A red train is traveling on an elevated concrete track that runs parallel to a multi-lane highway. The train is moving from left to right. In the background, a dense urban landscape is visible, featuring a mix of low-rise and high-rise buildings. A prominent, very tall skyscraper stands out on the right side of the city. Beyond the city, a range of green mountains is visible under a blue sky with scattered white clouds.

Juan Esteban Santana Díaz
Ivan David Gomez Silva
Samuel Leon Rodríguez
Jimmy Alexander Cerón Martínez

PROYECTO: Monitoreo en tiempo real de trenes mediante tecnologías IoT y comunicación en la nube

IELEIX18- Proyecto Retos Ing. Eléctrica y Electrónica

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROYECTO: Título del Proyecto

SEMESTRE: 2025-20. **FECHA:** 11 de octubre de 2025. **IELE1X18- Proyecto Retos Ing. Eléctrica y Electrónica**

ESTUDIANTE: Juan Esteban Santana Díaz **CODIGO:** 202522363

ESTUDIANTE: Ivan David Gomez Silva **CODIGO:** 202524195

ESTUDIANTE: Samuel Leon Rodríguez **CODIGO:** 202513276

ESTUDIANTE: Jimmy Alexander Cerón Rodríguez **CODIGO:** 202214971

TITULO DEL PROYECTO: Monitoreo en tiempo real de trenes mediante tecnologías IoT y comunicación en la nube

DECLARACION:

1 - Soy consciente que cualquier tipo de fraude en esta proyecto es considerado como una falta grave en la Universidad. Al firmar, entregar y presentar esta propuesta de Proyecto, doy expreso testimonio de que esta propuesta fue desarrollada de acuerdo con las normas establecidas por la Universidad. Del mismo modo, aseguro que no participé en ningún tipo de fraude y que en el trabajo se expresan debidamente los conceptos o ideas que son tomadas de otras fuentes.

2- Soy consciente de que el trabajo que realizaré incluirá ideas y conceptos del autor y el Asesor y podrá incluir material de cursos o trabajos anteriores realizados en la Universidad y por lo tanto, daré el crédito correspondiente y utilizaré este material de acuerdo con las normas de derechos de autor. Así mismo, no haré publicaciones, informes, artículos o presentaciones en congresos, seminarios o conferencias sin la revisión o autorización expresa del Asesor, quien representará en este caso a la Universidad.

Estudiante: Juan Esteban Santana Díaz
Código: 202522363

Estudiante: Ivan David Gomez Silva
Código: 202524195

Estudiante: Samuel Leon Rodríguez
Código: 202513276

Estudiante: Jimmy Alexander Cerón Rodríguez
Código: 202214971



Índice general

1	Exploración del contexto y construcción de la problemática	5
1.1	Contexto del proyecto <i>Metro de Bogotá</i>	5
1.2	Análisis de la problemática	6
1.3	Rol del ingeniero eléctrico y electrónico	7
1.3.1	Resumen	8
2	Formulación y definición del problema	9
2.1	Matriz de priorización	10
2.2	Árbol de problemas	11
2.2.1	Pregunta de investigación	12
2.3	Rol del ingeniero eléctrico y electrónico	12
3	Revisión de antecedentes y referentes	13
3.1	Revisión de antecedentes	13
3.1.1	Interna/local	13
3.1.2	Externas/ internacionales	13
3.1.3	Científicas	14
3.1.4	Comerciales/tecnológicas	14
3.2	Análisis de los resultados	14
3.3	Rol del ingeniero eléctrico y electrónico	16
	Bibliografía	17



1. Exploración del contexto y construcción de la problemática

"La innovación no surge de seguir el camino, sino de construir uno nuevo."

Este capítulo tiene como propósito identificar y delimitar la problemática a nivel global, respaldando su relevancia con una revisión bibliográfica exhaustiva.

Además, se debe justificar la importancia de la problemática seleccionada mediante una clara identificación del contexto y de los factores que influyen en su desarrollo. Durante este proceso, se espera que queden explícitas las siguientes ideas fundamentales:

- Analiza el contexto "Bogotá se prepara para el Metro".
- Identifican actores, dimensiones y factores clave.
- Construye un mapa de la problemática.
- Rol del ingeniero eléctrico y/o electrónico:** Aquí se introduce la mirada integral del ingeniero eléctrico/electrónico como profesional capaz de comprender sistemas complejos, identificando las dimensiones éticas, sociales, ambientales, políticas y económicas que atraviesan las problemáticas tecnológicas.

El lenguaje utilizado debe ser formal y descriptivo, garantizando claridad y rigor académico.

1.1 Contexto del proyecto *Metro de Bogotá*

El proyecto del Metro de Bogotá es muy ambicioso y tiene como objetivo mejorar la movilidad debido a la alta congestión vehicular que tiene la ciudad. Tiene vigencia desde el 20 de octubre de 2020 y se espera que empiece a operar en marzo de 2028.

Actualmente la línea 1 se encuentra en construcción con un trazado de 23.9 km desde el portal de Las Américas hasta la calle 72, mientras que la Línea 2 está en licitación, proyectada para llegar al norte de la ciudad y conectar con Engativá y Suba.

Históricamente se ha planteado la creación de este metro desde 1940, debido a la alta demanda del tranvía que evidenció la necesidad de un sistema de transporte masivo de mayor capacidad. El motivo por el cual se ha retrasado su desarrollo es la falta de gestión y eventos relevantes del pasado como la toma del Palacio de Justicia, el Bogotazo, entre otros. Esto ha llevado a que ningún representante tome la iniciativa para ejecutar el proyecto. Finalmente, después de varios intentos y rediseños (metro subterráneo vs. elevado), se adjudicó el contrato a consorcio chino en 2019, Metro Línea 1 S.A.S., integrado principalmente por China Harbour Engineering Company (CHEC) y Xi'an Metro Company.

Sus actores principales son:

- **El gobierno Nacional**, quien financia el 70 % del proyecto y define lineamientos de política pública. Tiene interés de mejorar la movilidad y mostrar estos resultados en inversión pública, pero con cada cambio de gobierno se generan debates sobre el modelo del metro, opacando la gestión y como consecuencia retrasando las decisiones.

6 Capítulo 1. Exploración del contexto y construcción de la problemática

- **La alcaldía de Bogotá**, quien gestiona y supervisa la ejecución a través de la Empresa Metro de Bogotá (EMB). Tiene como interés cumplir con las promesas de la campaña, así como mejorar y fortalecer el sistema de transporte público, su conflicto es la divergencia política entre los alcaldes y presidentes.
- **Consorcio Metro Línea 1** (China Harbour Engineering Company y Xi'an Metro Company), quienes son los encargados de construir la línea 1. Con el interés de ejecutar la obra con rentabilidad y dentro de los plazos establecidos, pero han tenido retrasos en el cronograma, tensiones políticas con el modelo del proyecto, entre otras.
- **Los ciudadanos**, principales beneficiarios del proyecto. Tienen interés en mejorar la calidad de vida pensando en que este transporte reducirá sus trayectos, gracias a la eficiencia, seguridad y economía. Sin embargo, puede que haya desconfianza por el histórico retraso.
- **Medios de comunicación, academia y entes de control**, quienes vigilan y evalúan la ejecución del proyecto. Tienen el interés de garantizar transparencia y rendición de cuentas, sus tensiones podrían ser las denuncias de corrupción o retrasos que puedan ocurrir entre funcionarios públicos y demás usuarios.

1.2 Análisis de la problemática

Entre los retos que aparecen en temas de transparencia, privacidad y equidad en el acceso encontramos el manejo de los recursos públicos en obras de gran escala como lo es el metro. Estos suelen enfrentar riesgos de corrupción, sobrecostos y favoritismos en licitaciones. Esto requiere auditorías independientes, licitaciones y participación ciudadana. Además de esto, en temas de vigilancia podemos encontrar la implementación de sistemas inteligentes de video vigilancia y redes de datos, pero se deben aplicar regulaciones de protección de datos para evitar el mal uso de información personal. El diseño del sistema también debe garantizar que no solo beneficie zonas céntricas o de alto ingreso, esto también debe incluir zonas marginadas.

- Uno de los impactos que podría tener el metro en las comunidades podría ser desplazamientos forzados si no se implementan políticas de protección social. En cuanto a movilidad, las obras van a generar un impacto serio en la movilidad, generando embotellamientos por todas las zonas donde avanzan las obras.
- En cuanto al efecto al medio ambiente, a largo plazo contribuirá a la descarbonización del transporte al desplazar viajes en autos y buses de combustible fósil. Aunque la eficiencia energética por pasajero-kilómetro es superior a la de vehículos particulares, si se integra con fuentes de energías renovables su impacto ambiental disminuirá.
- El gobierno local y nacional tiene un rol clave en la planificación urbana, gestión del suelo, financiamiento y coordinación interinstitucional. Deben acoplarse con las políticas públicas con objetivos de sostenibilidad, equidad y desarrollo urbano integral.

En cuanto a regulaciones, se requieren marcos normativos en seguridad ferroviaria, medio ambiente, ordenamiento territorial y participación ciudadana.

- Los desafíos que existen en materias de costos, inversión y financiamiento son los costos elevados, pues la construcción de un sistema de metro puede superar los miles de millones de dólares, lo que representa un gran desafío para el presupuesto público. También puede recurrir a organismos multilaterales, asociaciones público- privadas, bonos verdes o impuestos específicos. Los riesgos incluyen sobrecostos por fallas de diseño y retrasos en la obra.
- Los retos específicos en electricidad son garantizar un suministro eléctrico confiable, estable y seguro, también la instalación de sensores, sistema de control automático de trenes (CBTC), control de acceso y mantenimiento predictivo.
- En temas de comunicación, se requieren redes robustas (fibra óptica y radiofrecuencia) para operación, monitoreo y seguridad. También la implementación de sistemas avanzados de gestión de tráfico ferroviario para evitar colisiones y maximizar la frecuencia.
- En cuanto a seguridad, el diseño de protocolos antiincendios, evacuación, video vigilancia, ciberseguridad y protección estructural ante sismos u otros fenómenos.

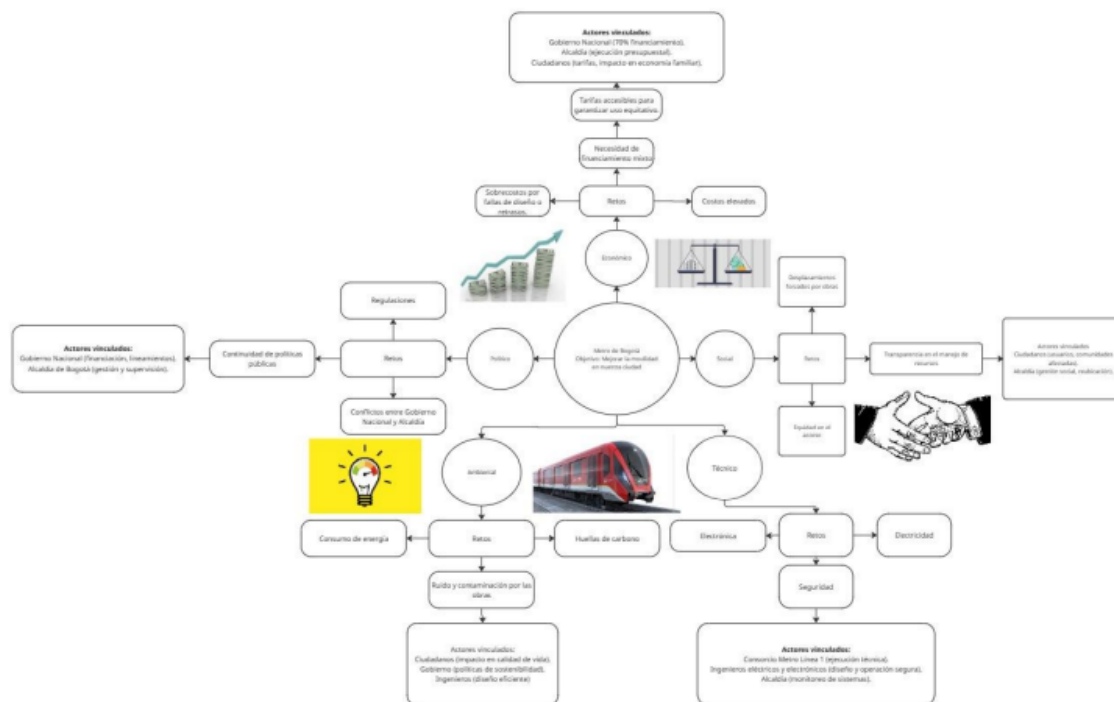


Figura 1.1: Descripción

1.3 Rol del ingeniero eléctrico y electrónico

El ingeniero eléctrico es aquel que idea, diseña, forma y consigue manipular los sistemas eléctricos, como el cableado de un edificio o una gran central eléctrica, mientras que el ingeniero electrónico es aquel que desarrolla componentes y sistemas electrónicos como los circuitos informáticos, las telecomunicaciones, los componentes electrónicos, entre otros. Los ingenieros eléctricos y electrónicos tienen un papel crucial en el proyecto del metro de Bogotá, los primeros se encargan de los sistemas de energía y suministro que alimentan los trenes y las estaciones, electrificación ferroviaria, optimización de los consumos de energía, mientras que los otros desarrollan sensores y sistemas de control en trenes, puertas automáticas y señalización.

Tienen la principal responsabilidad ética de asegurar que los cálculos, diseños y especificaciones técnicas se realicen con rigurosidad y sin manipulación de información, garantizar la seguridad de las personas en caso de haber fallas, aunque también tienen la responsabilidad de crear un sistema en donde estas fallas sean idealmente nulas, exigir el uso de materiales de calidad que eviten accidentes, que no generen contaminación o alto consumo de recursos, prevenir prácticas de corrupción o sobornos, sus soluciones deben estar enfocadas en la reducción del impacto ambiental y la huella de carbono.

Además, pueden ofrecer un punto de vista diferente al considerar el medio ambiente y proponer que en vez de usar combustibles fósiles se use energía eléctrica, logrando así el cuidado del planeta, pero adicional al promover el uso de la electricidad en el sistema, los ingenieros eléctricos y electrónicos podrán ser los protagonistas y tener el control para así optimizar y lograr una mayor efectividad y eficiencia superior a la normal, con sistemas de automatización, monitoreo constante, soluciones rápidas ante las fallas inesperadas y predicciones de estas mismas.

Por lo tanto, el rol que tienen los ingenieros eléctricos y electrónicos es esencial para este proyecto, tanto que pueden ser los líderes del proyecto del metro de Bogotá.

En conclusión, las principales problemáticas son los sobrecostos, variación en divisas y altos requerimientos de financiación internacional, las reiteradas tensiones por cambios de gobierno nacional y distrital que debaten por el diseño y otros aspectos que retrasan el proyecto, se pueden presentar riesgos de desplazamiento urbano por incremento en precios de vivienda y servicios, atrayendo nuevos comercios, nuevos residentes con mayor poder adquisitivo cambiando la identidad cultural de los sectores, se tienen retos de integración tecnológica como recaudo, comunicaciones, señalización, entre otros, impacto por ruido, polvo, demolición de inmuebles, tala de árboles y movimientos de maquinaria pesada, incumplimiento en los cronogramas planteados, los cuales se han extendido hasta el 2028, desafíos en integración tarifaria con los otros sistemas masivos y dificultad en el diseño y montaje de los sistemas eléctricos y electrónicos.

De acuerdo con la problemática expuesta la dimensión más crítica es la económica porque puede llegar a comprometer el presupuesto nacional y distrital, ocasionar retrasos en pagos a contratistas, logrando la pérdida de confianza en los inversionistas y el incumplimiento con las fechas pactadas.

En segundo lugar, tenemos la dimensión política y de gobernanza que genera retrasos en el cronograma porque la falta de continuidad de los gobiernos paraliza la continuidad normal del proyecto.

Con un nivel crítico alto tenemos la dimensión social por el riesgo de la gentrificación, la baja aceptación de la población y la inequidad en el servicio por la dificultad en la integración con el TM/SITP.

Las anteriores dimensiones son las más críticas porque definen la legitimidad, viabilidad y equidad del proyecto, sin ellas no es factible la construcción del metro en Bogotá.

8 Capítulo 1. Exploración del contexto y construcción de la problemática

En un nivel medio, relevante, pero con impacto moderado están las dimensiones ambiental y técnica porque aplicando los estándares avanzados y adecuados se puede mitigar la problemática.

1.3.1 Resumen

El proyecto del Metro de Bogotá representa una iniciativa estratégica para mejorar la movilidad urbana y reducir la congestión vehicular, pero enfrenta múltiples desafíos en su ejecución. Entre las principales problemáticas se destacan los sobrecostos, los retrasos derivados de cambios políticos y las tensiones entre el gobierno nacional y distrital. Estas dificultades evidencian que las dimensiones más críticas son la económica, por su impacto en el presupuesto y la confianza de los inversionistas, y la política, por la falta de continuidad administrativa que afecta la gestión del proyecto.

También resultan relevantes las dimensiones social y ambiental, pues la construcción puede generar procesos de gentrificación, desplazamiento urbano y afectaciones ambientales temporales. Finalmente, el rol del ingeniero eléctrico y electrónico es esencial, ya que su trabajo garantiza la eficiencia energética, la seguridad técnica y la integración tecnológica del sistema, contribuyendo a la sostenibilidad y viabilidad del metro a largo plazo.



2. Formulación y definición del problema

ALBERT EINSTEIN

Imagination is more important than knowledge.

Esta sección guía a los estudiantes en la identificación, análisis y selección de un problema relevante, utilizando herramientas de análisis estratégico para garantizar un enfoque estructurado y bien fundamentado. El objetivo es asegurar que el problema seleccionado tenga un impacto significativo y sea viable para su abordaje dentro del proyecto.

En este capítulo, los estudiantes deben:

- (a) Delimitar y elegir un problema específico a partir del mapa de problemáticas.
- (b) Justificar la selección con base en impacto, relevancia y viabilidad.
- (c) Formular una pregunta de investigación.
- (d) Reflexionar en torno al rol del ingeniero eléctrico y/o electrónico: Reflexionar sobre cómo focalizar un problema sin perder de vista la problemática amplia; discutir implicaciones éticas (¿a quién afecta o beneficia esa decisión?).

2.1 Matriz de priorización

Problema	Tiempo de implementación (15%)	Costo de implementación (25%)	Impacto al medioambiente (20%)	Personas beneficiadas (30%)	Intervención de la ingeniería (10%)	Promedio
Comunicación entre vías	4	3	4	5	5	4.15
Integridad a las personas	4	4	5	3	1	3.60
Atención especializada a personas discapacitadas	5	4	5	1	1	3.15
Contaminación por el tipo de energía a usar	3	2	2	5	3	3.15

Figura 2.1: Matriz de priorización

Para abordar el problema, primero se hizo una matriz de priorización en donde 4 problemas se evaluaron en torno a criterios éticos, sociales, tecnológicos, entre otros. Sin embargo, todos los problemas fallaban en un criterio a excepción del problema: Comunicación entre vías, siendo el claro ganador del problema que se abordará en este trabajo.

2.2 Árbol de problemas

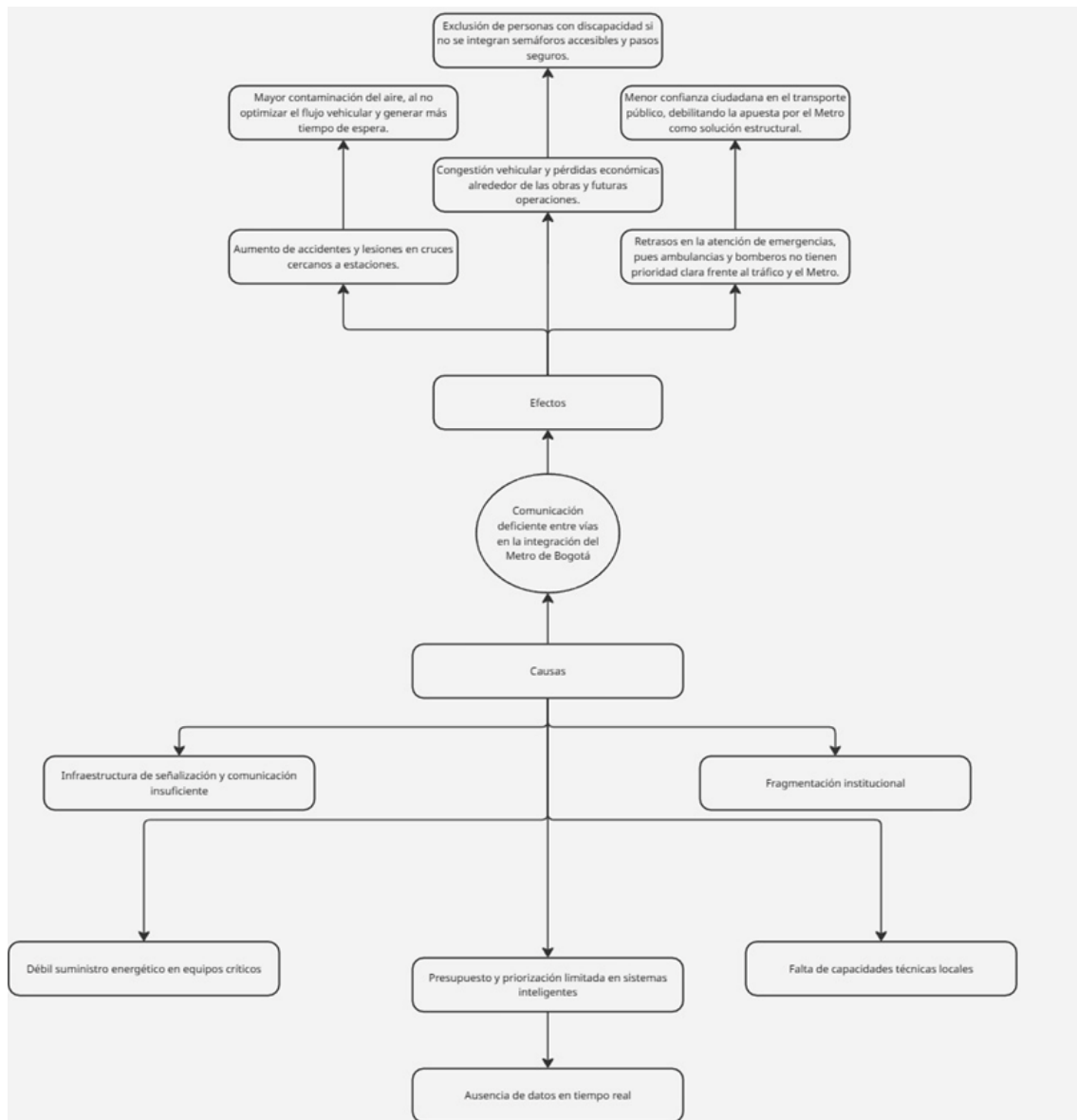


Figura 2.2: Árbol de problemas

El árbol de problemas es una herramienta que ayuda a entender de manera ordenada cómo se relacionan un problema principal, sus causas y sus consecuencias. En el caso del Metro de Bogotá, el problema central identificado fue la comunicación deficiente entre las vías. Esta situación se origina, entre otros factores, por una infraestructura limitada y por la falta de articulación entre las instituciones. A partir de ahí se desencadenan efectos visibles como la congestión, los accidentes y la desconfianza de la ciudadanía. Este gráfico nos permite apreciar la interconexión entre todos los elementos y deja claro que la manera más efectiva de enfrentar la situación es atender las causas para así disminuir sus efectos. Los principales actores que identificamos son:

- Empresa Metro de Bogotá: Responsable de la operación del sistema y de su integración con los demás medios de transporte.
- Secretaría Distrital de Movilidad: Entidad encargada de regular el tránsito y coordinar la movilidad entre diferentes modos.
- TransMilenio y SITP: Operadores que deben ajustar sus rutas y horarios en sintonía con el Metro para asegurar una mejor conexión.
- Enel-Codensa (operador eléctrico): Proveedor del suministro energético necesario para el funcionamiento de semáforos y sistemas electrónicos asociados.
- Ciudadanía y usuarios, incluyendo personas con discapacidad: Principales destinatarios del servicio y, al mismo tiempo, quienes más experimentan los efectos de las problemáticas en la movilidad.

Oportunidades de intervención identificadas:

- Creación de semáforos inteligentes sincronizados con el paso del Metro para aumentar la seguridad.
- Uso de energía de respaldo a través de paneles solares y baterías, para alimentar los semáforos.
- Creación de un centro de control integrado que concentre y articule la información del Metro, TransMilenio, SITP y del tránsito vehicular.
- Semáforos inteligentes que ajusten su tiempo de verde según la cantidad de vehículos presentes en cada vía.

2.2.1 Pregunta de investigación

Gracias al árbol, se puede evidenciar que tanto causas como efectos tienen un impacto significativo principalmente en los ámbitos sociales y tecnológicos. Ya que la falta de los datos en tiempo real, infraestructura de señalización, comunicación insuficiente, entre otros, causan la congestión vehicular, el aumento de accidentes, la desconfianza de los ciudadanos, entre otros. Por lo tanto, se planteó la siguiente pregunta: ¿Cómo se puede diseñar un sistema de comunicación entre las vías que asegure el funcionamiento seguro del Metro de Bogotá?

2.3 Rol del ingeniero eléctrico y electrónico

El rol del ingeniero eléctrico y electrónico juega un papel importante y esencial en la materialización del proyecto del metro de Bogotá, no solo desde la dimensión técnica, sino también desde su responsabilidad ética, social, política y ambiental. Su participación influye directamente en la confiabilidad, seguridad, eficiencia y sostenibilidad del sistema de transporte de la ciudad del siglo XXI. En cuanto la dimensión técnica podemos destacar que el diseño, integración e implementación de sistemas eléctricos y electrónicos del metro recaen principalmente en este perfil profesional. Entre sus responsabilidades destacan:

- El diseño e implementación de redes eléctricas de media y baja tensión para alimentar las subestaciones y estaciones.
- El desarrollo de sistemas de señalización y control para la operación automática o semiautomática de los trenes (CBTC, ATP, ATO).

- La integración de energías limpias, como paneles solares o transición a energías que puedan disminuir la huella de carbono.

En cuanto a la dimensión ética social el ejercicio profesional del ingeniero debe estar guiado por principios éticos fundamentales como la transparencia, la equidad y el respeto por la dignidad humana. A destacar sobre todo que la selección de tecnologías, contratistas y proveedores debe ser objetiva y basada en criterios sólidos, debe actuar como garante de la calidad, evitando conflictos de intereses.

El ingeniero también debe conocer y aplicar correctamente la legislación y normatividad vigentes. En el país, los siguientes marcos son especialmente relevantes

- Código eléctrico colombiano (NTC 2050) que establece los requisitos técnicos para instalaciones eléctricas seguras.
- Regulación CREG los cuales son normas técnicas, económicas y operativas para la prestación del servicio de energía.
- La Ley 143 de 1994 que regula el régimen del servicio público de electricidad.

El desarrollo de proyectos de gran envergadura como el metro tiene implicaciones ambientales significativas, y como ingenieros eléctricos y electrónicos debemos liderar iniciativas que reduzcan el impacto negativo.

Como la huella de carbono, a través de la eficiencia energética y el uso de fuentes limpias, además de un diseño sostenible, una buena gestión de residuos electrónicos durante la fase de construcción y operación, promoviendo su correcta disposición o reciclaje.

En conclusión, el rol de nosotros como ingenieros eléctricos y electrónicos es cumplir un rol clave en el desarrollo del metro de Bogotá, no solo por nuestra capacidad técnica en sistemas eléctricos y automatización, sino también por nuestra responsabilidad ética, social y ambiental. Nuestro trabajo debe garantizar un sistema eficiente, seguro y sostenible, alineado con una normatividad vigente y orientado al bienestar de la ciudadanía. Mas allá de la ingeniería, nuestro aporte es fundamental para lograr una infraestructura inclusiva, equitativa y con bajo impacto ambiental.



3. Revisión de antecedentes y referentes

Albert Szent-Györgyi

Research is to see what everybody else has seen, and to think
what nobody else has thought.

Esta sección busca que los estudiantes construyan una base sólida de conocimiento a través del análisis de antecedentes científicos, tecnológicos y comerciales relevantes al problema seleccionado. Específicamente se desarrollará:

- (a) Revisión de experiencias previas locales, internacionales, científicas y comerciales.
- (b) Identificación de oportunidades de innovación.
- (c) Rol del ingeniero eléctrico y/o electrónico: ¿De qué manera un ingeniero eléctrico o electrónico puede garantizar la transparencia intelectual en su trabajo, diferenciando claramente entre información técnica, comercial y científica al momento de proponer o justificar una solución?

3.1 Revisión de antecedentes

Escriba una breve introducción explicando las fuentes consultadas, las ecuaciones de búsqueda aplicadas y los criterios utilizados para seleccionar la información más relevante.

3.1.1 Interna/local

Presente sus resultados utilizando tablas similares a la Tabla 3.4

Coches disponibles			
Fabricante	Modelo	Clase	Motor
BMW	Serie 3	Berlina	Diésel
Peugeot	508	Berlina	Gasolina
Chrysler	Voyager	Monovolumen	Gasolina
Land Rover	Defender	Todoterreno	Gasolina

Tabla 3.1: Coches disponibles

3.1.2 Externas/ internacionales

Presente sus resultados utilizando tablas similares a la Tabla 3.4

Coches disponibles			
Fabricante	Modelo	Clase	Motor
BMW	Serie 3	Berlina	Diésel
Peugeot	508	Berlina	Gasolina
Chrysler	Voyager	Monovolumen	Gasolina
Land Rover	Defender	Todoterreno	Gasolina

Tabla 3.2: Coches disponibles

3.1.3 Científicas

Presente sus resultados utilizando tablas similares a la Tabla 3.4

Coches disponibles			
Fabricante	Modelo	Clase	Motor
BMW	Serie 3	Berlina	Diésel
Peugeot	508	Berlina	Gasolina
Chrysler	Voyager	Monovolumen	Gasolina
Land Rover	Defender	Todoterreno	Gasolina

Tabla 3.3: Coches disponibles

3.1.4 Comerciales/tecnológicas

Presente sus resultados utilizando tablas similares a la Tabla 3.4

Coches disponibles			
Fabricante	Modelo	Clase	Motor
BMW	Serie 3	Berlina	Diésel
Peugeot	508	Berlina	Gasolina
Chrysler	Voyager	Monovolumen	Gasolina
Land Rover	Defender	Todoterreno	Gasolina

Tabla 3.4: Coches disponibles

3.2 Análisis de los resultados

Externas/internacionales

European Union Agency for Railways (ERA): Documento oficial de la ERA que establece los requerimientos funcionales del sistema ETCS. De ERTMS.net Portal especializado en señalización ferroviaria europea, con fichas técnicas actualizadas. Se tomó la ficha de niveles ETCS porque explica la evolución tecnológica y la interoperabilidad, lo que resulta muy útil para comparar las diferentes fases de implementación.

UITP (Union Internationale des Transports Publics): Reporte mundial sobre la automatización de metros, con datos estadísticos y aplicaciones de CBTC. Es relevante porque ofrece un panorama global del uso de CBTC en sistemas de transporte.

Thales Group: Comunicado de prensa sobre la implementación de ETCS en Tailandia, un ejemplo reciente de aplicación internacional. Muestra un caso real de despliegue, destacando los beneficios y también las limitaciones algo muy útil para nuestro proyecto.

Ecuaciones: Al inicio del trabajo generamos varias ecuaciones de búsqueda, pero no logramos encontrar fuentes dentro de i-rus ni Google academic por ende hicimos la investigación sin hacer uso de ecuaciones de búsqueda debido a este problema.

Criterios de evaluación de las citas: Relevancia directa con el tema: se dio prioridad a fuentes que tratan de manera específica el ETCS, el CBTC y la automatización ferroviaria.

Autoridad de la fuente: se eligieron únicamente organismos internacionales (ERA, UITP) y proveedores líderes en el sector (Thales, ERTMS.net).

Actualidad: se seleccionaron documentos recientes (2018–2024). La única excepción fue la especificación oficial de la ERA (2007), es una fuente de bastante importancia.

Acceso abierto: todas las fuentes consultadas están disponibles en línea para su libre acceso.

Aplicabilidad a Bogotá: las referencias permiten extrapolar los hallazgos al caso del metro urbano y a la posible interoperabilidad con redes regionales.

Económicas / Tecnológicas. Repositorio Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas: Tesis Académica sobre el uso de la tecnología Trenchless

Repositorio Institucional Seneca - Universidad de los Andes: Trabajo de grado – pregrado sobre la estructura de proyectos de infraestructura del metro de Bogotá

Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas: Tesis y disertaciones académicas sobre Generación de un modelo digital para el proyecto de la primera línea del metro de Bogotá

Repositorio Institucional - Universidad de La Salle: tesis de licenciatura sobre la demanda energética y reducción de emisiones de CO2 por la implementación del Sistema Metro de Bogotá.

Ecuaciones: Al inicio del trabajo usamos varias ecuaciones de búsqueda usando sobre todo Google academics, del cual use varios trabajos de tesis. Criterios de evaluación de las citas Relevancias directas con el tema: relacionados con el proyecto Metro de Bogotá en aspectos técnicos como: (resiliencia estructural, modelado digital, reducción de emisiones, uso de tecnologías de construcción como trenchless). Autoridad de las fuentes: las fuentes tienen alta autoridad académica ya que provienen de repositorios institucionales de grandes universidades del país.

Actualidad: se seleccionaron documentos recientes (2020 - 2025).

Acceso abierto: todas las fuentes consultadas están disponibles en línea para su libre acceso

Aplicabilidad a Bogotá: Los hallazgos de las referencias analizadas pueden proyectarse al desarrollo del Metro de Bogotá y a su potencial integración con redes de transporte regionales.

Científicas

N. A. Azeez, A. A. Abubakar y S. Misra (2017). En su estudio sobre la comunicación inalámbrica en sistemas ferroviarios IoT, comparan tecnologías como Wi-Fi, ZigBee, LoRa y LTE. Concluyen que LoRa y LTE son más adecuados para trenes en movimiento por su mayor cobertura.

Relevancia: Permite proyectar la viabilidad de comunicación estable en el futuro Metro de Bogotá, sobre todo en túneles y zonas urbanas congestionadas donde otras tecnologías fallan.

J. Wan et al. (2019). Presentan un modelo híbrido edge + fog + cloud computing que mejora la velocidad de procesamiento y reduce la dependencia de la nube. Relevancia: Aplicable al Metro de Bogotá para integrar sensores en trenes y estaciones (edge), nodos intermedios en terminales (fog) y análisis en la nube para mantenimiento predictivo y pronóstico de demanda.

H. S. Maghdid, A. S. Ghafoor y A. M. Sadeeq (2025). Explican cómo el IoT en transporte sostenible mejora eficiencia, seguridad y experiencia del usuario, aunque identifican riesgos de ciberseguridad y altos costos en países en desarrollo.

Relevancia: Inspirador para implementar sensores de ocupación, integración con semáforos inteligentes y aplicaciones móviles que den información en tiempo real a los usuarios del metro.

M. A. Dulebenets et al. (2022). Realizan una revisión integral sobre IoT en transporte ferroviario, destacando su uso en mantenimiento predictivo, seguridad y optimización mediante Machine Learning y Big Data.

Relevancia: Bogotá puede empezar con un sistema IoT modular para el metro (monitoreo de vibraciones, axle counters, análisis en la nube) que optimice el mantenimiento y la planeación a largo plazo.

Ecuaciones Se usaron ecuaciones de búsqueda en Google Scholar, combinando términos como:

(IoT railway.^{OR} "wireless communication railway.^{OR} .^{ed} fog cloud transportation") AND ("predictive maintenance.^{OR} railway safety.^{OR} real-time monitoring") AND ("metro systems.^{OR} urban rail") ("metro system.^{OR} urban rail.^{OR} .^{ed} elevated metro") AND (communication protocol.^{OR} "train-to-station communication.^{OR} inter-train communication.^{OR} railway signaling") AND (real-time information.^{OR} "passenger experience.^{OR} "transit tracking.^{OR} .^{ar}ival prediction") AND ("GTFS.^{OR} "Google Maps integration.^{OR} "smart public transport.^{OR} "transit API") AND (Bogotá OR Colombia)

Con esta estrategia se obtuvieron artículos relevantes publicados entre 2017 y 2025. Criterios de evaluación de las citas científicas

Relevancia directa: Todas las fuentes abordan tecnologías aplicadas al transporte ferroviario (IoT, comunicación inalámbrica, edge/fog/cloud computing).

Autoridad de la fuente: Artículos publicados en revistas y conferencias indexadas (IEEE, Sustainability, Al-Qadisiyah Journal).

Actualidad: Se seleccionaron publicaciones recientes (2017–2025), que recogen tendencias actuales en transporte inteligente.

Acceso abierto: Los documentos están disponibles en línea.

Aplicabilidad a Bogotá: Los hallazgos permiten extrapolar conceptos tecnológicos internacionales al contexto del Metro de Bogotá, fortaleciendo la seguridad, eficiencia y confiabilidad del sistema.

Internas/locales Metro Bogota: La página oficial del metro de Bogotá nos cuenta cómo serán los trenes y con qué sistemas o aplicaciones contará. Nos sirve para saber cómo implementar nuestras ideas y mejorar el sistema actual.

Transmilenio: La página oficial del transmilenio nos cuenta que implementó un sistema de ver buses en tiempo real, sin embargo, este no sirve, por lo que nuestro sistema implementará este funcionamiento de una mejor manera.

Metro de Medellín: La página oficial del metro de Medellín nos cuenta sobre el sistema de señalización en sus trenes, nuestra idea es implementarlo y mejorarlo con nuestras ideas para el metro de Bogotá.

Bixtia: Bixtia nos habla sobre el IoT, un sistema que nos permitirá la implementación de nuestras ideas en el metro de Bogotá.

Ecuaciones: Al inicio del trabajo generamos varias ecuaciones de búsqueda, pero no logramos encontrar fuentes dentro de i-rus ni Google academic por ende hicimos la investigación sin hacer uso de ecuaciones de búsqueda debido a este problema.

Criterios de evaluación de las citas: Relevancias directas con el tema: Son fuentes directamente relacionadas con el metro de Bogotá.

Autoridad de las fuentes: Las fuentes son directamente del gobierno, por lo que tienen la máxima autoridad sobre el asunto.

Actualidad: Se seleccionaron documentos recientes (2021 - 2025).

Acceso abierto: Todas las fuentes están abiertas y disponibles para todo público.

Aplicabilidad a Bogotá: Las fuentes son sobre Bogotá o Colombia y sus sistemas de transporte o tecnológicos, por lo que se pueden implementar a nuestro sistema fácilmente y mejorar el metro de Bogotá significativamente.

3.3 Rol del ingeniero eléctrico y electrónico

Un ingeniero eléctrico o electrónico puede lograr el objetivo de ser intelectualmente transparente en su cometido realizando una separación correcta entre los tipos de información que podrían ser aplicadas. Desde el punto de vista técnico, el ingeniero deberá presentar datos objetivos, resultados de simulaciones, resultados de los cálculos e incluso normas entre otras cuestiones útiles para demostrar la viabilidad de su propuesta, por lo que, en este sentido, la información es estrictamente técnica. Desde el punto de vista científico, el ingeniero deberá citar los estudios, las investigaciones y/o las evidencias experimentales que sirvan para fundamentar los argumentos de las decisiones que adopte, reconociendo las fuentes que consultó y evitando hacer pasar como propios hallazgos que proceden de trabajos ajenos. Finalmente, en lo que se refiere a lo comercial, el ingeniero se verá obligado a dejar claro cuáles elementos dan respuesta a intereses del mercado, costos, proveedores o conveniencia económica diferenciándolos de las argumentaciones estrictamente técnicas. Al respecto, el ingeniero refuerza la ética profesional pero también fomenta la confianza y credibilidad en su trabajo, asegurando que las decisiones que tome vengan fundamentadas por hechos contrastables y no por intereses ocultos.



Bibliografía