



**Propuesta de Requerimientos para Transición Energética de Vehículos
Intermunicipales en Rutas Menores de 200km a 5 Años**

Autores

Adriana Marcela Muñoz Aguillón

Saul Andrés Vega Pérez

Cristian David Galarza Daza

Profesor

Emmanuel Elberto Ortiz Ruíz

Universidad EAN

Facultad de ingeniería

Ingeniería Industrial

Bogotá

2024

Resumen

La transición energética en el transporte cada vez se va convirtiendo en un requisito fundamental para los retos ambientales actuales donde los diferentes sistemas de transporte deben adaptarse, independientemente del mecanismo de transición y de las etapas de ejecución. En el caso del transporte intermunicipal o interurbano, este proceso de transición parece estar ralentizado y a la espera de mejoras en el desarrollo de dichas tecnologías.

Aspectos como la autonomía de los vehículos, los costos de adquisición, la infraestructura de la red de carga entre ciudades y municipios son otros grandes desafíos para resolver para hacer viable el desarrollo de la movilidad eléctrica.

En este proyecto hacemos una aproximación inicial reflexionando en los requerimientos esenciales para desarrollar la implementación de movilidad eléctrica en un escenario posible que sean rutas con menos de 200 km considerando los atributos de costo, rutas, ciudades y recorridos para presentar una solución de interés para el sector.

Palabras clave: transición energética, energías limpias, rutas cortas,

Tabla de Contenido

Resumen.....	2
1. Introducción	4
2. Objetivos	5
2.1 Objetivo general.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. Definición del Problema	6
4. Justificación.....	7
5. Análisis de Requerimientos	9
5.1 Requerimientos Económicos	9
5.2. Requerimientos Operativos	12
6. Marco de Referencia.....	14
7. Análisis de restricciones	18
7.1 Ambientales	18
7.2 Económicas.....	18
7.3 Legales	19
7.4 Salud y seguridad	20
8. Metodología Para la Selección y Desarrollo de la Solución	21
8.1 Soluciones Ilógicas	21
8.2 Comparación con hechos conocidos	22
9. Costos.....	24
10. Modelo de prototipo para propuesta de requerimientos	31
11. Conclusiones	32
Lista de Referencias	33

1. Introducción

En el contexto colombiano, la necesidad de la transición hacia fuentes de energía más sostenibles en el sector del transporte se ha vuelto mucho más urgente. Colombia está presentando desafíos significativos en términos de contaminación del aire, congestión vial y dependencia de combustibles fósiles, lo que resalta la importancia de abordar estos problemas mediante la adopción de tecnologías más limpias y eficientes. Por esta razón, los vehículos intermunicipales que operan en rutas menores de 200 km representan un segmento crucial para la implementación de medidas de transición energética.

Este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar una propuesta integral de requerimientos para la transición energética de los vehículos intermunicipales en Colombia, con un enfoque específico en rutas cortas durante los próximos cinco años. La propuesta que presentamos se encuentra basado en un análisis exhaustivo de las condiciones actuales del transporte intermunicipal en el país, incluyendo la infraestructura disponible, las tecnologías de propulsión alternativas y las regulaciones vigentes.

En el contexto colombiano se considerarán aspectos a nivel nacional como la geografía, la disponibilidad de recursos naturales y las políticas gubernamentales relacionadas con la movilidad y la sostenibilidad ambiental. Además, se analizarán las implicaciones socioeconómicas y ambientales de la transición energética en el país, con el objetivo de identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y la competitividad del sector del transporte intermunicipal. Según la unidad de planeación minero energética UPME . 2019 “se consideran aspectos relevantes para la selección de ciudades colombianas sujetas a un sistema de transición

energética para transporte Número de habitantes, Políticas y objetivos que favorecen la implementación, modificaciones en planes de movilidad y POT, crecimiento del parque de vehículos, avances del nivel de integración con otros actores clave en el mercado de vehículos eléctricos”.

Para finalizar, este trabajo aspira a proporcionar una guía práctica y realista para la implementación de medidas concretas que impulsen la transición hacia un transporte más sostenible en Colombia, contribuyendo así a la mitigación de los impactos ambientales y al desarrollo de una economía más limpia y resiliente.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Crear un modelo que permita implementar para un proceso de transición energética en el transporte público de rutas intermunicipales de menos de 200 km en Colombia, que contribuyan a los objetivos de cambio climático del año 2030.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Definir los requerimientos básicos para la implementación de un proceso de transición energética en términos técnicos, económicos en infraestructura y logísticos

2.2.2 Comparar las tecnologías de buses disponibles en el mercado nacional e internacional, considerando aspectos como autonomía, capacidad de pasajeros, velocidad de carga, costo de adquisición y operación

2.2.3 Proponer la implementación del modelo que permita mejorar los requerimientos de transición energética para los vehículos intermunicipales en rutas

menores de 200km de acuerdo con la viabilidad operativa y financiera basado en los hallazgos realizados.

3. Definición del Problema

Actualmente los temas ambientales constituyen un capítulo obligado a tratar en cualquier escenario político y social. Con una población que cada vez aumenta y demanda más recursos la necesidad de mitigar el impacto generado para atender las necesidades es cada vez más predominante, uno de estos campos es la movilidad la cual ha permitido conectar más regiones y acortar distancias.

Sin embargo, según Gil M. 2021. “El transporte es el principal consumidor energético final en América latina y el Caribe consumiendo un 30% de la oferta primaria de energía de la región”.

En concordancia con lo anterior la CEPAL afirma que “se podrían evitar casi 80 millones de toneladas de CO₂ al año debidas al transporte basado en fósiles y las emisiones de vehículos particulares y de buses representan en promedio el 17% de las emisiones nacionales del sector transporte”.

Las soluciones de movilidad basadas en combustibles fósiles se han utilizado, pero también generan un impacto ambiental de grandes proporciones.

Esta situación ha permitido que la industria automotriz tenga un interés en desarrollar en palabras de Gil M. 2021 “una industria emergente de vehículos verdes en América Latina y el Caribe”.

Según Gil M. 2021 “México y Brasil son los grandes polos de fabricación y exportación de vehículos producen el 10% de los vehículos del mundo y alrededor de medio millón de vehículos al mes” y resalta el papel de Colombia y Santiago de Chile como los países que cuentan con la mayor flota de buses eléctricos de la región con 1165 unidades y 789 unidades respectivamente convirtiendo a Colombia

en un interesante escenario para una transición energética del transporte público”. Esta afirmación ratifica el potencial con el que cuenta Colombia en el desarrollo de modelos de transporte con transición energética.

Por otra parte, según el ministerio de ambiente Colombia se comprometió bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio Climático a reducir a 2030 el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a la línea base proyectada

Lo anterior supone un gran desafío teniendo en cuenta las condiciones en infraestructura para desarrollar un proyecto de transporte eléctrico intermunicipal ya que la infraestructura necesaria para garantizar la autonomía de una flota de buses que permita realizar rutas intermunicipales cercanas a la ciudad requiere todo un proyecto de movilidad verde desde la ingeniería.

El problema por resolver en el presente estudio se resume en la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los requerimientos en una solución de transición energética en transporte para realizar rutas menores de 200km intermunicipales?

4. Justificación

La transición energética en el transporte público de pasajeros toma fuerza en el desarrollo de las ciudades y localidades urbanas y los focos de atención sobre los procesos de descarbonización se centran en lograr que las ciudades capitales sean las protagonistas de dicho cambio; es el caso de Bogotá, en donde se proyecta que para el 2035 el 100% de la flota será eléctrica (Pettigrew, 2023), de seguir este proceso habrá un impacto en el mercado de vehículos que traerá impactos y afectaciones a las empresas de transporte intermunicipal.

Las regulaciones y políticas públicas están orientadas fundamentalmente en incentivar la adquisición de vehículos de “energías limpias” y desincentivar la adquisición de vehículos de combustión interna con un énfasis de penalización en vehículos Diesel, como lo muestra la publicación de la Ley 1972 de 2019, en donde declara que *“a partir del 1° de enero de 2023, las fuentes móviles con motor ciclo diésel que se fabriquen, ensamblen o importen al país deben cumplir con los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes al aire correspondientes a tecnologías Euro VI”*, así las cosas, los costos de adquisición de buses Diesel se irá incrementando en la medida que las restricciones aumentan (Ley 1972 de 2019).

Si el transporte intermunicipal no toma medidas para implementar un proceso de transición energética, podrá afectar seriamente la rentabilidad y la prestación de servicio, es importante que se avancen en investigaciones y modelos para encontrar la hoja de ruta más apropiada para incorporarse al proceso de transición energética y reducción de la huella de carbono.

Lo anterior hace que nuestro proyecto tenga pertinencia y relevancia ya que a través de él buscamos generar ese acercamiento desde un análisis preliminar y una evaluación integral del contexto actual en el que se encuentra el transporte intermunicipal, tomando en cuenta aspectos particulares de esta modalidad como lo son: Su modelo de negocio, los costos operativos, el punto de equilibrio, los actores involucrados dentro del sistema de transporte, la capacidad instalada de la flota...etc.

5. Análisis de Requerimientos

5.1 Requerimientos Económicos

El aspecto económico en el desarrollo del transporte es un eje fundamental para la correcta consecución del mismo, debido a que esta es esencialmente una actividad económica, en primer lugar porque la generación del mismo y su producción tiene un costo, en segundo lugar, porque su actividad también tiene como búsqueda un beneficio o lucro por parte de los generadores y en tercer lugar, su actividad genera desarrollo económico al entorno e involucrados directos e indirectos, es por ello que un proceso de transición energética demanda que en este caso, se tenga muy en cuenta el aspecto económico para determinar el grado de sostenibilidad en la implementación del mismo, los tópicos más importantes dentro del ámbito económico son:

5.1.1 Costos de producción

Los costos de producción hacen referencia a todos aquellos rubros e implicaciones que tienen generar la prestación del servicio de transporte, aspectos como el combustible, la mano de obra, el rodamiento, las llantas, costos financieros...etc.

COSTOS DE OPERACIÓN MENSUAL		
TIPO DE COSTOS	TIPO DE BUS	
	BUS ELECTRICO	BUS COMBUSTION
COSTOS FIJOS	\$ 2.668.866	\$ 3.148.235
SEGUROS	\$ 500.054	\$ 286.879
SALARIOS	\$ 1.486.404	\$ 828.116
PARQUEADERO	\$ -	\$ 413.310
IMPUESTOS	\$ -	\$ 380.000
MANTENIMIENTO	\$ 682.408	\$ 1.239.930
COSTOS VARIABLES	\$ 1.862.014	\$ 4.979.369
COMBUSTIBLE	\$ 942.078	\$ 4.133.100
LLANTAS	\$ 585.769	\$ 610.269
LUBRICANTES	\$ 301.667	\$ 158.000
FILTROS	\$ 32.500	\$ 78.000
TOTAL	\$ 4.530.880	\$ 8.127.604

Figura 1. Costo de operación mensual bus eléctrico . Extraído de

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77355/DI1053830119.2019.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

5.1.2. Costos Fijos

Los costos fijos de transporte son aquellos que no varían independientemente del volumen o cantidad de producción. Entre estos costes se encuentran la mano de obra, gastos de amortización, servicios, seguros.

5.1.3. Costos Variables de producción

Estos son aquellos costos que dependen de la producción del servicio, en el caso del transporte, estos costos reúnen: El combustible, o en nuestro caso carga eléctrica, los costos de rodamiento (mantenimiento preventivo), costos de despacho, peajes, llantas...etc.

5.1.4. Determinación del punto de equilibrio

La determinación del punto de equilibrio en el transporte nos permite identificar cual es el mínimo de movilización que se debe tener para lograr cubrir los costos de producción del servicio

El desarrollo de todos estos tópicos se da dentro de un marco de entendimiento de los modelos a economía escala, en donde se busca que los

costos fijos se puedan distribuir en los costos variables a través de un incremento en el volumen de producción (Truyols, 2007), así mismo, es importante identificar si los elementos de una economía a escala son viables dadas las restricciones de costos que puede traer la vinculación de flota de energías alternativas.

5.1.5 Requerimientos Técnicos de la Flota

Para abordar la transición energética de vehículos intermunicipales en rutas menores de 200 km en Colombia en los próximos 5 años, es importante reconocer los tipos de vehículos a utilizar. Se priorizará el uso de autobuses y vans eléctricas, siguiendo las recomendaciones del Plan Nacional de Desarrollo del Sector de Transporte 2019-2030 del Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2020). Estos vehículos ofrecen la ventaja de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. Además, los vehículos a gas natural comprimido (GNC) pueden ser una opción viable, según el análisis de viabilidad técnica y económica realizado por Pachón y Márquez (2021) en el Corredor Cali-Yumbo.

Los tipos de vehículos a utilizar y los requisitos de infraestructura, es fundamental considerar el impacto económico y ambiental de la transición energética en el sector del transporte intermunicipal en Colombia. Según el análisis de factibilidad técnica y económica realizado por Rincón y Rodríguez (2019), la adopción de vehículos eléctricos y de GNC puede contribuir significativamente a la reducción de los costos operativos a largo plazo y a la disminución de la dependencia de combustibles fósiles. Estos beneficios se traducen en una mayor sostenibilidad económica y ambiental para las ciudades y regiones donde se implementen estas soluciones.

5.2. Requerimientos Operativos

Este quizá es uno de los aspectos que implican mayor complejidad en su desarrollo, porque de este derivan y dependen directa o indirectamente los aspectos de selección de rutas, elección del vehículo apropiado y la capacidad de que el modelo económico pueda ser sostenible. En el caso del transporte, la operación está asociada con la incorporación de cuatro elementos fundamentales que son esenciales para la realización del transporte (Pettigrew, 2023):

5.2.1 *La Demanda*

Esta está definida por los pasajeros cuyo deseo de viaje esté asociado con el origen - destino asociado, la estimación de la demanda se logra a través de estudios de demanda, bien sea conociendo los datos de movilización vigentes de los que ya se tenga registro o por encuestas de origen - destino a una muestra de la población a movilizar.

5.2.2 *La Vía*

El tamaño de la vía, las condiciones de la misma, la velocidad de tránsito que esta ofrece y el volumen del tráfico por el cual se transita nos permite determinar los tiempos de viaje, en nuestro caso requerimos ubicar una vía que cuente con los requerimientos técnicos de tránsito fluido con velocidad media superior a 60 km/h.

5.2.3. *La Oferta (Cantidad de vehículos)*

La tipología de vehículo a seleccionar va definida por los datos de demanda por unidad de tiempo que se logre determinar en la estimación de la demanda, dependiendo del volumen de pasajeros se puede determinar la capacidad de ocupación y por lo tanto la capacidad que el vehículo deba tener, en este caso al tratarse de rutas menores de 200 km el vehículo no requiere condiciones

especializadas del confort que aplica para rutas de largo trayecto, de igual manera, la programación de los mismos, los horarios y despachos óptimos que se deben generar para el cubrimiento completo del servicio.

5.2.4. Conductor:

Este es fundamental para la realización del transporte, porque su incorporación presenta restricciones al modelo que se desea plantear, los tiempos de conducción permitidos, los tiempos de conducción por jornada laboral y de igual manera, la cantidad de conductores requerida para la operación óptima del servicio.

5.2.5 Rutas

En cuanto a los requisitos de las ciudades y rutas para la implementación de esta solución, se deben considerar varios aspectos. La infraestructura de carga juega un papel fundamental, por lo que se recomienda la implementación de estaciones de carga rápida y semi-rápida a lo largo de las rutas, como mencionan Rincón y Rodríguez (2019). Estas estaciones garantizarán la disponibilidad de energía para los vehículos eléctricos. Además, se deben establecer políticas de incentivo, como exenciones de impuestos y tarifas reducidas en peajes y estacionamientos, para fomentar la adopción de vehículos de energía limpia. Es importante acompañar estas medidas con programas de capacitación y sensibilización para conductores y personal de mantenimiento, como parte de la estrategia integral de transición energética en el sector del transporte.

Por otro lado, es necesario abordar los desafíos y barreras que pueden surgir durante el proceso de transición energética en el transporte intermunicipal. Entre estos desafíos se encuentran la disponibilidad de financiamiento para la adquisición de vehículos y la capacitación del personal para el mantenimiento y operación de tecnologías nuevas. Sin embargo, con políticas públicas adecuadas y una

colaboración efectiva entre el gobierno, el sector privado y la sociedad civil, es posible superar estos obstáculos y avanzar hacia un sistema de transporte más limpio y eficiente en Colombia.

6. Marco de Referencia

De acuerdo con Gil M. 2021. “El sector transporte consume el 36% de la oferta primaria de la región y la gasolina el diesel y etanol continúan siendo los principales combustibles en el uso del transporte.

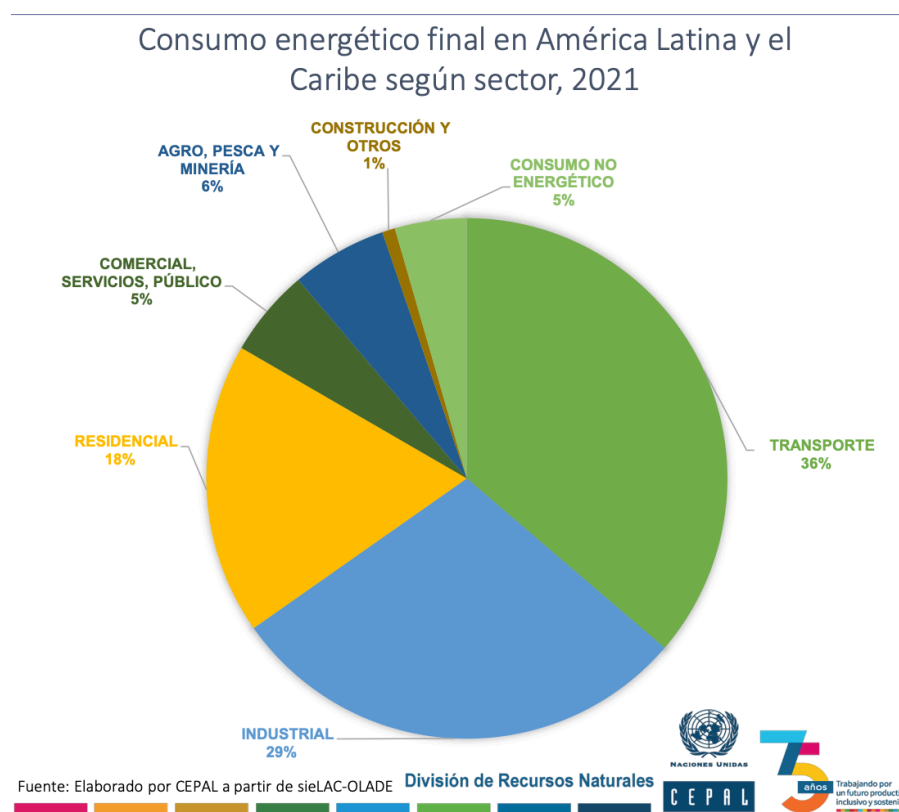


Figura 2. Consumo energético final en América Latina Imagen tomada de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/electromovilidad_repdominicana.pdf

Lo anterior emite una alarma a nivel mundial acerca de las implicaciones del uso de transporte, teniendo en cuenta que es una necesidad para la población para la libre movilización, entonces un invento que ha sido tan útil para la humanidad

también ha sido el encargado de liderar las listas negras en cuanto a continuación se refiere.

Por lo anterior la migración del sector automotriz hacia tecnologías limpias constituye todo un reto para gobiernos y empresarios con el fin de establecer alianzas público-privadas que favorezcan la transición energética en el sector del transporte.

Según Amezcua J. 2017. “La unión europea reconociendo esta alarmante situación se comprometió a reducir sus emisiones de carbono en un 20% para el 2020 con dos estrategias principales a. incentivar y promover el uso de energías renovables como fuentes de generación hasta alcanzar un 20% de participación en la canasta energética y un 10% en el sector transporte”

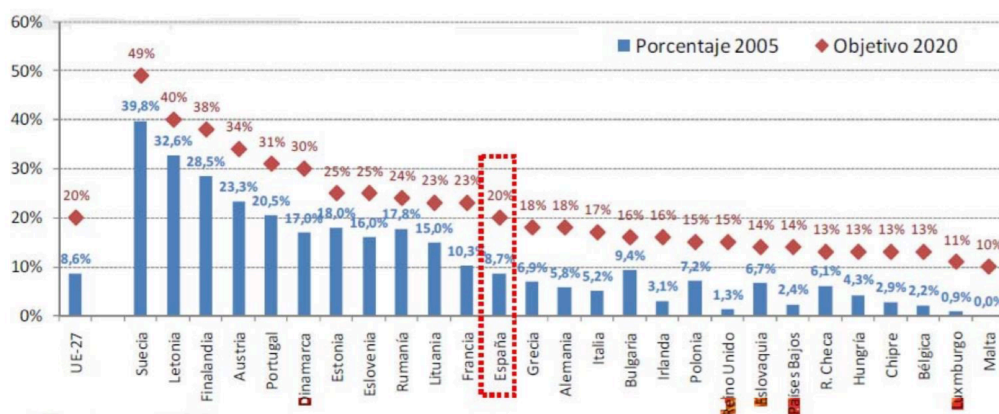


Figura 3. Distribución de metas entre países de la unión europea extraído de

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ce42becb-4ac3-459d-8bef-9a1270c36114/content>

Igualmente, según Amézquita J 2021. Menciona el aumento en ventas de los carros eléctricos y una duplicación de las mismas posterior a la generación de incentivos, para el 2015 paso de 500k a 1M de vehículos en el 2018.

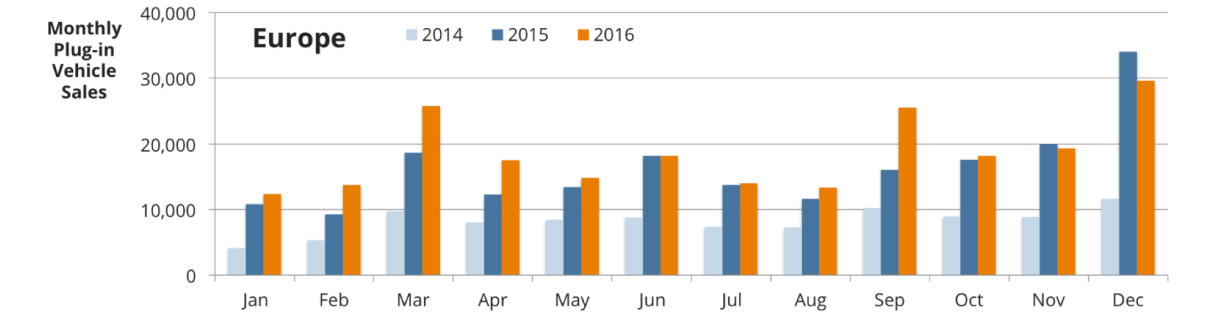


Figura 4. Ventas mensuales de vehículos eléctricos en Europa extraído de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ce42becb-4ac3-459d-8bef-9a1270c36114/content>

En el contexto colombiano, en el gobierno Duque según lo enunciado por su ministra de transporte Angela María Orozco en la convención de las naciones unidas sobre el cambio climático 2021. resaltó “Otra de las estrategias del sector transporte para ayudar a alcanzar la reducción de emisiones de GEI en un 51% definida por el presidente Duque es la promoción de la transición eléctrica. En este punto, en 2019 se promulgó la Ley de Movilidad Eléctrica, de la cual el presidente fue coautor siendo senador, que establece incentivos y metas claras para la promoción de la movilidad eléctrica en el país, como que la tarifa para el impuesto sobre vehículos automotores eléctricos no podrá superar el 1% del valor comercial del vehículo, descuentos en la revisión técnico-mecánica y el SOAT, y excepciones a las restricciones vehiculares. Además, ahí se establece que para el 2035 el 100% de los vehículos adquiridos en los sistemas de transporte masivo deben ser eléctricos o cero emisiones”.

Con esta política asociada a los beneficios de la implementación de la transición eléctrica y como estudiantes en una universidad que fomenta la sostenibilidad como su máximo pilar, deseamos proponer un modelo que permita establecer los requerimientos necesarios para la transición eléctrica en rutas menores de 200km en el territorio colombiano.

Actualmente de acuerdo con la Andi 2023. “Ya operan en el país dos buses de servicio intermunicipal impulsados a gas natural, una apuesta por mejorar la calidad del aire y reducir la huella de carbono, disminuir los costos de operación y mantenimiento de los vehículos” en este tipo de transición afirman se disminuye cerca de un 64% de la emisión de gases contaminantes en comparación con un vehículo tradicional.

Ahora bien estos buses son el primer paso en el transporte intermunicipal para el uso de vehículos amigables con el medio ambiente, en una ruta Bogotá – Sogamoso de aproximadamente 200Km se establece un primer ejemplo de transición energética.

Es importante anotar que según Reyes A. “la tarea de implementar la transición energética en Colombia enfrenta importantes desafíos que deben superarse, como la falta de capacidad técnica y financiera para asumir estos proyectos, así como la ausencia de una infraestructura adecuada (Ramos et al., 2017). Por esta razón, resulta fundamental identificar los costos macroeconómicos que conllevaría este proceso de transición para Colombia. Comprender el impacto en la economía nacional permitiría tomar decisiones de política pública e inversiones informadas, garantizando que la transición se lleve a cabo de manera rentable y sostenida. De esta forma, se podrá asegurar que los recursos económicos disponibles se destinen eficientemente hacia el desarrollo de tecnologías y prácticas más adecuadas para lograr una transición energética exitosa”. Lo anterior confirma la necesidad de elaborar alianzas publico privadas que facilite la implementación generando infraestructura adecuada para su desarrollo.

7. Análisis de restricciones

7.1 Ambientales

La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Colombia es un imperativo ambiental y climático. En 2020, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible según el informe de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Colombia presentado en el marco del Acuerdo de París, “el país se compromete a reducir sus emisiones en un 20% para el año 2030, con una meta adicional condicionada que podría aumentar la reducción hasta un 30% con apoyo internacional”.

La contaminación del aire es otro desafío ambiental significativo en Colombia, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. Según un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), varias ciudades colombianas, incluyendo Bogotá y Medellín, figuran entre las ciudades con niveles de contaminación del aire que superan los límites recomendados, lo que tiene consecuencias negativas para la salud pública (OMS, 2020).

El impacto ambiental de los combustibles fósiles utilizados en el transporte también es una preocupación importante. “El Ministerio de Minas y Energía de Colombia, el transporte es responsable de aproximadamente el 42% del consumo de energía y el 54% de las emisiones de GEI en el país, con los combustibles fósiles como principal fuente de energía en el sector”, según evidenciaron el Ministerio de Minas y Energía, (2020), en su investigación.

7.2 Económicas

Los costos asociados con el combustible son una preocupación clave para los operadores de vehículos intermunicipales en Colombia. Los precios fluctuantes

del petróleo pueden tener un impacto significativo en los costos operativos. Según datos del Banco de la República de Colombia (2020); “los precios del petróleo han experimentado volatilidad en los últimos años, lo que puede generar incertidumbre en cuanto a los costos de operación para los operadores de transporte”.

Los costos de mantenimiento también son un factor importante a considerar. Los vehículos eléctricos tienden a requerir menos mantenimiento que los vehículos de combustión interna debido a la simplicidad de sus sistemas de propulsión. En (2019) la Universidad Nacional de Colombia realizó un estudio reflejando que “los vehículos eléctricos pueden tener costos de mantenimiento hasta un 50% más bajos en comparación con los vehículos de combustión interna, lo que puede resultar en ahorros significativos a lo largo de la vida útil del vehículo”.

Los incentivos y subvenciones ofrecidos por el gobierno colombiano también pueden influir en la viabilidad económica de la transición hacia vehículos más limpios. De hecho, “el gobierno ha implementado incentivos fiscales, exenciones de impuestos y programas de subsidios para promover la adopción de vehículos eléctricos y la infraestructura de carga en el país”. (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

7.3 Legales

Cuando se estudian las barreras legales que puede tener un proyecto de transición energética en Colombia la primera a relucir son las dificultades para adquirir licencias ambientales relacionados con proyectos asociados a la generación de energía como el hidrogeno que si bien es cierto, se contempla como una solución energética no se tienen normalizados los umbrales para considerar bajas emisiones de este elemento. Según Sanchez V. 2023. “ no existen términos de referencia para poder adquirir una licencia ambiental, esto impide que se lleve a cabo un proyecto

completamente regulado, lo que llevaría a frenar su ejecución. Igualmente, “se necesitan más incentivos para la adaptación tecnológica industrial y la definición de instrumentos para la ampliación de la infraestructura”,

Por otra parte en concordancia con el fondo nacional para la naturaleza (WWF), 2022. Actualmente nuestra legislación tiene restricciones fiscales actuales del país que impide planes de transición de transporte subsidiada por el gobierno como ocurre en países europeos como Francia.

7.4 Salud y seguridad

De acuerdo con Blog CNAE. 2020. “Aunque los fabricantes diseñan y construyen los tanques de acumulación de hidrógeno para que sean muy resistentes, y se incluyen diferentes sistemas de seguridad para detectar fugas de hidrógeno, para ciertos conductores puede pesar en contra de este tipo de coches que el hidrógeno sea muy inflamables, la tecnología de este tipo de transporte en el ámbito público debe estudiarse cuidadosamente debido a que al ser altamente inflamable puede conllevar cierto riesgo a los pasajeros que deben contemplarse

También debe considerarse la fuente de donde se obtiene la “energía limpia” ya que varios procesos de acuerdo con Ferrer S. 2016 menciona la importancia que tiene el origen del combustible a la hora de medir sus efectos para que la solución no genere más problemas que el problema inicial, de esta forma la afirmación “Los vehículos eléctricos son la mejor y peor opción en cuanto a la calidad del aire se refiere”, explicada por el investigador de la Universidad de Minnesota (EEUU) y coautor del estudio de *PNAS*, Christopher Tessum, tiene un sentido de justa proporción de las soluciones y su impacto.

Y es que todo depende de si la electricidad proviene del carbón o de una energía renovable. Aunque el estudio no tuvo en cuenta los coches de hidrógeno,

Tessum está convencido de que su impacto sobre la calidad del aire también dependería de cómo se produjera esta materia prima.

Así pues una restricción clara son los procesos de obtención de las energías limpias para que lo que no emita el vehículo se escape por las plantas de producción tanto de las energías como de los mismos vehículos.

8. Metodología Para la Selección y Desarrollo de la Solución

Realizando una revisión general de las diferentes soluciones planteadas para desarrollar un sistema de movilidad sostenible en el transporte intermunicipal que reduzca los impactos ambientales que genera el transporte por vehículos de combustión interna, la gran mayoría de estas soluciones están orientadas al transporte urbano, esto no solamente a nivel nacional sino también a nivel mundial.

Los análisis y estudios desarrollados en esta materia se han enfocado en encontrar mecanismos de solución a los sectores más afectados por la contaminación que ocasiona el transporte y este es en las ciudades. El Banco Mundial ha apoyado a 32 países en el desarrollo de su transición a movilidad eléctrica apoyándolos financieramente, técnica y conceptualmente (From Gridlock to Green Transport, s. f.2024); revisando cada uno de estos proyectos y gestiones de apoyo, todos están orientados a la transición energética en el transporte urbano.

8.1 Soluciones Ilógicas

Se identifican igualmente soluciones de transición energética que a la luz de los autores del presente trabajo resultan ilógicas toda vez que su diseño, y ejecución requieran toda una disrupción en los sistemas de transporte de la

actualidad con unos costos elevados, la solución recibe el nombre de “transporte publico giroscopico”. Una idea de la compañía Dahir Insaat. En palabras de Alvarez R. 2017. “ Se trata de una forma visionaria de transporte urbano que reemplazará autobuses, tranvías y trolebuses, el cual consiste en una especie de disco que se mueve gracias a un mástil extensible que circula sobre una especie de raíl (riel). Esto permitiría que el disco pudiera cambiar de altura para pasar por debajo de puentes o pasos elevados”.

Así mismo, no es viable desarrollar una solución basada en el método cualitativo, ya que por la naturaleza de este tipo de investigaciones no permite generar ponderaciones estadísticas dependiendo de ciertos factores y contextos del entorno, ni obedece a una situación puntual que podamos evaluar dentro de un marco delimitado, por el contrario, en este caso es un contexto de patrones recurrentes y reiterativos que si bien puede tener variaciones estacionarias, su impacto y afectación es permanente y de frecuencia diaria.

8.2 Comparación con hechos conocidos

Se revisan soluciones de transición energética según los principios de conectividad para países con características similares al nuestro, según UPME.2019.

Venezuela	Sao Paulo	Chile
Catenarias Alimentación directa desde línea de contacto. Mediante las catenarias se realiza alimentación directa a los motores con voltajes entre 750v y 1500v	Ultracapacitores Dispositivos electroquímicos capaces de sustentar una densidad e energía inusualmente alta desde un equipo de carga con alta potencia	Al igual que en Venezuela utiliza el mismo sistema de catenarias de dos cables son llamados Trolebus

		
	<p>Generadores a bordo</p> <p>Tecnología híbrida existen dos entradas de energía al motor provenientes del sistema eléctrico y del sistema convencional</p>	
		

Tabla 1 Comparación de sistemas en el mundo. Elaboración propia

Por lo anterior, el desarrollo de modelo de prototipo experimental no es viable puesto que requeriría altos costos de inversión, tanto en infraestructura eléctrica, inversión de vehículos, mano de obra...etc.

Por tal razón el esquema fundamental de este proyecto integrador es establecer los requerimientos esenciales para desarrollar un sistema de transporte en función de transición energética, tomando en cuenta los elementos más relevantes y ajustando la evidencia y experiencias desarrolladas en el sistema urbano al esquema intermunicipal, de igual manera, identificando qué alternativas se han desarrollado en el transporte intermunicipal sostenible diferentes al eléctrico que puedan servir para que dichos requerimientos estén más próximos a una realidad viable en términos de sostenibilidad.

9. Costos

Para el caso que nos ocupa de este proyecto, la estimación de los costos está determinada por los costos de operación del vehículo dentro de la ruta determinada, los costos de operación son todos aquellos gastos que permiten el funcionamiento de la operación, según el Ministerio de Transporte el cálculo de los costos de transporte se clasifican en Costos Fijos, Costos Variables y Costos de Capital, a partir de estas variables es por donde se determinan las tarifas de las diferentes rutas:

9.1 Costos Variables (CVK):

Los costos variables hacen referencia a aquellos costos que varían dependiendo de las diferentes condiciones de operación (Castellanos Ramírez, 2009), generalmente estos precios se establecen por kilómetro, dentro de ellos encontramos:

9.1.3 Combustible

Que convencionalmente se define como una mezcla o combinación de varios elementos que en contacto con el oxígeno generan calor para ser transformado en muchos casos en trabajo, para el caso que nos concierne este rubro será adjudicado a la carga eléctrica que se encuentra almacenada en las baterías.

- Capacidad promedio bus eléctrico: 98.9 Kw
- Costo Kwh \$797.72
- Total: \$ 78.895

El valor del precio del Kw de energía se toma a partir de la información suministrada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en tomando como base fundamental lo reportado en el último trimestre del 2023. En la tabla a continuación se definen el valor suministrado por las diferentes compañías:

EMPRESA	VALOR
VATIA	714,78
EPM	729,6
TRANSACCIONES ENER	733,49
ENERCO	747
PEESA	768,6
ITALENER S.A.	779,77
Enel X	782,5
ENERBIT	792,98
BIA ENERGY	803,06
ENEL COLOMBIA	810,28
RUITOQUE	827,9
ENERTOTAL	916,39
QI ENERGY	964,1

Es importante partir de la base que dentro de un marco de operación base se debe tener acceso a puntos de recarga en las ciudades de origen y destino o en su defecto en la electrolinera más cercana al punto de despacho

9.1.2 Costos de Mantenimiento

- Lubricantes: En el caso de lubricantes se usarán aceite sintético para partes de motor, aceite para dirección hidráulica y liquido refrigerante que se debe cambiar cada 20.000 km
- Llantas: Se usará como referencia llanta Michelin MultiZ Rin 19.5 para 6 llantas con cambio cada 16 meses o 250.000 km



Michelin X® MULTI Z - 19.5

Fuente: [MICHELIN X® MULTI Z - 19.5 | MICHELIN TRUCK TIRES \(michelinman.com\)](https://www.michelinman.com)

- Mano de Obra: El valor de la mano de obra en mantenimiento preventivo oscila en \$1.200.000 por intervención en este caso cada 20.000 km
- Administración y Margen de Ganancia

Para que un bus pueda prestar servicio de transporte intermunicipal, debe generalmente estar afiliado a una empresa autorizada por el Ministerio de Transporte para prestar el servicio, generalmente los contratos que se firman con estas empresas cobran un % de administración y un margen de rentabilidad que sumarán el 30% adicional del costo de operación

9.1.3 Gastos de Movilización:

Correspondiente al valor de peajes y alimentación del conductor

Costos Variables	
Concepto	Valor
COM	\$ 394,48
LUBI	\$ 110,00
LLANTAS	\$ 56,84
COSTO MANTENIMIENTO	\$ 60,00
FONDO REPOSICION	\$ 50,30
ADMIN 20%	\$ 1.005,96

ALOJAMIENTO	
TOTAL CV	\$ 1.677,57

Fuente Elaboración Propia

9.2 Costos Fijos (CFi)

Son aquellos costos que se presentarán dentro del negocio haya o no haya traslado u operación del vehículo, generalmente se calculan por el valor/día o valor/mes.

Revisión Tecno mecánica

SOAT: Anual \$867.500

Póliza Todo Riesgo: Prima Anual: \$33.705.500 Tomado con MAPFRE

Seguros y cálculo actuarial de 2023

Servicios (GPS): Valor Mensual \$92.305

Parqueadero: Valor aproximado de \$400.000

Salario Conductor: Acumulado de un conductor y un relevo ocasional en SMMLV \$2.773.800

Prestaciones Sociales: Estimadas en \$800.389

Dotación: Son 3 dotaciones al año \$124.100

Costos Fijos


Concepto	Valor
Revisión Técnico- mecanica	\$ 31.478
SOAT	\$ 72.292
POLIZA TODO RIESGO	\$ 2.808.800
FONDOS AHORRO	
IMPUESTO VEHICULOS	\$ -

	\$
WIFI	59.312
	\$
GPS	92.835
	\$
SAYCO Y ACINPRO	8.000
	\$
PARQUEADERO	400.000
	\$
SALARIO	2.773.888
	\$
AUXILIO TRANSPORTE	196.852
	\$
AUX MOVILIZACION	1.661.208
	\$
PRESTACIONES SOCIALES	800.389
	\$
DOTACION	124.100
	\$
TOTAL	9.029.154

Fuente Elaboración Propia

9.3 Costo de Capital (CK):

El costo de capital está vinculado directamente con la depreciación que el vehículo tiene una vez adquirido y se determina con el valor de compra del mismo diferido por la cantidad de tiempo estimado para depreciarse, que generalmente son de 5 a 8 años dentro del negocio de operación de transporte, tomaremos como referencia el valor en Tablas de Fasecolda del bus BYD AT300 Modelo 2023 con precio de \$926.800.000, sumado al valor del aire acondicionado marca Transaire para bus de 40 pasajeros por \$46.000.000 para un total de \$972.900.000

BYD BC89S01 [INT] AT 300KW ABS ELEC 	11170001 Código Homólogo 11103001
	Estado, Modelo Nuevo, 2023
	Clase Bus / buseta / microbus
	Categoría, Tipología Pesado pasajeros, Bus tipo intermunicipal
	Marca BYD
	Referencia BC89S01 [INT]
	Referencia 2 AT 300KW ABS
Referencia 3 ELEC	
Valor Sugerido \$926,800.000	

Fuente <https://www.fasecolda.com/guia-de-valores/index.php>

El valor del costo del capital se calcula por el valor de la depreciación mensual, en este caso por 10 años y se le agrega el valor del IPC vigente dejando en el caso actual un valor de \$ 10.134.375 mensuales más los intereses de un crédito por financiación nos da un valor mensual de tomando como base la tasa de interés de 2024 13% anual \$15.455.000 y un valor diario de \$986.413, si agrupamos estos costos en su valor por km tendremos: \$3.288

Si adjuntamos estas variables y las agregamos en el costo de operación

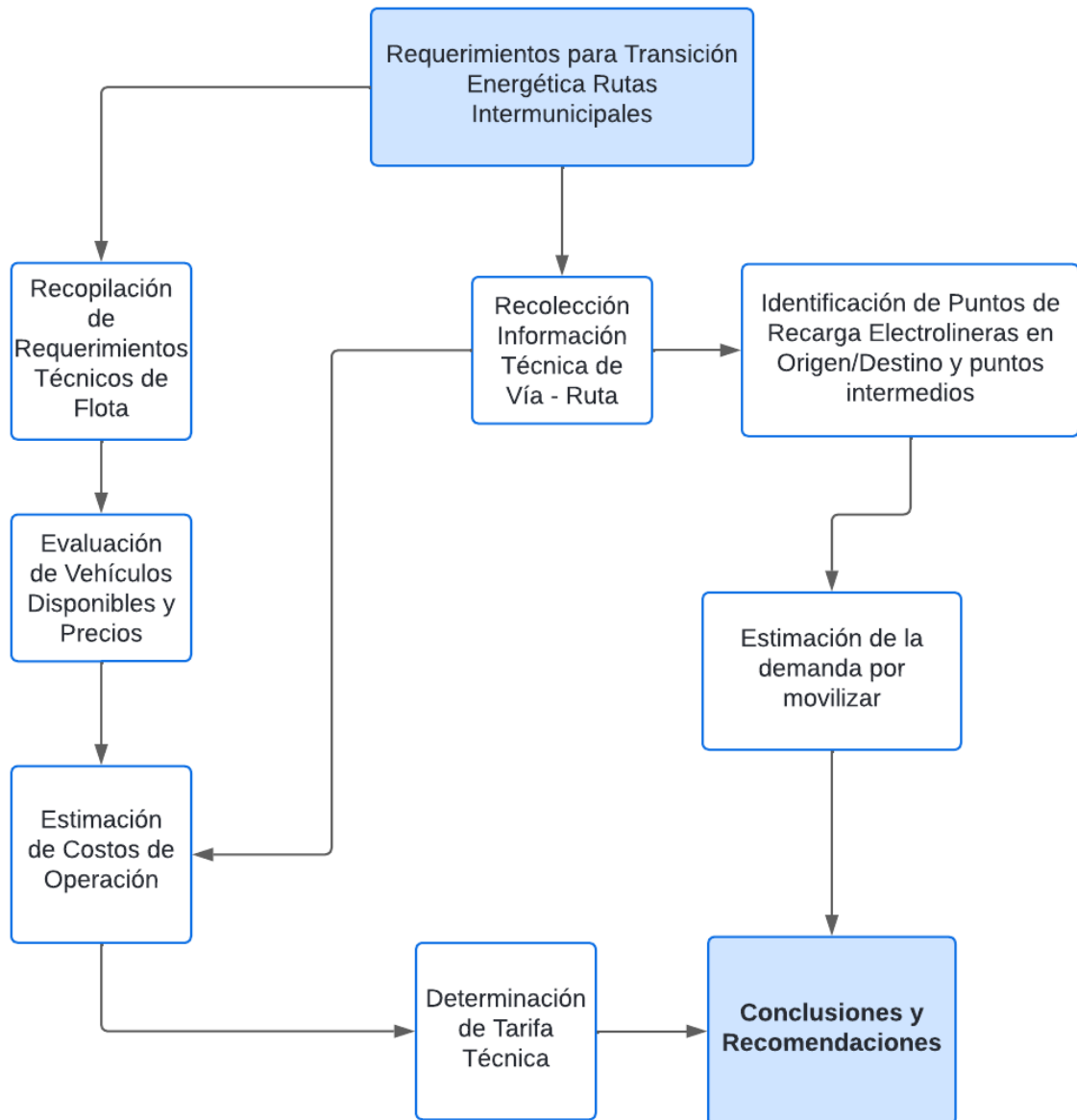
ITEMS	\$/Km	TOTAL
1. COSTOS VARIABLES		
Combustible /Kwh	\$ 394,00	\$ 78.800,00
Llantas	\$ 56,84	\$ 11.368,42
ACEITE, FILTROS Y LUBRICANTES	\$ 110,00	\$ 22.000,00
2. MANTENIMIENTO		

REPUESTOS	\$	300,00	\$	60.000,00
Servicios de Mantenimiento y Reparación	\$	321,00	\$	64.200,00
3. COSTOS FIJOS				
Salarios	\$	740,86	\$	148.172,00
Seguros	\$	569,64	\$	113.928,00
Garaje	\$	10,03	\$	2.006,47
Otros (GPS, Fondos).	\$	20,29	\$	4.058,00
Costos Operativos	\$	522,30	\$	104.460,00
4. OTROS				
Costo Capital	\$	2.372,00	\$	657.600,00
Rentabilidad	\$	2.171,28	\$	434.256,32
5. ADMINISTRACION				
Administración	\$	542,82	\$	108.564,08
TOTALES:	\$	7.719	\$	1.820.045

Las rutas de 200 km tienen una ocupación media de 15 a 18 personas lo que implicaría que un vehículo en condiciones normales estaría ofreciendo una tarifa de por pasajero de \$121.336 lo que implicaría un poco más del doble de lo que actualmente se ofrecen por rutas de este kilometraje.

10. Modelo de prototipo para propuesta de requerimientos

Finalmente acorde a lo investigado a lo largo del presente documento, nuestra propuesta de requerimientos es la siguiente:



Fuente Elaboración propia

11. Conclusiones

- Evaluar y controlar los costos de producción es esencial para garantizar la viabilidad económica de la transición energética en el transporte intermunicipal.
- La priorización de vehículos eléctricos y de gas natural comprimido (GNC) puede reducir significativamente los costos operativos a largo plazo y las emisiones contaminantes.
- Es fundamental planificar según la demanda de pasajeros, las condiciones de las vías y la disponibilidad de vehículos y conductores para asegurar la eficiencia del servicio.
- Establecer una red de estaciones de carga y políticas de incentivos fiscales será clave para facilitar la adopción de vehículos limpios y superar los desafíos financieros y de capacitación durante esta transición.
- Las soluciones existentes para la movilidad sostenible se centran principalmente en el transporte urbano, tanto a nivel nacional como global.
- Desarrollar un modelo experimental para la transición energética en el transporte intermunicipal resulta inviable debido a los altos costos de inversión requeridos. En cambio, es crucial explorar alternativas sostenibles que puedan adaptarse al contexto intermunicipal de manera efectiva.
- Los costos de operación de un vehículo intermunicipal teniendo en cuenta el análisis de costos presentado en el informe, sería excesivamente altos y no presentarían grandes beneficios.

Lista de Referencias

Álvarez R. 2017. Transporte público giroscópico: la disparatada idea que quiere cambiar para siempre la forma de viajar. Xataka. Extraído de <https://www.xataka.com/vehiculos/transporte-publico-giroscopico-la-disparatada-idea-que-quiere-cambiar-para-siempre-la-forma-de-viajar>

Amézquita J. 2017. Eficiencia y sustitución energética en el sector transporte. Extraído de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ce42becb-4ac3-459d-8bef-9a1270c36114/content>

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). 2023. El transporte terrestre inicia su camino a la transición energética. extraído de <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17512-el-transporte-terrestre-inicia-su-camin>

Banco de la República de Colombia. (2020). Reportes de Economía Regional. Recuperado de <https://www.banrep.gov.co/es/publicaciones-investigaciones/boletin-economico-regional-ber>.

Castellanos Ramírez, A. (2009). Manual de gestión logística del transporte y distribución de mercancías. Universidad del Norte. Extraído de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaean/69792>

Congreso de la República de Colombia. (2019). Ley 1972 de 2019. “Por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud, al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones “. Extraído de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1972-2019.pdf>

Fondo Nacional para la naturaleza (WWF).2022. Recomendaciones para la política de transición energética de Colombia. Extraído de https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/transicio-n-energetica_b8_c6.pdf

From Gridlock to Green Transport: Supporting Electric Mobility to Meet the Demand for Passenger Transport. (s. f.). World Bank. Recuperado 7 de abril de 2024, de <https://projects.worldbank.org/en/results/2024/03/21/from-gridlock-to-green-transport-supporting-electric-mobility-to-meet-the-demand-for-passenger-transport>

Gil M. 2021. Transición energética y electrificación del transporte público en América Latina y el Caribe. CEPAL. Extraído de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/electromovilidad_repdominicana.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. Colombia se compromete a reducir el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030. 2015. Extraído de <https://www.cancilleria.gov.co/newsroom/news/colombia-compromete-reducir-20-emisiones-gases-efecto-invernadero-ano-2030>

Pettigrew, Samantha. «Infraestructura de recarga para buses cero emisiones — Estrategias de Bogotá, Colombia», s. F. Extraído de <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/04/Zero-emission-buses-in-Colombia-Zebra-paper-A4-v479.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Contribución Nacional Determinada (NDC) de Colombia. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/documentos-oficiales-contribuciones-nacionalmente-determinadas/> . .

Ministerio de transporte. 2021 intermodalidad, transición energética y movilidad sostenible, las tres grandes acciones del sector Transporte en COP26. Convención de las naciones unidas sobre el cambio climático 2021. Extraído de <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/10381/intermodalidad-transicion->

[energetica-y-movilidad-sostenible-las-tres-grandes-acciones-del-sector-transporte-en-cop26/](#)

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2020). Plan Nacional de Desarrollo del Sector de Transporte 2019-2030. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Minas y Energía. (2020). Plan Energético Nacional 2020-2050. Recuperado de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Resumen_Ejecutivo_PEN_2020_2050.pdf.

Ministerio de Minas y Energía. (2021). Programas y Proyectos - Movilidad Eléctrica. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/el-ministerio-de-minas-y-energía-avanza-en-la-regulación-de-electromovilidad/>.

Ocampo D 2021. Determinación de los costos de operación de vehículos eléctricos en el transporte como estrategia de movilidad sostenible. Extraído de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77355/DI1053830119.2019.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Organización Mundial de la Salud. (2020). Base de datos de calidad del aire mundial de la OMS. Recuperado de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.

Universidad Nacional de Colombia. (2019). Estudio de viabilidad de vehículos eléctricos en Colombia.

Pachón, J. E., & Márquez, L. F. (2021). Análisis de la viabilidad técnica y económica de la electrificación del transporte público en Colombia: El caso del Corredor Cali-Yumbo. *Revista de Ingeniería*, (55), 87-98.

Rincón, L. F., & Rodríguez, J. J. (2019). Potencial de los vehículos eléctricos en Colombia: análisis de factibilidad técnica y económica. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 137-146.

Reyes A. Efectos inflacionarios de la transición energética en Colombia para los próximos 10 años Universidad externado. extraído de

https://www.uexternado.edu.co/wp-content/uploads/2023/10/Reyes_Castro_Romero_Franco_transicion_energetica.pdf

Sánchez V. 2023. Desafíos y barreras legales en regulación para usar hidrogeno. *Diario la República*. Extraído de

<https://www.larepublica.co/especiales/hidrogeno-en-la-transicion/estos-son-los-desafios-y-barreras-que-hay-en-regulacion-de-hidrogeno-verde-3727431>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, (2023), Boletín Tarifario de Energía Tercer Trimestre de 2023, extraído de [Publicaciones y boletines |](#)

[Superintendencia Servicios Públicos Domiciliarios \(superservicios.gov.co\)](https://www.superservicios.gov.co)

Truyols Matéu, S. Hernáiz Casanova, A. & Alcobilla de la Fuente, F. (2007). *Ingeniería del transporte: teoría y práctica*: (ed.). Delta Publicaciones. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/lc/bibliotecaean/titulos/169707>

Unidad de planeación minero-energética. UPME.2019. Recomendaciones en materia de infraestructura de recarga para la movilidad eléctrica en Colombia para diferentes segmentos. Extraído de

https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Consortio_Usaene_sumatoria_producto_3_estaciones_de_cargaVF.pdf