- Estudio poblacional DANE. (14 de 02 de 2015). *Poblacion and Population city*. Obtenido de [poblacion.population.city](http://poblacion.population.city/colombia/rionegro/): <http://poblacion.population.city/colombia/rionegro/>
- Europa, T. (13 de 01 de 2018). *treneseuropa*. Obtenido de [treneseuropa](https://www.treneseuropa.com/trenes-en-paris/): <https://www.treneseuropa.com/trenes-en-paris/>
- Europea, U. (22 de 02 de 2018). *europa.eu*. Obtenido de [europa.eu](https://europa.eu/european-union/topics/transport_es): [https://europa.eu/european-union/topics/transport\\_es](https://europa.eu/european-union/topics/transport_es)
- Frankfurt. (14 de 12 de 2017). *Frankfurt del Meno, Deutschland*. Obtenido de [frankfurt.de](http://www.frankfurt.de): <http://www.frankfurt.de>
- Frankfurt am Main. (2010). *Wirtschaftsstandort Frankfurt am Main Band 3 "Ubicación comercial Fráncfort del Meno Volumen 3"*. Frankfurt del Meno.
- Frankfurt Deutschland. (13 de 08 de 2013). *Frankfurt, Deutschland*. Obtenido de [frankfurt.de](http://frankfurt.de/): <http://frankfurt.de/>

- Geddes, P. (1960). Ciudades en evolución. En P. Geddes, *Ciudades en evolución*. Buenos Aires: Infinito.
- Giraldo, N. F. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal, "El Carmen de Viboral, territorio de vida y paz 2016 - 2019"*. Cemen de Viboral, Antioquia: Alcaldía del Carmen de Viboral.
- Gobierno de Colombia. (2015). *Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI)*. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Goodman, C. (2006). Overview of electric railway system and the calculation of train performance. The 9th Institution of Engineering and Technology Professional Development Course on Electric Traction Systems. *Electric Traction System, Manchester*, pp. 1-24.
- Google Earth. (12 de 05 de 2009). *Google Earth*. Obtenido de earth.google: <https://earth.google.com/web/>
- Guarne. (03 de 07 de 2017). *Secretaría de Gobierno de Guarne, Antioquia*. Obtenido de [guarne-antioquia.gov.co](http://www.guarne-antioquia.gov.co/Paginas/default.aspx): <http://www.guarne-antioquia.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Guide, F. H. (1996). *france-hotel-guide*. Obtenido de france-hotel-guide: <https://www.france-hotel-guide.com/es/paris-transportes.htm>
- Gutiérrez, F. (2016). *Plan de Desarrollo 2016 - 2019, Medellín cuenta con vos*. Medellín, Antioquia: Alcaldía de Medellín.
- Hidalgo, D. (2002). *Transporte sostenible para América Latina: Situación actual y perspectivas*. WRI 10 G Street NE Washington, DC, EEUU.
- International Energy Agency. (4 de 10 de 2009). *International Energy Agency*. Obtenido de <https://www.iea.org>
- Jaramillo, R. (2016). *Plan de desarrollo 2016 – 2019, "juntos si podemos"*. San Vicente Ferrer, Antioquia: Alcaldía de San Vicente Ferrer.
- La Ceja. (01 de 12 de 2017). *Secretaría de Gobierno La Ceja, Antioquia*. Obtenido de [laceja-antioquia.gov.co](http://www.laceja-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml): [http://www.laceja-antioquia.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.laceja-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml)
- La Unión. (25 de 08 de 2017). *Secretaría de Gobierno La Unión, Antioquia*. Obtenido de [launion-antioquia.gov.co](http://www.launion-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml): [http://www.launion-antioquia.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.launion-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml)

- Llopis, G. (12 de 01 de 2017). Los trenes del futuro llegan a Holanda: eléctricos e impulsados por energía eólica. *20 minuto*, págs. P 1-2.
- Lonja de Propiedad Raíz. (15 de 01 de 2018). *La Longa, Antioquia*. Obtenido de lonja.org.co: <https://www.lonja.org.co/conozcanos/quienes-somos>
- Lonja org. (01 de 07 de 2013). *La Lonja, el gremio inmobiliario de Medellín y Antioquia*. Obtenido de La Lonja, el gremio inmobiliario de Medellín y Antioquia: <https://www.lonja.org.co/>
- Madrid, C. R. (2003). *La integración: Un desafío para el transporte público*. Madrid: UITP, International Association of Public Transport.
- Marín, A. S. (2016). *Plan de Desarrollo Guarne 2016 - 2019*. Guarne: Municipio de Guarne.
- Marinilla. (05 de 07 de 2017). *Secretaría de Gobierno Marinilla, Antioquia*. Obtenido de marinilla-antioquia.gov.co: <http://www.marinilla-antioquia.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Márquez, J. W. (2012). El Tranvía eléctrico de Medellín (Colombia) y su aporte al proceso de modernización urbana: 1920-195. *Revista de Historia Regional y Local Volumen 4, Número 7*, p. 129-156.
- Medellín. (21 de 02 de 2017). *eltiempo.com*. Obtenido de eltiempo.com: <http://www.eltiempo.com/colombia/medellin/los-planes-para-mejorar-la-movilidad-en-el-orient-60977>
- Medellín, Á. M. (2005). *Formulación del plan maestro de movilidad para la región metropolitana del valle de Aburrá*. Medellín: Área Metropolitana de Medellín.
- Mercado, D. A. (03 de Abril de 2016). Antioquia quiere ser parte del sistema férreo del país. *EL TIEMPO*, págs. p 1-3.
- Metro de Ámsterdam*. (12 de 01 de 2018). Obtenido de Metro de Ámsterdam: [http://www.metrodeamsterdam.com/metro\\_de\\_amsterdam.php](http://www.metrodeamsterdam.com/metro_de_amsterdam.php)
- Mi oriente. (8 de 08 de 2016). *Mi oriente pagina web*. Obtenido de mioriente.com: <http://mioriente.com/secciones/educacion/programa-universidades-de-paz-se-implementara-en-la-seccional-orient-de-la-u-de-a.html>
- Mi Oriente. (01 de 12 de 2017). Así financiarán el Sistema de Transporte Masivo de Rionegro. *Mi Oriente*, págs. 1-3.
- Ministerio de minas y energía. (17 de 02 de 2018). *Ministerio de Minas y Energía - MinMinas*. Obtenido de minminas: <https://www.minminas.gov.co/>

- Ministerio de Transporte. (2013). *Manual de normatividad férrea parte I: Definición de aspectos técnicos de diseño, construcción, operación, control y seguridad*. Bogotá: MINISTERIO DE TRANSPORTE.
- MME-UPME. (2017). *Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017 - 2022*. Bogotá: MINMINAS.
- Mobility, G. P. (04 de 2016). *german-sustainable-mobility.de*. Obtenido de german-sustainable-mobility.de: [http://www.german-sustainable-mobility.de/wp-content/uploads/2016/04/GPSM\\_About-Us\\_Spanish\\_web.pdf](http://www.german-sustainable-mobility.de/wp-content/uploads/2016/04/GPSM_About-Us_Spanish_web.pdf)
- Morrison, A. (2008). Los Tranvías y Trolebuses de Medellín, Colombia. *tramz*, P 1-3.
- Movilidad, S. d. (9 de 5 de 2016). *medellin.gov.co*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co>
- Muenchen. (03 de 15 de 2001). *Muenchen, Deutschland*. Obtenido de muenchen.de: <https://www.muenchen.de/>
- MVV Muenchen Deutschland. (12 de 10 de 2017). *MVV Muenchen Deutschland*. Obtenido de mvv-muenchen.de: <https://www.mvv-muenchen.de/en/maps-stations/maps/index.html>
- Orientese. (25 de 01 de 2018). *Orientese*. Obtenido de orientese.co: <http://orientese.co/valle-de-san-nicolas/>
- Ospina, E. (2016). *Plan de Desarrollo 2016 - 2019, ¡Porque en La Ceja podemos vivir mejor!* La Ceja: Alcaldía de la Ceja.
- Ospina, H. (2012). *cdim.esap.edu.co*. Obtenido de cdim.esap.edu.co: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/rionegroantioquiapd2012-2015.pdf>
- Palma, J. C. (2004). *Tren de Cercanías*. Sevilla: Secretario de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Pardo, C. F. (2009). *Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina*. Santiago de Chile: Naciones unidas.
- Parlamento Europeo. (01 de 01 de 2018). *Europarlamento*. Obtenido de europarl.europa.eu: [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuld=FTU\\_1.1.1.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuld=FTU_1.1.1.html)

- Pérez, L. (2016). *Plan de desarrollo "Antioquia piensa en grande" 2016-2019*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Plan Vial Rionegro. (2016). *"Plan Vial" municipio de Rionegro, convenio 039 de 2016*. Rionegro: Municipio de Rionegro.
- Planit metro. (10 de 05 de 2014). *Planit metro*. Obtenido de planitmetro.com: [https://planitmetro.com/wp-content/uploads/2014/05/High-Capacity-Transit-Tables-4\\_1\\_4\\_2\\_V3-2-page-spread-cropped.png](https://planitmetro.com/wp-content/uploads/2014/05/High-Capacity-Transit-Tables-4_1_4_2_V3-2-page-spread-cropped.png)
- Ramírez, E. A. (2016). *Plan de Desarrollo 2016 – 2019, "Marinilla somos todos"*. Marinilla, Antioquia: Alcaldía de Marinilla.
- Ramírez, L. A. (2016). *Plan de Desarrollo, "juntos hacemos el cambio"*. El Santuario, Antioquia: Alcaldía de El Santuario.
- RATP. (12 de 04 de 2016). *Ratp France*. Obtenido de Ratp.fr: <https://www.ratp.fr/>
- Rendón, A. J. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 "Rionegro, Tarea de Todos"*. Rionegro: Municipio de Rionegro.
- Revista Impacto. (2018). Para prevenir emergencia ambiental, Medellín endurece el pico y placa para carros y motos. *Semana*, 1-3.
- Revista Metro de Medellín. (2006). *Plan Maestro 2006 - 2030 "Confianza en el futuro"*. Medellín: Revista Metro.
- Revista Semana. (2016). Colombia, La mala hora del transporte masivo en. *Revista Semana*, 1-4.
- Rionegro. (15 de 01 de 2018). *Secretaría de Gobierno Rionegro, Antioquia*. Obtenido de [www.rionegro.gov.co](http://www.rionegro.gov.co): <http://www.rionegro.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Rionegro Patrimonio histórico*. (08 de 02 de 2018). Obtenido de Rionegro Patrimonio histórico: <https://www.facebook.com/rionegropatrimonial/photos/a.1272911442737623.1073741841.1075554769139959/1273576009337833/?type=3&theater>
- San Vicente Ferrer. (12 de 10 de 2018). *Secretaría de Gobierno San Vicente Ferrer, Antioquia*. Obtenido de [sanvicente-antioquia.gov.co](http://www.sanvicente-antioquia.gov.co): [http://www.sanvicente-antioquia.gov.co/informacion\\_general.shtml#ecologia](http://www.sanvicente-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml#ecologia)

- S-bahn Berlin. (12 de 10 de 2018). *S-bahn Berlin, Deutschland*. Obtenido de s-bahn-berlin: <http://www.s-bahn-berlin.de/en/s-bahn-berlin-a-company-of-the-deutsche-bahn-group>
- S-Bahn Muenchen. (10 de 12 de 2017). *S-Bahn Muenchen, Deutschland*. Obtenido de s-bahn-muenchen.de: [http://www.s-bahn-muenchen.de/s\\_muenchen/view/index.shtml](http://www.s-bahn-muenchen.de/s_muenchen/view/index.shtml)
- Semana. (2017). 25.000 pasajeros hora/sentido moverá el tren ligero de Rionegro. *SEMANA*, 1-2.
- Smarter Growth. (10 de 07 de 2013). *Smarter Growth*. Obtenido de smartergrowth.net: <http://www.smartergrowth.net/wp-content/uploads/2013/07/CP-streetcar-fact-sheet-half-page-2013-for-web.pdf>
- Stadtplan Berlin. (10 de 12 de 2017). *Stadtplan Berlin, Deutschland*. Obtenido de stadtplanberlin360.de: <https://stadtplanberlin360.de/strassenbahn-plan-berlin#.WrG7KehubIU>
- Steuart, W. y. (1907). *Street and Electric Railways*. Washington D.C., Estados Unidos de América: Government Printing Office.
- Strassenbahn Muenchen. (03 de 11 de 2017). *Strassenbahn Muenchen, Deutschland*. Obtenido de strassenbahn-muenchen: <http://www.strassenbahn-muenchen.de/>
- Tovar, D. A. (2013). Sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) y desarrollo urbano en América Latina. *Lincoln Institute of Land Policy*, Pag 1-9.
- UE Política Regional. (2011). Conectar Europa: El transporte y la política regional. *Panorama info regio 38*, 1-28.
- UPME. (1 de 12 de 2014). *La Unidad de Planeación Minero Energética* . Obtenido de [upme.gov.co: http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Proy\\_Demanda\\_Mar2015.pdf#search=movilidad](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Proy_Demanda_Mar2015.pdf#search=movilidad)
- UPME. (2014). *Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia, Revisión noviembre de 2014*. Colombia: UPME.
- UPME. (2016). *Proyección de la demanda combustibles líquidos en Colombia*. Colombia: UPME.



Urban rail. (12 de 10 de 2017). *Rail urban*. Obtenido de urbanrail.net:  
<http://www.urbanrail.net/eu/de/f/frankfurt.htm>

Valero, J. (23 de 10 de 2015). *hipertextual.com*. Obtenido de hipertextual.com:  
<https://hipertextual.com/2015/10/autobuses-electricos-ciudad-ahorro>

Wien. (14 de 08 de 2013). *Wien.info*. Obtenido de Wien.info:  
<https://www.wien.info/es/travel-info/transport>