

ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE DE LA FLOTA DEL SITM TRANSCARIBE: ASPECTOS NORMATIVOS, TÉCNICOS Y FINANCIEROS

Agosto 2025



Calle 99 No.56-41 Of. 1703,
Barranquilla



3126158407-3106022974



NIT.: 900.996.599-8

Contenido

1. RESUMEN EJECUTIVO	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. CONTEXTO DEL PROYECTO	5
3.1 Flota Actual y Necesidad de Modernización	5
3.2 Justificación de la Necesidad	6
4. MARCO NORMATIVO Y REGULATORIO	6
4.1 Legislación nacional aplicable a sistemas de transporte masivo y emisiones	6
4.2 Políticas de movilidad urbana sostenible y eficiencia energética	8
4.3 Estándares internacionales	9
4.4 Análisis del impacto normativo	10
4.4.1 Flota con vehículos eléctricos o de cero emisiones	11
4.4.2 Norma Euro exigible a vehículos con tecnología motriz Diesel	11
5. ANÁLISIS TÉCNICO DE OPCIONES DE COMBUSTIBLE	12
5.1 Evaluación de combustible alternativo	12
5.1.1 Tecnologías de combustión	13
5.1.2 Infraestructura requerida	14
5.2 Análisis comparativo de alternativas de tecnología de combustión	16
5.3 GNV en el contexto colombiano y de Cartagena y su potencial para el SITM	18
6. ANÁLISIS DEL MERCADO COLOMBIANO DE CARROCERÍAS Y AUTOBUSES PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO	20
6.1 Carrocerías	20
6.2 Autobuses tipo padrón	22
6.3 Autobuses tipo busetón	25
6.3 Servicio postventa	25
7. ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO	26
7.1 Costos de adquisición de vehículos y equipos de recarga	26
7.1.1 Infraestructura eléctrica de carga	27
7.1.2 Equipo a bordo e ITS	28
7.2 Costos operativos y de mantenimiento a largo plazo	29
7.3 Análisis de ciclo de vida (LCC) de cada opción de combustible	32
7.4 Evaluación de incentivos y subsidios disponibles	33
8. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL	34
8.1 Calidad del Aire	34
8.2 Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)	34

8.3. Generación de Empleo.....	34
8.4. Aceptación de la Comunidad.....	35
9. RECOMENDACIONES Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	36
9.1 Selección de Combustible y Transición	36
9.2. Adaptación de la Infraestructura	36
9.3. Monitoreo y Evaluación	36
9.4 Consideraciones Adicionales.....	37



1. RESUMEN EJECUTIVO

Este informe se elabora en el marco del proyecto de incremento de cobertura y mejora de confiabilidad del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Transcaribe en Cartagena. Su objetivo principal es analizar las opciones de tecnología de combustible para la flota, con el fin de optimizar el sistema y garantizar un servicio eficiente y sostenible a largo plazo.

Actualmente, Transcaribe opera con una flota de Gas Natural Vehicular (GNV), que representa una mejora significativa en comparación con el diésel. Sin embargo, se reconoce el potencial y exigencia legal de contar con flota eléctrica para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Recomendaciones Clave:

- **Adopción Estratégica de Tecnología GNV:** Dado la infraestructura existente y la experiencia operativa, se recomienda continuar con la adopción de autobuses GNV para garantizar la confiabilidad del servicio en el corto y mediano plazo.
- **Transición Planificada a Tecnología Eléctrica:** Se recomienda acogerse al plan de transición gradual a tecnología eléctrica del que trata la Ley 1964 de 2019, adquiriendo el 10% de vehículos eléctricos en el plan de compra de flota 2025-2026, y preparar la infraestructura necesaria para ello. Se recomienda monitorear la evolución del mercado de vehículos eléctricos y las políticas de transición energética, para futuras expansiones del sistema.
- **Adaptación de Infraestructura:** La infraestructura GNV existente permite el abastecimiento de los cuarenta y cinco (45) buses GNV que se adicionan a la operación. Se debe implementar sistema de carga eléctrica para cinco (5) buses, para lo cual se pueden utilizar 2 a 3 electrolineras.
- **Monitoreo y Evaluación:** Establecer un plan de monitoreo del desempeño ambiental y económico, para evaluar el impacto de las diferentes tecnologías en la confiabilidad y eficiencia del sistema.

En conclusión, **este informe recomienda la compra de flota tecnología GNV**, cumpliendo con el **10% de ley en tecnología eléctrica**. Lo anterior basado principalmente en la infraestructura de carga GNV disponible en los patios del sistema, como elementos secundarios de decisión tenemos el menor costo y esfuerzo financiero para la adquisición de flota GNV versus eléctrica.

En el largo plazo, el costo de operación de flota eléctrica reduce la diferencia en el costo total del proyecto evaluado, lo cual podrá considerarse de manera estratégica en próximas compras y posiblemente construcción de infraestructura eléctrica dedicada, como es el caso



del proyecto Patio Norte que planea construir Transcaribe, para lo cual, será importante el apoyo de la Nación.

2. INTRODUCCIÓN

El Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Transcaribe, en Cartagena, se encuentra en una fase crucial de su desarrollo, con el proyecto de incremento de cobertura y mejora de confiabilidad. Este proyecto busca expandir el alcance del sistema y garantizar un servicio eficiente y confiable para los ciudadanos, lo que exige una revisión exhaustiva de las tecnologías de combustible disponibles.

Este informe se centra en el análisis de las opciones de tecnología de combustible para la flota de Transcaribe, con el objetivo de proporcionar recomendaciones estratégicas que optimicen el sistema en el marco del proyecto de expansión. Se evaluarán las ventajas y desventajas del Gas Natural Vehicular (GNV), la flota tecnología eléctrica y tecnología diésel Euro VI, considerando las particularidades de la infraestructura existente, el marco normativo vigente y la viabilidad económica.

El objetivo principal de este informe no es solo la sostenibilidad ambiental, sino también la optimización del sistema para garantizar la confiabilidad y eficiencia del servicio en su proceso de expansión. Se busca proporcionar una hoja de ruta clara para la selección del tipo de combustible más adecuado, que permita a Transcaribe cumplir con sus objetivos de expansión y mejorar la calidad de vida de los cartageneros.

3. CONTEXTO DEL PROYECTO

3.1 Flota Actual y Necesidad de Modernización

TRANSCARIBE S.A.S. opera con una flota a gas natural compuesta por articulados, padrones y busetones (Euro IV), que cubren rutas troncales, pretroncales, alimentadoras y complementarias. La flota actual incluye 54 articulados, 158 padrones y 117 busetones.

La modernización del SITM con autobuses de cero o bajas emisiones es crucial para Cartagena. Esta actualización busca abordar desafíos ambientales, mejorar la movilidad urbana y la calidad de vida, y posicionar a la ciudad como un referente sostenible.



3.2 Justificación de la Necesidad

El SITM de Cartagena enfrenta desafíos significativos:

- Cobertura y capacidad: La cobertura limitada restringe el acceso al transporte público en varias zonas, afectando la equidad y el acceso a servicios básicos. La capacidad operativa es insuficiente para la demanda actual.
- Confiabilidad: La irregularidad en la frecuencia y programación afecta la predictibilidad y satisfacción de los usuarios. La infraestructura de apoyo (paraderos, información en tiempo real) es deficiente.
- Sostenibilidad ambiental: La flota actual contribuye a la contaminación y al cambio climático. La modernización con vehículos limpios es esencial para reducir el impacto ambiental y acceder a financiamiento verde.
- Infraestructura: La falta de infraestructura adecuada (estaciones, vías exclusivas, centros de mantenimiento) dificulta la operación. Se requieren soluciones tecnológicas (pago digitalizado, control de flota) para mejorar la eficiencia.

4. MARCO NORMATIVO Y REGULATORIO

La selección del tipo de combustible para la flota del SITM Transcribe debe realizarse en cumplimiento con el marco normativo y regulatorio vigente. Este capítulo analiza las leyes y regulaciones aplicables a nivel nacional y local, incluyendo normativas sobre emisiones contaminantes, calidad del aire, movilidad urbana sostenible y eficiencia energética, así como los estándares internacionales relevantes.

4.1 Legislación nacional aplicable a sistemas de transporte masivo y emisiones

En esta sección, se analizará el marco legal que regula la operación de los sistemas de transporte masivo en Colombia, con un enfoque particular en las normativas relacionadas con las emisiones contaminantes. Se explorarán las leyes y regulaciones que establecen los requisitos y estándares que deben cumplir los vehículos y sistemas de transporte público, tanto a nivel nacional como en el contexto específico de la ciudad de Cartagena.

El marco normativo en Colombia referente a los sistemas de transporte masivos y emisiones de gases contaminantes se presenta a continuación:

- **Resolución 2254 de 2017:** Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, se adoptan disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio

nacional, se establecen los lineamientos para la adopción de la tecnología EURO VI¹, y un marco de tiempo para la actualización del parque vehicular en todo el país.

- **Ley 1964 de 2019:** Establece los esquemas de promoción para el uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones en el país. Su objetivo principal es contribuir a la movilidad sostenible y reducir las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero.
- **Ley 1972 de 2019:** Por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones.
- **Resolución 20203040015885 de 2020:** Reglamenta los Planes de Movilidad Sostenible y Segura.
- **Resolución 40177 de 2020:** Define los energéticos de bajas o cero emisiones, considerando su contenido de componentes nocivos para la salud y el medio ambiente, y adopta otras disposiciones.
- **Ley 2128 de 2021:** Por medio de la cual se promueve el abastecimiento, continuidad, confiabilidad y cobertura del gas combustible en el país.
- **Ley 2169 de 2021:** Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones.
- **Resolución 40223 de 2021:** Por medio de la cual se establecen condiciones mínimas de estandarización y de mercado para la implementación de infraestructura de carga para vehículos eléctricos e híbridos enchufables.
- **Resolución 762 de 2022:** Por la cual se reglamentan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamentan los artículos 2.2.5.1.6.1, 2.2.5.1.8.2 y 2.2.5.1.8.3 del Decreto 1076 de 2015 y se adoptan otras disposiciones.
- **Ley 2294 de 2023, Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia Potencia Mundial de la Vida": Artículo 253** Crea un fondo para el ascenso tecnológico en sistemas de transporte masivo, carga y taxis hacia tecnologías de cero emisiones.

En el caso del Distrito de Cartagena, encontramos lo siguiente:

- **Decreto 0862 de 2013:** expedido el 05 de julio de 2013 y cuyo artículo primero dice lo siguiente: *"Adóptese el Gas Natural como único combustible a ser utilizado por*

¹ Euro VI: La norma Euro 6 está recogida en el reglamento 715/2007 adoptado por la UE (cuyo objeto establece requisitos técnicos para la homologación de tipo de los vehículos de motor). Se establecen las disposiciones sobre las emisiones de los vehículos de las categorías M1, M2, M3, N1, N2 y N3. El Euro 6 es una normativa de protección medioambiental que entró en vigor en septiembre de 2015. Su propósito es limitar las emisiones de ciertos gases contaminantes que emiten los vehículos (**LEY 1972 DE 2019**).



los operadores del Sistema Integrado de Transporte Masivo de la ciudad de Cartagena, en atención a las consideraciones expuestas en la parte motiva del presente acto”.

4.2 Políticas de movilidad urbana sostenible y eficiencia energética

La transición hacia sistemas de transporte más sostenibles y eficientes es un objetivo prioritario en muchas ciudades alrededor del mundo, y Cartagena no es la excepción. En esta sección, se revisarán las políticas y planes de movilidad urbana sostenible y eficiencia energética que buscan promover el uso de modos de transporte más limpios y eficientes.

En Colombia, la legislación que impulsa el uso de combustibles alternativos en los sistemas de transporte masivo, como el gas vehicular, se encuentra enmarcada dentro de políticas más amplias de movilidad sostenible y reducción de emisiones. Aunque no existe una ley específica que se dedique exclusivamente al gas vehicular en sistemas de transporte masivo, varias normativas y políticas contribuyen a su promoción.

En principio, la Ley 1964 de 2019, promueve el uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones, lo cual indirectamente impulsa la búsqueda de alternativas a los combustibles fósiles tradicionales. Si bien se centra en vehículos eléctricos, establece un marco que favorece la adopción de tecnologías limpias en el transporte.

Aunque la ley se enfoca en vehículos eléctricos, su espíritu de promover la movilidad sostenible abre la puerta a la consideración de otras alternativas como el gas vehicular. A nivel nacional y local, existen políticas que buscan reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en las ciudades. Estas políticas a menudo incluyen incentivos para el uso de combustibles más limpios en el transporte público, como el gas natural vehicular (GNV). Los planes de desarrollo y los planes de movilidad de muchas ciudades colombianas incluyen estrategias para la renovación de flotas de transporte público con vehículos que utilicen combustibles más limpios.

- **Política Nacional de Transporte Urbano y Masivo (CONPES 3260, 2003)**, impulso a los sistemas integrados de transporte masivo –SITM– en las grandes ciudades del país y fortalecer la capacidad institucional para planear y gestionar el tráfico y transporte en las demás ciudades, con el propósito de incrementar su calidad de vida y productividad, e impulsar procesos integrales de desarrollo urbano, dentro de un marco de eficiencia fiscal que promueva nuevos espacios para la participación del sector privado en el desarrollo y operación del transporte urbano de pasajeros .
- **Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química (CONPES 3550, 2008)**, establece los lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad del aire, calidad del agua y salud química.



- **Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la calidad del aire (CONPES 3344, 2015)**, documento que presenta a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social, Conpes, los lineamientos para la formulación de políticas y estrategias intersectoriales para la prevención y el control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia.
- **Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire (CONPES 3943, 2018)**, por la cual se proponen acciones para reducir las concentraciones de contaminantes en el aire a través de la renovación y modernización del parque automotor, la reducción del contenido de azufre en los combustibles, la implementación de mejores técnicas y prácticas en la industria, la optimización de la gestión de la información, el desarrollo de la investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire.
- **Política de Crecimiento Verde (CONPES 3934, 2018)**, se enfoca en cinco ejes principales: Economía Sostenible: Promueve nuevas oportunidades económicas mediante el uso sostenible de recursos naturales, Eficiencia y Productividad: Busca mejorar el uso de recursos naturales en sectores económicos, minimizando impactos ambientales y sociales, Capital Humano: Fortalece el desarrollo de habilidades para enfrentar los retos del crecimiento verde, Innovación y Tecnología: Impulsa la ciencia, tecnología e innovación para procesos y tecnologías más eficientes, Coordinación y Financiación: Asegura la articulación interinstitucional, la generación de información y la financiación de proyectos sostenibles.

4.3 Estándares internacionales

Para garantizar la calidad y la sostenibilidad de los sistemas de transporte masivo, es importante considerar los estándares internacionales que establecen las mejores prácticas y los requisitos técnicos y ambientales. En esta sección, se explorarán los estándares internacionales relevantes para la selección del tipo de combustible para la flota del SITM Transcaribe, incluyendo normas sobre emisiones contaminantes, eficiencia energética y seguridad.

Colombia, como miembro de la comunidad internacional, ha adoptado varias disposiciones y acuerdos internacionales relacionados con la mejora de la calidad del aire, la transición hacia energías limpias y el uso de combustibles más sostenibles en el sector transporte. Algunos de los principales acuerdos y disposiciones internacionales que influyen en la legislación colombiana sobre el uso de combustibles en vehículos de sistemas de transporte masivo se presentan en el siguiente esquema:



Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992)

- Marco para la cooperación internacional contra el cambio climático.
- Impulsa la reducción de emisiones de GEI en Colombia.

Protocolo de Kioto (1997)

- Objetivos de reducción de GEI para países desarrollados.
- Impulsó medidas de reducción de emisiones en Colombia.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río 2012)

- Establecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- Combustibles limpios y movilidad sostenible impactan en ODS de Salud, Energía, Innovación, Ciudades y Clima.

Acuerdo de París (2015)

- Tratado internacional para limitar el calentamiento global a 1.5°C.
- 196 países hacia neutralidad climática a mediados de siglo.
- Colombia se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%, respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030, mediante la Ley 1844 de 2017.

Fuente: Elaboración propia

* Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992)

** Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río 2012)

Se puede consultar la información ampliada respecto al marco normativo global en los anexos.

A nivel internacional, también es pertinente mencionar Normas de Emisiones Contaminantes como la Norma Euro, establecida por la Unión Europea, y la cual se definen los límites de emisiones contaminantes para vehículos. Las normas Euro han evolucionado a lo largo del tiempo, con versiones más recientes que imponen límites más estrictos. Es importante considerar la aplicabilidad de normas Euro VI o superiores, especialmente en un contexto de creciente preocupación por la calidad del aire urbano.

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publica directrices sobre la calidad del aire ([https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)).

4.4 Análisis del impacto normativo

Una vez analizado el marco legal aplicable, es esencial evaluar cómo estas leyes y regulaciones influyen en la decisión del tipo de combustible para la flota del SITM Transcribe. Este análisis de impacto examinará las implicaciones de las normativas nacionales y locales en la viabilidad técnica y económica de cada opción de combustible. Además, se identificarán los posibles desafíos y oportunidades relacionados con el cumplimiento normativo, lo que permitirá anticipar obstáculos y aprovechar ventajas para garantizar la sostenibilidad y eficiencia del proyecto.



4.4.1 Flota con vehículos eléctricos o de cero emisiones

La Ley 1964 de 2019, por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones, tiene por objeto generar esquemas de promoción al uso de vehículos eléctricos. Los incentivos para vehículos eléctricos en Colombia incluyen un impuesto vehicular máximo del 1%, descuentos en SOAT y revisión técnico-mecánica, exención de restricciones de circulación, y parqueaderos preferenciales. Adicionalmente, se promueven incentivos territoriales y se exige a establecimientos públicos destinar un porcentaje mínimo de parqueaderos para estos vehículos.

De manera explícita se indica en esta Ley (artículo 8) que, *“el Gobierno Nacional en su conjunto y los municipios de categoría 1 y Especial exceptuando: los de Tumaco y Buenaventura y los prestadores del servicio público de transporte deberán cumplir con una cuota mínima del 30% de vehículos eléctricos en los vehículos que anualmente sean comprados o contratados para su uso, **teniendo en cuenta las necesidades de cada entidad para el caso del Gobierno nacional y la infraestructura con que cuenten.**”*

PARÁGRAFO 1o. *La anterior disposición solo aplicará para los segmentos de vehículos eléctricos que para la fecha en que se compren o contraten, tengan una oferta comercial en Colombia.*

PARÁGRAFO 3o. *Las ciudades que cuenten con **Sistemas de Transporte Masivo** deberán implementar políticas públicas y acciones tendientes a **garantizar que un porcentaje de los vehículos utilizados para la operación de las flotas, sean eléctricos o de cero emisiones contaminantes cuando se pretenda aumentar la capacidad transportadora de los sistemas, cuando se requiera reemplazar un vehículo por destrucción total o parcial que imposibilite su utilización o reparación y cuando finalice su vida útil y requiera reemplazarse, de acuerdo con el siguiente cronograma:***

A partir de 2025, mínimo el diez (10) por ciento de los vehículos adquiridos, a partir de 2027, mínimo el veinte (20) por ciento de los vehículos adquiridos, a partir de 2029, mínimo el cuarenta (40) por ciento de los vehículos adquiridos, a partir de 2031, mínimo el sesenta (60) por ciento de los vehículos adquiridos, a partir de 2033, mínimo el ochenta (80) por ciento de los vehículos adquiridos y a partir de 2035, mínimo el cien (100) por ciento de los vehículos adquiridos”.

Es importante tener en cuenta que el artículo incluye restricciones, es decir, que la obligación de adquisición de flota eléctrica dependerá de la infraestructura con que se cuente y que exista oferta comercial del vehículo a adquirir.

4.4.2 Norma Euro exigible a vehículos con tecnología motriz Diesel

De otro lado, la Ley 1972 de 2019, por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones, establece que, a partir del 1 de enero de 2023, todos los vehículos nuevos con motor diésel



en Colombia deben cumplir con la normativa Euro VI o superior, verificada mediante el ciclo de conducción WHTC. **Adicionalmente, desde el 1 de enero de 2035, todos los vehículos diésel en circulación en el territorio nacional deberán cumplir con los mismos estándares de emisiones.** Lo anterior deja una vida útil remanente máxima de diez años para cualquier vehículo diésel en operación que no cumpla la norma Euro VI o dicho de otra manera, que cumpla una norma inferior.

5. ANÁLISIS TÉCNICO DE OPCIONES DE COMBUSTIBLE

Para evaluar la viabilidad técnica de las diferentes opciones de combustible, se realiza un análisis comparativo de sus características técnicas, rendimiento, autonomía e infraestructura de recarga/suministro. Se examinan las tecnologías disponibles para Gas Natural Vehicular (GNV), electricidad y biodiesel, considerando su aplicabilidad al contexto de Cartagena.

5.1 Evaluación de combustible alternativo

La transición hacia un sistema de transporte masivo más sostenible y eficiente requiere una evaluación exhaustiva de las alternativas de combustible disponibles. En este apartado, se realizará un análisis detallado de las opciones de combustible más viables para la flota del SITM Transcaribe, incluyendo Gas Natural Vehicular (GNV), electricidad y biodiesel. Se examinarán las características técnicas de los vehículos que utilizan cada tipo de combustible, así como la infraestructura necesaria para su recarga o suministro, con el fin de determinar la opción más adecuada para las necesidades y condiciones específicas de Cartagena.

En el contexto de la modernización del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) de Cartagena, la evaluación de tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones se presenta como un paso fundamental hacia la sostenibilidad y eficiencia del sistema. Antes de analizar en detalle las ventajas y desventajas de opciones específicas como los autobuses Diésel, Gas Natural Vehicular (GNV) y Eléctricos, resulta pertinente ofrecer una visión general de las características que definen a estos vehículos. Este enfoque introductorio permite contextualizar la discusión, resaltando los beneficios comunes en términos de reducción de emisiones contaminantes y mejora de la calidad del aire urbano. Además, facilita la comprensión de los criterios que guiarán el análisis comparativo, estableciendo un marco de referencia claro para la selección de la tecnología más adecuada para las necesidades y condiciones particulares de Cartagena.

Los vehículos de cero y bajas emisiones representan una evolución significativa en la tecnología del transporte, enfocándose en la reducción del impacto ambiental. Los vehículos de cero emisiones, como los eléctricos puros, eliminan por completo las emisiones del tubo de escape, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire urbano y a la mitigación del cambio climático. Por otro lado, los vehículos de bajas emisiones, como



los híbridos y aquellos que cumplen con normativas Euro VI, reducen significativamente las emisiones contaminantes en comparación con los vehículos convencionales.

Esta transición hacia tecnologías más limpias implica la adopción de sistemas de propulsión alternativos, como motores eléctricos y sistemas híbridos, así como el uso de combustibles más limpios como el gas natural y el biodiesel. Además de reducir las emisiones, estos vehículos suelen ofrecer una mayor eficiencia energética y menores costos operativos a largo plazo. La implementación de estas tecnologías requiere una infraestructura adecuada de carga y suministro, así como un marco regulatorio que incentive su adopción.

Clasificación de vehículos

CERO EMISIONES

- **Eléctricos:** Impulsados exclusivamente por motores eléctricos, obtienen corriente de un sistema de almacenamiento de energía recargable (baterías).
- **Hidrógeno:** Operan con hidrógeno como fuente primaria de energía para propulsarse.

BAJAS EMISIONES

- **Híbridos enchufables:** Cuentan con batería eléctrica y motor de combustión con combustibles fósiles.
- **Híbridos:** Motor eléctrico que complementa al motor de combustión fósil.
- **De Gas Natural Vehicular (GNV):** Funcionan exclusivamente con gas.

5.1.1 Tecnologías de combustión

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas de opciones específicas como los autobuses Diésel, Gas Natural Vehicular (GNV) y Eléctricos:

Autobuses Diésel Euro VI

La tecnología diésel Euro VI representa un avance significativo en la reducción de emisiones contaminantes, estableciendo límites rigurosos para partículas y óxidos de nitrógeno. Aunque ofrece ventajas como la disponibilidad y el rendimiento energético, enfrenta desafíos en costos operativos, dependencia de combustible de alta calidad y el impacto ambiental inherente a los combustibles fósiles. Los autobuses equipados con motores diésel Euro VI disminuyen drásticamente las emisiones en comparación con modelos anteriores, pero su implementación en Colombia se ve obstaculizada por la incertidumbre en el suministro de diésel de 10 ppm y los elevados costos tecnológicos actuales.

Autobuses a Gas Natural Vehicular (GNV) Euro VI

Los autobuses con motor dedicado a Gas Natural Vehicular (GNV) Euro VI se han consolidado como una alternativa viable en Colombia, impulsados por la legislación que exige un 30% de GNV en flotas de transporte público o por políticas públicas de cada ciudad



al momento de implementar sus proyectos, tal es el caso de Transcaribe, Metroplús y recientemente Transmetro, para colocar ejemplos de SITMs en Colombia.

El uso del GNV para transporte público se popularizó en Colombia, especialmente, en el sector del transporte público individual de la región caribe, realizando la conversión de motores gasolina a GNV con el propósito de lograr ahorros inmediatos en el energético para la prestación del servicio. Ello también fue impulsado por los comercializadores de GNV quienes realizaron una ampliación de oferta en estaciones de servicio (EDS) con surtidores e islas especializadas con dicho combustible, es decir, la infraestructura de la oferta fue de la mano con el crecimiento de la demanda y de los talleres especializados en realizar transformaciones de motores a GNV.

Las ventajas del GNV incluyen bajas emisiones contaminantes, incentivos fiscales como la exclusión del IVA, y menores costos de mantenimiento debido a la limpieza del combustible. Sin embargo, presentan limitaciones en autonomía comparados con diésel y enfrentan desafíos de infraestructura en regiones con baja presión o desabastecimiento de gas, afectando su operatividad en rutas extensas o de alta demanda.

Autobuses Eléctricos

Los autobuses eléctricos, sin generar emisiones durante su funcionamiento, se posicionan como la opción más limpia para sistemas de transporte urbano, aunque su implementación enfrenta desafíos significativos a nivel global y nacional. Sus ventajas incluyen la ausencia de emisiones contaminantes, incentivos económicos sustanciales como la exención del IVA y menores costos de mantenimiento a largo plazo. No obstante, los altos costos iniciales de adquisición, la necesidad de desarrollar una infraestructura de carga y reserva o contingencia robusta y la autonomía limitada al peso de baterías con tiempos de recarga altos en comparación con combustibles tradicionales, representan obstáculos importantes para su adopción masiva. Actualmente la legislación requiere para los SITM en el presente año, la implementación del 10% de la flota nueva que ingrese a las Ciudades.

Autobuses Híbridos Gas-Eléctrico

Los autobuses híbridos gas-eléctricos representan una solución intermedia al combinar la propulsión a gas natural con la asistencia eléctrica, optimizando la eficiencia y reduciendo emisiones, especialmente en entornos urbanos. Su tecnología híbrida ofrece ventajas como la eficiencia energética y emisiones reducidas, beneficiándose de incentivos fiscales similares a los vehículos GNV. No obstante, enfrentan desafíos como altos costos iniciales, la complejidad tecnológica que requiere personal especializado, y la necesidad de una infraestructura dual para gas y electricidad, lo que puede ser problemático en áreas con suministro de gas inestable o sin infraestructura eléctrica dedicada.

5.1.2 Infraestructura requerida

La evaluación exhaustiva de cada tecnología vehicular implica analizar tanto la infraestructura requerida como sus ventajas y desventajas, proporcionando así una visión



integral de sus implicaciones. A continuación, se detallan las consideraciones de infraestructura específicas para las opciones previamente mencionadas:

Autobuses Diésel Euro VI

La infraestructura para autobuses diésel Euro VI se caracteriza por su amplia disponibilidad y madurez en sistemas de transporte urbano. Aunque requiere estaciones de servicio diésel y depósitos de urea para el tratamiento de gases de escape, su implementación se facilita por la existencia de talleres de mantenimiento especializados. La principal ventaja radica en la moderación de costos de infraestructura, al aprovechar las instalaciones existentes. Sin embargo, persiste la preocupación por la contaminación ambiental, a pesar de la reducción de emisiones lograda con la tecnología Euro VI.

Autobuses a Gas Natural Vehicular (GNV) Euro VI

La implementación de autobuses a GNV demanda una infraestructura especializada para el almacenamiento y distribución de gas natural comprimido, lo que implica una inversión significativa. Esta infraestructura requiere estaciones de servicio con compresores de alta presión y dispensadores especializados, talleres adaptados para sistemas de combustible de alta presión, y estrictos sistemas de seguridad para prevenir fugas y accidentes. Aunque el GNV ofrece ventajas como menores emisiones y costos operativos potencialmente más bajos, la inversión inicial en infraestructura representa un desafío considerable.

Transcribe sin embargo no requiere mayor inversión en la infraestructura de carga, al contar con tres patios con suministro del energético, haciendo ésta la opción más viable (costo/Beneficio) para su implementación.

Autobuses Eléctricos

La adopción de autobuses eléctricos impone la necesidad de una infraestructura avanzada y específica, representando un desafío significativo para la implementación de esta tecnología en entornos urbanos. A pesar de su promesa de emisiones cero, la viabilidad de estos vehículos depende críticamente de la disponibilidad de estaciones de recarga y la capacidad de las redes eléctricas. Los requerimientos incluyen estaciones de carga rápida, que demandan una inversión considerable y espacio en cocheras, redes eléctricas reforzadas para soportar la alta demanda energética, y talleres especializados con personal capacitado en sistemas eléctricos de alta potencia. Aunque los autobuses eléctricos ofrecen ventajas como la ausencia de emisiones contaminantes y menores costos operativos a largo plazo, los altos costos iniciales de inversión y la autonomía limitada plantean obstáculos significativos para su adopción masiva.

Dado el cumplimiento de la legislación, es importante contar con la infraestructura necesaria para el 10% de los autobuses de esta tipología².

² Ley 1964 de 2019, por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones.

Autobuses Híbridos Gas-Eléctrico

Los autobuses híbridos gas-eléctricos combinan la propulsión a GNV con un sistema eléctrico, optimizando la eficiencia energética. Aunque inicialmente se consideraba una infraestructura dual con estaciones de gas y puntos de recarga, las tecnologías actuales permiten la recarga mediante el motor a gas, reduciendo la dependencia de la carga eléctrica externa. La infraestructura requerida incluye estaciones de GNV y, en algunos casos, puntos de recarga para el componente eléctrico, así como talleres especializados para el mantenimiento de ambos sistemas. Sus ventajas radican en la flexibilidad operativa y la reducción de emisiones, pero los costos operativos pueden incrementarse debido al mantenimiento de dos sistemas de propulsión.

Autobuses Hidrógeno

Los autobuses basados en combustión de hidrógeno a diferencia de los motores diésel o de gasolina, funcionan con un motor que quema hidrógeno, liberando energía en forma de calor, que se convierte en movimiento mecánico. Aunque se considera un combustible más limpio porque, al quemarse, el único subproducto es vapor de agua, en lugar de gases contaminantes como el dióxido de carbono, al igual que el caso de los eléctricos, no se puede desconocer la explotación y acciones complementarias que se requieren para su producción, por ello se habla de Hidrógeno gris, azul, verde, entre otros, ya que la producción del energético implica el uso de otras fuentes que pueden ser en alguna medida contaminantes.

Una desventaja, es que su costo es aún mayor que el de los motores eléctricos y ello también se traslada a la infraestructura de almacenamiento, la cual es escasa o se podría decir que inexistente en el país y en Cartagena, aunque tiene solucionado el tiempo de recarga ya que utiliza pilas de hidrogeno que se pueden intercambiar.

5.2 Análisis comparativo de alternativas de tecnología de combustión

Una vez que se hayan descrito las características técnicas de cada opción de combustible alternativo, es fundamental realizar un análisis comparativo para evaluar sus ventajas y desventajas relativas. En este apartado, se compararán las diferentes opciones en función de criterios clave como las emisiones contaminantes, el rendimiento, la autonomía, la infraestructura de recarga/suministro, la disponibilidad de tecnología y los costos de mantenimiento. El objetivo es proporcionar una visión clara y objetiva de las fortalezas y debilidades de cada opción, lo que permitirá tomar decisiones informadas sobre la selección del combustible más adecuado para la flota del SITM Transcaribe.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que detalla las implicaciones de infraestructura, costos, rendimiento y mantenimiento asociados a cada una de las tecnologías de combustible evaluadas.



Tipo de Energético	Infraestructura de Abastecimiento	Infraestructura de Mantenimiento	Costos Iniciales	Complejidad de Implementación	Rendimiento y Autonomía	Disponibilidad de Tecnología y Proveedores	Mantenimiento
Diésel Euro VI	Estaciones de servicio diésel comunes	Talleres de diésel y almacenamiento de urea	Altos	Baja	Alto rendimiento, autonomía extensa	Amplia disponibilidad de proveedores	Mantenimiento rutinario similar a diésel convencional
Gas Natural Vehicular (GNV)	Estaciones de GNV dedicadas	Talleres para sistemas de alta presión	Moderados	Baja	Rendimiento similar a diésel, autonomía moderada	Disponibilidad de proveedores en aumento	Mantenimiento especializado para sistemas de gas
Eléctrico	Estaciones de recarga eléctrica	Talleres especializados en baterías y motores eléctricos	Altos con tendencia a la baja	Alta	Rendimiento eficiente, autonomía limitada	Disponibilidad de proveedores en expansión	Mantenimiento especializado en sistemas eléctricos
Híbrido Gas-Eléctrico	Estaciones de GNV y recarga eléctrica	Talleres para sistemas duales (GNV y eléctrico)	Moderados	Moderada	Alto rendimiento, autonomía extendida	Disponibilidad de proveedores moderada	Mantenimiento dual (GNV y eléctrico)

Fuente: Elaboración propia

Para la modernización del SITM Transcaribe, la selección de la tecnología vehicular adecuada implica un análisis detallado de sus ventajas y desventajas considerando que la infraestructura de abastecimiento en los patios es dedicada GNV, así como la flota existente y el conocimiento de los transportadores para su mantenimiento y operación.

La tecnología diésel que representa un energético y vehículo de gran conocimiento entre el gremio transportador, con alta disponibilidad, autonomía y menor costo de inversión inicial hasta su estándar Euro V, con su paso obligado a Euro VI iguala en costos iniciales al GNV con una mayor carga de emisiones contaminantes.

La tecnología GNV, con costos moderados y rendimiento similar al diésel, enfrenta limitaciones en autonomía e infraestructura, aunque no es el caso de la región Caribe y menos de Cartagena, donde Transcaribe cuenta con tres (3) EDS dedicadas a GNV y exclusivas para los operadores de Transporte masivo.

Los vehículos eléctricos por su parte, destacan por su eficiencia y cero emisiones, pero su autonomía limitada o peso y costo para incrementar la autonomía, sumado a una infraestructura de recarga incipiente, representan desafíos que siguen teniendo relevancia al momento de tomar la decisión de compra.

Los híbridos gas-eléctricos ofrecen un equilibrio entre rendimiento y autonomía, pero requieren una infraestructura dual, disponibilidad de proveedores y conocimiento sobre la tecnología.

La decisión final dependerá de las prioridades del SITM Transcaribe. Si se busca reducir al máximo las emisiones, los vehículos de hidrógeno serían la primera opción a evaluar, sin embargo por su alto costo y requerimientos de infraestructura, no serán considerados en la presente evaluación, por lo cual, el siguiente en lista sería el eléctrico, también con requerimientos en infraestructura, autonomía y conocimiento del producto.

Para rutas largas y alta disponibilidad, el diésel Euro VI sigue siendo una alternativa viable, aunque menos sostenible que el GNV y para el caso de Transcaribe, sin infraestructura de

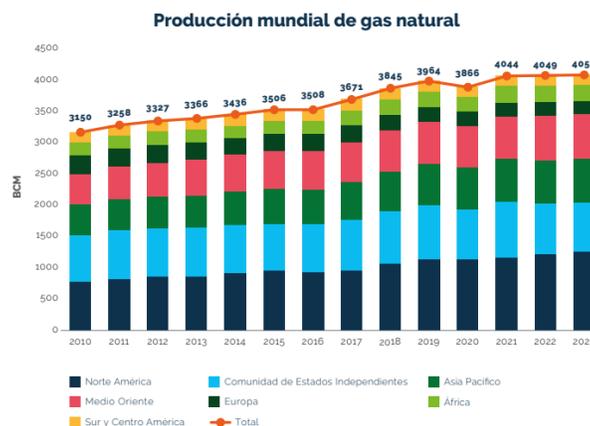
servicio, por lo que el GNV se convierte en la opción intermedia ideal, con costos moderados, menor impacto ambiental que el diésel, con autonomía ajustada a la realidad de Transcribe y para la cual se cuenta con infraestructura propia de servicio.

Los híbridos gas-eléctricos se convierten en otra opción viable por el equilibrio que ofrecen, considerando aquellos cuyo principio de combustión es el GNV, lo cual le da una ventaja sobre los híbridos con tecnología principal Diesel y aunque sigue siendo una variable a evaluar la complejidad, disponibilidad y bajo conocimiento sobre la tecnología, el componente eléctrico representa un respaldo o complemento que incrementa la autonomía del vehículo.

En todo caso, la Ley 1964 de 2019 obliga a Transcribe a añadir infraestructura eléctrica complementaria debido a que al menos el 10% de la flota que adquiera en el presente año y el siguiente deberá ser eléctrica.

5.3 GNV en el contexto colombiano y de Cartagena y su potencial para el SITM

El panorama energético mundial muestra un crecimiento sostenido en la producción de gas natural, alcanzando niveles históricos en 2023. Norteamérica lidera la producción, seguida por Rusia y Medio Oriente. Esta tendencia global, con un aumento del 6.1% en la participación del gas natural en el consumo de energía primaria, refleja su importancia creciente como fuente de energía y su papel en la transición energética hacia modelos más sostenibles³.



Fuente: Informe del Gas Natural 2025, Naturgas.

En Colombia, el gas natural representa el 25% de la matriz energética primaria y juega un papel crucial en la generación de electricidad. Con una oferta promedio de 1.093 GBTUD

³ Informe Cifras del Gas 2024 Naturgas. file:///C:/Users/Carolina/OneDrive%20-%20Universidad%20del%20Norte/Esitorio/A4/Proyectos%202025/CARTAGENA/Informe-Cifras-del-Gas-2024_Naturgas.pdf

en los últimos cuatro años, el país cuenta con una producción significativa, aunque con variaciones regionales. La demanda se concentra en departamentos como Bolívar, Atlántico y Santander, impulsada por la industria y la generación térmica, especialmente durante el fenómeno de El Niño.⁴

El gas natural se consolida como la segunda fuente de energía más importante en el país, desempeñando un papel crucial tanto en la matriz energética primaria como en la generación de electricidad, donde aporta un 10% del total, justo después de la hidroelectricidad.

Adicionalmente, el gas natural se presenta como un aliado en la lucha contra el cambio climático, ya que su utilización conlleva una reducción significativa de las emisiones de dióxido de carbono, oscilando entre un 30% y un 50% en comparación con los combustibles convencionales.

Además, es importante destacar que los vehículos impulsados por diésel y gasolina son los principales emisores de partículas finas en las ciudades, llegando a representar hasta un 80% del total de estas emisiones contaminantes⁵.

El Gas Natural Vehicular (GNV) emerge como una alternativa de movilidad clave en Colombia, con proyecciones de crecimiento para 2025 debido a sus beneficios económicos y ambientales. La reducción de emisiones de CO₂ y partículas finas, en comparación con combustibles convencionales, lo posiciona como una opción atractiva para sistemas de transporte masivo como el SITM de Cartagena.⁶

En la actualidad la adopción del GNV enfrenta desafíos, como la política gubernamental actual que desincentiva la exploración de hidrocarburos y la necesidad de una infraestructura de estaciones de servicio adecuada. Sin embargo, para Cartagena y específicamente Transcribe, se encuentra resuelto el problema de infraestructura de transporte, distribución y de EDS en patios propios, además de contratos de suministro a largo plazo, por lo que el GNV sigue siendo competitivo frente a la energía eléctrica y el diésel, y su potencial para mejorar la sostenibilidad del SITM de Cartagena es significativo. La competitividad antes descrita será mayor en la medida que el próximo gobierno nacional adopte políticas que le permitan al país volver a incentivar la exploración y producción de gas.

⁴ GBTUD: Giga British Thermal Unit por día. Medida de calor utilizada para medir cantidades de gas natural.

⁵ file:///C:/Users/Carolina/OneDrive%20-%20Universidad%20del%20Norte/Escritorio/A4/Proyectos%202025/CARTAGENA/Informe-Cifras-del-Gas-2024_Naturgas.pdf

⁶ <https://www.mova-col.com/proyeccion-del-gas-natural-vehicular-gnv-para-2025/>



6. ANÁLISIS DEL MERCADO COLOMBIANO DE CARROCEÍAS Y AUTOBUSES PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO

El mercado colombiano de carrocerías y autobuses presenta una dinámica compleja, influenciada por factores como la normativa ambiental, la disponibilidad de combustibles y las tendencias tecnológicas. Este análisis profundiza en la oferta de carrocerías, y examina a los principales fabricantes de autobuses tipo Padrón, evaluando sus capacidades tecnológicas y su potencial para satisfacer las necesidades de sistemas de transporte masivo como Transcaribe en Cartagena. Además, se aborda el panorama del mercado de vehículos según el tipo de combustible, considerando las preferencias de los operadores y los desafíos que plantea la adopción de tecnologías de cero emisiones.

6.1 Carrocerías

En el mercado colombiano de carrocerías se encuentran dos grandes empresas, Busscar de Colombia S.A.S.⁷ y Superpolo S.A.S. (Marcopolo)⁸.

Busscar de Colombia S.A.S.

Busscar, con una amplia trayectoria en el mercado latinoamericano, ofrece carrocerías de 9 a 18 metros para chasis a gas y eléctricos. Su experiencia abarca la provisión a casi todos los Sistemas Integrados de Transporte Masivo en Colombia y la exportación a otros países de la región. En Cartagena, Busscar suministró carrocerías Urban Bus S5 para motores a gas, y en Ciudad de Guatemala, la línea Busscar Optimuss e-pluss para motores eléctricos. Busscar trabaja con chasis de diversos proveedores, incluyendo Volvo, Mercedes Benz, Scania y Hyundai, según se indica en su sitio web. En cuanto al servicio postventa, Busscar indica 1 año de garantía, 14 talleres autorizados en 12 ciudades de Colombia. A continuación, se presentan imágenes de algunos de sus vehículos.

Figura 1. Optimuss Urbano



Figura 2. Urban Buss S5 a gas utilizado en Transcaribe Cartagena



Figura 3. Busscar Optimuss e-pluss

⁷ <https://www.busscar.com.co/es/>

⁸ <https://superpolo.com.co/>



Fuente: <https://www.busscar.com.co/es/icarrocerias/ver/23/>

Superpolo S.A.S.

Superpolo, con gran participación en el mercado latinoamericano de fabricación de carrocerías para autobuses, trabaja con múltiples proveedores de chasis, incluyendo Mercedes-Benz, Volvo, Scania, Yutong y BYD. Para las necesidades de Cartagena, las líneas Padrón Gran Viale Marcopolo es una opción viable. Superpolo cuenta con centros de servicio en las principales ciudades colombianas y una red de asistencia postventa dividida en cuatro zonas geográficas.

Dado que Super Polo es fabricante de carrocería, su oferta es amplia ya que puede carrozar chasis de diferente tecnologías y tipologías, incluidas las de características ajustadas a las necesidades del SITM de Cartagena. Sin embargo es necesario obtener oferta comercial de cada fabricante de chasis a fin de obtener precios actualizados del equipo completo con la oferta de longitud, sillas, tipo de acceso, cantidad de puertas, plataforma baja o alta, aire acondicionado, ascensor para PMR, entre otras características y que dicha referencia se encuentre homologada por el Ministerio de Transporte y preferiblemente que sobre esta se haya realizado el proceso de exclusión de IVA ante las autoridades correspondientes, esto es ANLA y UPME.

Figura 4. Padrón Marcopolo Gran Viale con chasis Scania



Figura 5. Articulado Marcopolo Gran vial



Fuente: <https://superpolo.com.co/transporte-masivo/gran-viale-brt-padron/>



Además de Marcolopo y Busscar, que ocupan la mayor parte del mercado de carrocerías para los sistemas de transporte masivo en Colombia, existen otras empresas de carrocería de menor tamaño. Su capacidad competitiva se ve limitada por su menor solidez financiera y niveles de automatización. Entre estas alternativas, destaca Carrocerías JGB (Inversiones Aldemar S.A.), con sede en Bogotá.

Figura 6. Bus Carrocerías JGB



Fuente: <https://www.carroceriasjgb.com/copia-de-transporte-personalizado>

6.2 Autobuses tipo padrón

Los principales actores en la producción de autobuses tipo Padrón (12 metros) de 80 a 90 pasajeros, con tecnología gas natural (Euro VI), propulsión eléctrica, diésel (Euro VI) e híbridos (gas-eléctrico) son: Scania, Volvo, CRRC, Zhontong / Navitrans, Sunlong, BYD y Yutong. A continuación, se presenta un comparativo de sus capacidades tecnológicas, presencia en el mercado colombiano y su potencial para satisfacer las necesidades de sistemas de transporte masivo como TRANSCARIBE S.A.S. - Cartagena.

Empresa	Características
Scania	Scania se destaca como un líder global en soluciones de transporte sostenible, ofreciendo autobuses a gas Euro VI e híbridos, reconocidos por su tecnología avanzada en reducción de emisiones. Con una sólida trayectoria en la implementación de autobuses a GNV en ciudades como Bogotá y Medellín, Scania demuestra su capacidad de integración en sistemas de transporte masivo. Sus autobuses híbridos son valorados por su eficiencia energética y bajas emisiones. La marca cuenta con amplia experiencia en el mercado colombiano, ofrece alta durabilidad en sus vehículos, costos de mantenimiento competitivos, y dispone de soporte técnico y postventa, así como representación local en Colombia.
Volvo	Volvo, fabricante consolidado en el sector de transporte masivo, especialmente en la capital colombiana, ofrece una amplia gama de soluciones sostenibles, incluyendo autobuses a gas Euro VI, diésel Euro VI, eléctricos e híbridos, todos cumpliendo con altos estándares de emisiones. Con una larga trayectoria en Colombia y participación en

	<p>proyectos de transporte masivo en América Latina, Volvo se posiciona como una opción confiable para flotas urbanas. Sus ventajas incluyen una sólida experiencia en Colombia con flotas a gas y eléctricas, una robusta red de soporte postventa y representación local. Por lo tanto, Volvo es un proveedor fiable tanto para flotas a gas como híbridas, con una trayectoria probada en el país, lo que lo hace particularmente adecuado para aplicaciones en Cartagena.</p>
CRRC	<p>CRRC se presenta como un proveedor integral con una amplia gama de tecnologías, incluyendo autobuses de hidrógeno, eléctricos, híbridos y a gas Euro VI, respaldado por su vasta experiencia y capacidad de innovación en baterías y sistemas de gestión energética. Siendo el mayor fabricante del mundo de sistemas férreos, inicia su presencia en Colombia con el suministro de trenes para el Metro de Bogotá y Metro de Medellín. Presenta como una ventaja para las necesidades operativas de Transcaribe los bajos tiempos de fabricación y transporte con un total de 90 días. CRRC ofrece la ventaja de aprovechar la infraestructura GNV existente en Cartagena, siendo viable tanto para soluciones a gas Euro VI como eléctricas.</p>
Zhontong	<p>Zhontong, fabricante chino especializado en autobuses eléctricos, ofrece también modelos a gas Euro VI y diésel Euro VI. Su rápido crecimiento a nivel mundial se atribuye a su competitividad en precios y a sus soluciones de movilidad sostenible. Aunque su presencia en Colombia es aún limitada, cuenta con la representación de Navitrans, lo que le permite aprovechar su experiencia en el mercado nacional. Las ventajas de Zhontong incluyen precios competitivos, un enfoque en tecnologías eléctricas avanzadas, representación en el país y una sólida red de soporte postventa con Navitrans.</p>
Sunlong	<p>Sunlong, destacado fabricante chino, ha enfocado su producción en la movilidad eléctrica, ofreciendo una gama de autobuses eléctricos e híbridos que han ganado aceptación en diversos mercados, incluyendo proyectos piloto en América Latina. Sus soluciones se caracterizan por una alta eficiencia energética y un enfoque en la reducción de costos operativos a largo plazo. Sunlong ofrece precios competitivos y tecnología de baterías avanzada, junto con soluciones híbridas atractivas para mercados en transición.</p>
BYD	<p>BYD, uno de los mayores fabricantes de vehículos eléctricos a nivel mundial, se especializa exclusivamente en autobuses eléctricos. Su presencia ha sido fundamental en la electrificación de flotas de transporte público en ciudades colombianas como Bogotá y Medellín, donde sus autobuses han demostrado alta eficiencia y fiabilidad. BYD destaca por su experiencia consolidada en Colombia, con soporte local a través de BYD motor Colombia S.A.S.(garantiza respaldo técnico y repuestos). BYD Ofrece tecnología avanzada en almacenamiento de energía y autonomía, pero se requiere infraestructura adicional para</p>

	estaciones de recarga. Dada su trayectoria en otras ciudades colombianas, BYD, se perfila como un fuerte candidato para la electrificación de la flota de Transcaribe en Cartagena.
Yutong	Yutong, uno de los mayores fabricantes de autobuses a nivel mundial, ofrece una amplia gama de tecnologías, incluyendo autobuses a gas Euro VI, eléctricos e híbridos. Su creciente participación en el mercado latinoamericano se debe a su capacidad para implementar proyectos eléctricos a gran escala, como se ha demostrado en diversas ciudades de China y otros países. Yutong sobresale por su vasta experiencia en autobuses eléctricos y a gas, así como por su tecnología avanzada de baterías y autonomía en vehículos eléctricos. No obstante, su consolidación en el mercado colombiano aún está en desarrollo.

Fuente: Elaboración propia con base en información del documento Análisis técnico de tecnologías motrices de Autobuses: Diésel Euro VI, Gas Natural Vehicular (GNV) Euro VI, Eléctrico e Híbrido Gas-Eléctrico, suministrado por TRANSCARIBE S.A.

En cuanto al servicio postventa en la infraestructura de patios propiedad de Transcaribe S.A., todos los proveedores se muestran abiertos a trasladar inventarios de repuestos y servicio postventa dedicado en los patios del sistema.

El mercado de buses para el servicio de transporte de pasajeros es ampliamente dominado por los motores de combustible diésel. Sin embargo, los fabricantes vienen adecuando su oferta a las nuevas exigencias del marco regulatorio ambiental en Colombia y la disponibilidad de combustible de bajas y cero emisiones.

El salto tecnológico en los últimos 10 años ha consistido en utilizar motores Diesel cada vez con una menor carga ambiental, de acuerdo con la norma Euro y la legislación de momento en el país, pasando de Euro II o III a principios del año 2000 a Euro IV y dando un salto en los últimos años a EURO VI.

Al tiempo con lo anterior, ha ido creciendo la demanda y oferta de buses con motores dedicados a gas en los sistemas de transporte masivo, como es el caso de TRANSCARIBE S.A.S. en Cartagena, Metroplus en Medellín, Transmilenio en Bogotá, Transmetro en Barranquilla, a lo cual se suman flotas de transporte colectivo y SETPs, como es el caso del transporte público colectivo en Barranquilla y recientemente la nueva flota para la operación del SETP de Valledupar.

Posiblemente dicha tendencia encuentre su origen en la obligación de cumplir la norma ambiental Euro VI a partir de enero del 2023, lo que hace que el costo de los vehículos dedicados a gas sea competitivo con el Diesel en su versión Euro VI; no siendo así con los vehículos eléctricos, para los cuales la variable precio continúa siendo un factor decisivo que en el caso de algunas marcas, puede llegar a ser hasta el doble del valor de un vehículo dedicado GNV.

6.3 Autobuses tipo busetón

Los principales actores en la producción de autobuses tipo busetón (9 metros) de 50 pasajeros, con tecnología gas natural (Euro VI), propulsión eléctrica, diésel (Euro VI) e híbridos (gas-eléctrico) son las mismas que para los buses tipo Padrón a excepción de Scania, quienes solo fabrican vehículos de 12 metros o superior. En la lista anterior podemos sumar a la empre NGV Motorí

Empresa	Características
NGV Motorí	NGV Motori es un fabricante emergente en el mercado de autobuses, ofrece una gama diversa de tecnologías, incluyendo autobuses a gas Euro VI, diésel Euro VI y eléctricos. Aunque es una marca relativamente nueva, su enfoque en mercados emergentes y la oferta de vehículos eléctricos lo posicionan como una alternativa competitiva para proyectos de electrificación en Colombia. GNV Motorí cuenta con la línea Tritton, la cual destaca por sus costos competitivos en tecnologías eléctricas y gas, la variedad de opciones en tecnologías Euro VI y eléctricas, y su representación local en el país, pues la planta de chasis de Tritton fue montada en Santa Marta.

Fuente: Elaboración propia con base en información del documento Análisis técnico de tecnologías motrices de Autobuses: Diésel Euro VI, Gas Natural Vehicular (GNV) Euro VI, Eléctrico e Híbrido Gas-Eléctrico, suministrado por TRANSCARIBE S.A.

6.3 Servicio postventa

En cuanto al servicio postventa en la infraestructura de patios propiedad de Transcaribe S.A., todos los proveedores se muestran abiertos a trasladar inventarios de repuestos y servicio postventa dedicado en los patios del sistema.

El mercado de buses para el servicio de transporte de pasajeros es ampliamente dominado por los motores de combustible diésel. Sin embargo, los fabricantes vienen adecuando su oferta a las nuevas exigencias del marco regulatorio ambiental en Colombia y la disponibilidad de combustible de bajas y cero emisiones.

El salto tecnológico en los últimos 10 años ha consistido en utilizar motores Diesel cada vez con menor carga contaminante, de acuerdo con la norma Euro y la legislación de momento en el país, pasando de Euro II o III a principios del año 2000 a Euro IV en la década de 2010 y dando un salto a EURO VI en la década 2020.

Al tiempo con lo anterior, ha ido creciendo la demanda y oferta de buses con motores dedicados a gas en los sistemas de transporte masivo, como es el caso de TRANSCARIBE S.A.S. en Cartagena, Metroplus en Medellín, Transmilenio en Bogotá, Transmetro en Barranquilla, a lo cual se suman flotas de transporte colectivo y SETPs, como es el caso del transporte público colectivo en Barranquilla y recientemente la nueva flota para la operación del SETP de Valledupar.

Posiblemente dicha tendencia encuentre su origen en la obligación de cumplir la norma ambiental Euro VI a partir de enero del 2023, lo que hace que el costo de los vehículos dedicados a gas sea competitivo con el Diesel en su versión Euro VI; no siendo así con los vehículos eléctricos, para los cuales la variable precio continúa siendo un factor decisivo y que, en algunas marcas, puede llegar a ser hasta el doble del valor de un vehículo dedicado GNV.

7. ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO

La selección del tipo de combustible también debe considerar los aspectos financieros y económicos. Este capítulo analiza los costos de adquisición, operación y mantenimiento de los vehículos y la infraestructura de recarga/suministro, así como los incentivos y subsidios disponibles. Se realiza un análisis de ciclo de vida (LCC) y un análisis de retorno de inversión para cada opción de combustible.

7.1 Costos de adquisición de vehículos y equipos de recarga.

El costo de los vehículos de cero emisiones, motores eléctricos o de hidrogeno e incluso híbridos, hace que las empresas operadoras de transporte público de pasajeros continúen apostándole al mercado que pueden considerar más seguro como el Diesel (ahora Euro VI), seguido de gas, de los cuales cuenta con información técnica sobre servicio postventa y costos de mantenimiento que le dan mayor tranquilidad para planear operaciones de largo plazo.

A continuación, y a manera de referencia se presentan precios del mercado de distintos tipos de flota, con base en información obtenida por Transcribe en una invitación a cotizar realizada a finales del año 2024, obteniendo las siguientes respuestas para buses padrones de 12 metros antes de IVA, impuestos locales, seguros y matrícula.

Marca	Carrocería	Chasis	Bus completo
Marcopolo Gran Viale BRT	\$366.020.000		
Marcopolo ATTIVI	\$344.390.000		
Marcopolo Torino	\$336.680.000		
Chongqing CRRC Hengtong Vehicle Co., Ltd. - Elctrico			USD\$299.000
Chongqing CRRC Hengtong Vehicle Co., Ltd. – GNV Eléctrico			USD\$298.000
YUTONG, eléctrico			USD\$330.000
YUTONG, híbrido		USD\$185.000	
ZHONGTONG, Navitrans - GNV		USD\$157.900	USD\$223.900
ZHONGTONG, Navitrans - Eléctrico		USD\$262.900	USD\$355.900

Resumen de precios bus Padrón por tecnología y total

PADRON 12m	USD\$	\$COP	Total unidades	USD\$	\$COP	Total unidades	Total Inversión
Cantidad			27			3	30
Valor Maximo	\$ 298.000	\$ 1.281.400.000	\$ 34.597.800.000	\$ 355.900	\$ 1.530.370.000	\$ 4.591.110.000	\$ 39.188.910.000
Valor Minimo	\$ 223.900	\$ 962.770.000	\$ 25.994.790.000	\$ 299.000	\$ 1.285.700.000	\$ 3.857.100.000	\$ 29.851.890.000
Promedio	\$ 260.950	\$ 1.122.085.000	\$ 30.296.295.000	\$ 327.450	\$ 1.408.035.000	\$ 4.224.105.000	\$ 34.520.400.000

En cuanto a los busetones de 9 metros con capacidad para 50 pasajeros, se recibieron las siguientes cotizaciones con valores antes de IVA, impuestos locales, seguros y matricula.

Marca	Bus completo	BUS \$COP
Chongqing CRRC Hengtong Vehicle Co., Ltd. - Electrico	USD\$212.000	\$911.600.000
Chongqing CRRC Hengtong Vehicle Co., Ltd. – GNV Electrico	USD\$210.000	\$903.000.000
YUTONG, GNV	USD\$150.000	\$645.000.000
ZHONGTONG, GNV sin AA	USD\$162.000	\$774.000.000

Calculo con TRM proyectada \$4.300.00. Encuesta analistas económicos Fedesarrollo, segundo semestre 2025.

Resumen de precios busetón por tecnología y total

BUSETON 9m	GNV/Hibrido GNV			Eléctrico			Total Inversión
	USD\$	\$COP	Total unidades	USD\$	\$COP	Total unidades	
Cantidad			17			3	20
Valor Maximo	\$ 210.000	\$ 903.000.000	\$ 15.351.000.000	\$ 212.000	\$ 911.600.000	\$ 2.734.800.000	\$ 18.085.800.000
Valor Minimo	\$ 150.000	\$ 645.000.000	\$ 10.965.000.000	\$ 212.000	\$ 911.600.000	\$ 2.734.800.000	\$ 13.699.800.000
Promedio	\$ 180.000	\$ 774.000.000	\$ 13.158.000.000	\$ 212.000	\$ 911.600.000	\$ 2.734.800.000	\$ 15.892.800.000

7.1.1 Infraestructura eléctrica de carga.

La adquisición de vehículos de tecnología eléctrica implica el desarrollo de infraestructura de carta para el caso del sistema Transcribe. Es por ello que considerando que se adquirirán al menos cinco (5) buses de esta tecnología se elaboró el siguiente presupuesto, que implica obras civiles y eléctricas en patios, conexiones eléctricas, tramites y equipos de conexión, respaldo y suministro.

PRESUPUESTO ELECTROLINERAS - OBRAS Y EQUIPOS				
Instalación cargadores 240 KW				
	INGENIERÍA DE DETALLE	Unidad	Cantidad	TOTAL
1	INGENIERÍA	Gbl	1	\$ 42.000.000
2	TRAMITES OR	Gbl	1	\$ 6.500.000
OBRA CIVIL				
3	CORTE Y DEMOLICIÓN DE PLACA	M3	100	\$ 29.000.000
4	EXCAVACIÓN MANUAL	M3	60	\$ 7.200.000

5	RELLENO Y COMPACTACIÓN MATERIAL SELECCIONADO	M3	60	\$ 10.300.000
6	REPOSICIÓN DE PLACA DE CONCRETO CON ACEROS	M3	15	\$ 48.000.000
7	BASE TRANSFORMADOR	Und	1	\$ 65.000.000
8	BASE CARGADOR	Und	3	\$ 28.000.000
9	ADECUACIÓN DE PUNTO CERO A CONEXIÓN	ML	250	\$ 43.500.000
10	ADECUACIÓN PARA INSTALACIÓN BATERIAS	M3	6	\$ 11.330.000
11	CUARTO DE CONTROL	M2	20	\$ 80.000.000
OBRA ELÉCTRICA				
12	TRANSFORMADOR 3F 2.0 MVA 13200/440V	Und	1	\$ 201.980.000
13	MALLA PUESTA A TIERRA TRANSFORMADOR	Und	1	\$ 6.000.000
14	TUBERIA PVC DE 6X4"	Ml	30	\$ 7.500.000
15	TUBERÍA PVC 2"	Ml	140	\$ 2.562.000
16	ACOMETIDA 4X500 KCMIL COBRE XLPE	Ml	30	\$ 23.700.000
17	CABLE DE COBRE XLPE 1/0 AWG	Ml	280	\$ 25.480.000
18	INSTALACIÓN CARGADORES	Und	13	\$ 9.100.000
19	CELDA DE MT Y BARRAJES	Und	1	\$ 26.400.000
20	CELDA DE BT Y PROTECCIONES Y SCADA	Und	1	\$ 46.400.000
21	MEDIDOR	Und	1	\$ 5.605.000
22	ACOMETIDA A PUNTO DE CONEXIÓN	Ml	350	\$ 63.700.000
23	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO	M2	50	\$ 55.680.000
24	ADECUACION ELECTRICA CONEXIÓN BATERIAS	M2	2	\$ 10.200.000
25	CERTIFICACIÓN RETIE	Und	1	\$ 5.500.000
LOGISTICA				
26	TRANSPORTE EQUIPOS	Und	1	\$ 30.000.000
27	CARGADOR Y GRUA	Und	1	\$ 24.000.000
ELECTROLINERA				
28	Cargador de 240 kWp C1 con dos conectores	Und	3	\$ 103.248.000
29	Baterías de ion de litio 200 kWh	Und	3	\$ 61.500.000
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 1.079.385.000
Notas: • Este es un presupuesto clase 4. • Los costos de BT, MT y subterranización son variables y dependerán de los diseños y estudios de ingeniería.		A	20%	\$ 215.877.000
		I	5%	\$ 53.969.250
		U	10%	\$ 107.938.500
		IVA	19%	\$ 205.083.150
		TOTAL		

7.1.2 Equipo a bordo e ITS.

Dado a que el sistema se encuentra en operación, los vehículos que se adquieren deben estar dotados de los equipos necesarios para vincularse al Sistema de Recaudo Centralizado (SRC), el Sistema de Gestión y Control de Flota (SGCF) y el Sistema de Información al Usuario (SIU), lo que obliga a incluir en el proceso el inventario de equipos a bordo y su estándar de manera que el proveedor pueda adicionarlo en el proceso de fabricación.

La lista de equipos a bordo son los siguientes:

Equipo a bordo de autobuses	Padrón	Busetón
1- Validador (para pago con tarjeta)	1	1
2- Consola conductor (Para ver rutas)	1	1
3- Unidad lógica o router industrial	1	1
4- Cámaras de video	7	4
5- Cámara IA de lectura de movimientos conductor	1	1
6- Cámaras de conteo de pasajeros	3	2
7- MDVR (para integrar cámaras y tener acceso remoto)	1	1
8- Sensores de proximidad	8	8
9- Panel de información externos frontal, trasero y lateral (rutas)	4	4
10- Paneles de información interno (paradas)	1	1
11- Puertos USB tipo A y C	16	12
12- GPS industrial	1	1
13- Botón de pánico	1	1
14- Gabinete de equipos	1	1
15- Batería de equipos ITS	1	1
16- Protector de voltaje equipos ITS	1	1
17- Torniquete (control de acceso)	1	1
18- Parlantes	4	4
19-Microfono	1	1
Cantidad de buses	30	20

7.2 Costos operativos y de mantenimiento a largo plazo.

En la siguiente tabla se presentan los precios de algunos combustibles en Colombia, a inicio del presente año⁹.

Valores están reportados en COP/galón	
IP GASOLINA MOTOR CORRIENTE (incluye oxigenadas)	10.380,44
IP ACPM (incluye oxigenados)	5.347,41
IP ALCOHOL CARBURANTE	15.994,00
IP BIODIESEL	21.572,30

Fuente: SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PETROLEO Y GAS, UPME.

Para evaluar las opciones de flota, se realizó un análisis comparativo de costos, considerando vehículos de 12 metros, adecuados para Cartagena.

⁹ SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PETROLEO Y GAS, UPME.
<https://www1.upme.gov.co/sipg/Paginas/Estructura-precios-combustibles.aspx>

En el análisis se trabajó con los siguientes parámetros:

- Distancia de operación diaria: 200 KM/día
- Distancia operativa anual: 70.000 KM/año
- Distancia del período de funcionamiento: 560.000 KM/8 años.
- Precio unitario del costo de energía \$ 973 /kWh (electricidad)
- Precio unitario del costo de energía \$ 1.193 /m3 (GNC)
- Precio unitario del costo de energía \$ 9.880 /Gl (diésel)

Para ilustrar las diferencias en costos de energía y mantenimiento entre los distintos tipos de vehículos, se presenta la siguiente tabla comparativa. Esta tabla detalla el precio unitario de la energía, el consumo de combustible o electricidad, el costo del consumo de energía por cada 100 km y durante un período de 8 años (equivalente a 560.000 km), así como los costos de mantenimiento anuales y acumulados durante el mismo período. Esta información permitirá una evaluación más precisa de los costos operativos a largo plazo para autobuses diésel de 12 metros, autobuses a gas de 12 metros y autobuses eléctricos de 12 metros.

Energetico	12 Metros Diesel		12 Metros Gas		12-metros Gas-Electric Hybrid		12-metros Electric	
Precio Unitario de Energía (Promerio)	\$ 9.880	Pesos/Gl	\$ 1.193	Pesos/m3	\$ 1.193	Pesos/m3	\$ 973	Pesos/kWh
Consumo de energetico (por 100 km)	8,5	Gl	55,5	m3	35,0	m3	81,0	kWh
Costo del consumo de energía (por 100 km)	\$ 83.521	Pesos	\$ 66.212	Pesos	\$ 41.755	Pesos	\$ 78.813	Pesos
Costo del consumo de energía durante 15 años (1.000.000 KM)	\$ 835.206.195	Pesos	\$ 662.115.000		\$ 417.550.000		\$ 788.130.000	
Mantenimiento								
Costo de mantenimiento (por año)	\$ 172.382.433	Pesos	\$ 103.429.460	Pesos	\$ 89.630.721	Pesos	\$ 80.133.907	Pesos
Costo de mantenimiento durante 15 años (1.000.000 KM)	\$ 2.585.736.490		\$ 1.551.441.894		\$ 1.344.460.811		\$ 1.202.008.611	
Infraestructura	No existente		Existente		Existente		Inversión nueva	
TOTAL	\$ 3.420.942.686		\$ 2.213.556.894		\$ 1.762.010.811		\$ 1.990.138.611	

Fuente: Análisis técnico de tecnologías motrices de Autobuses: Diésel Euro VI, Gas Natural Vehicular (GNV) Euro VI, Eléctrico e Híbrido Gas-Eléctrico.

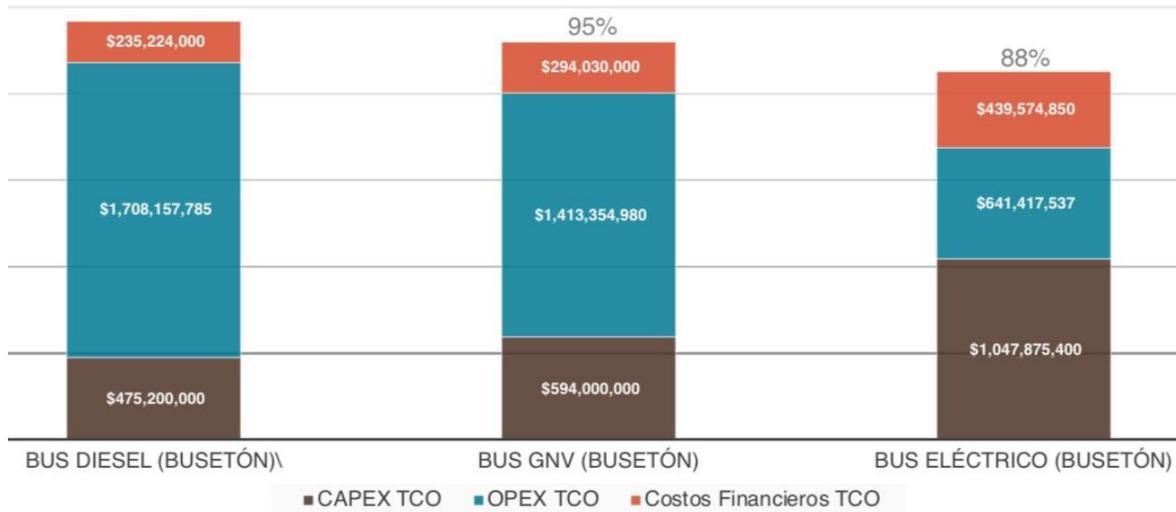
El mayor costo de consumo de energía x 100 Km lo tiene la tecnología Diesel, \$83.521, le sigue los vehículos eléctricos, \$78.813, y finalmente, los vehículos a gas, \$66.212. En cuanto al costo de mantenimiento x año, los valores son: Diesel \$172.382.433, GNV \$103.429.400 y vehículos eléctricos \$80.133.907.

El menor valor total en pesos constantes año 2024, considerando un marco temporal de 15 años, es el vehículo con tecnología hibrida con motor basado en GNV, seguido del eléctrico y el GNV dedicado puro. A partir de la exigencia del cumplimiento de la norma Euro VI, el Diesel ha perdido competitividad por el costo inicial del bus, por el costo de mantenimiento y por el costo del combustible.

El Ministerio de Transporte a través de la UMUS, compartió los datos de pilotos realizados con flota eléctrica tipología buseton de 7 y 9 metros, información que se incluye en el presente documento, aclarando que el escenario mas comparable con la ciudad de

Cartagena es el piloto realizado en la ciudad de Medellín, en el cual se utilizaron buses de 9 metros que es una de las tipologías a adquirir por parte de Transcaribe

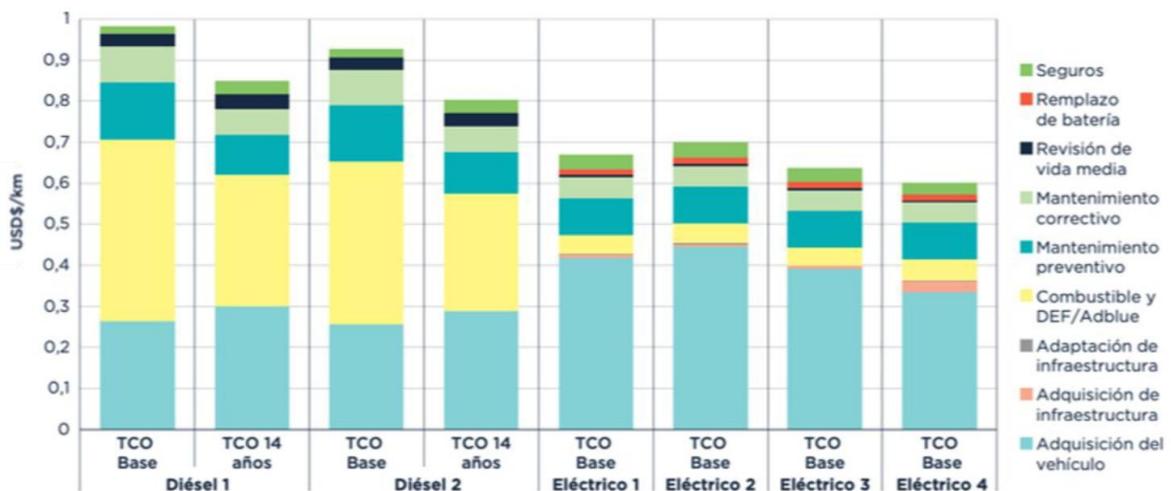
Ciudades medias colombianas



Fuente: Taller: Mecanismos de cofinanciación para ascenso tecnológico. ZEBRA, ICCT, C40 cities, Ministerio de Transporte.

En la anterior imagen el costo de bus Diesel esta por debajo del precio del mercado, por lo cual se puede deducir que en el análisis no se utilizó Diesel bajo la normativa Euro VI. El comparativo tampoco considera la inversión en infraestructura que se debe hacer en el caso de utilizar tecnología eléctrica.

Santiago, Chile



Fuente: Taller: Mecanismos de cofinanciación para ascenso tecnológico. ZEBRA, ICCT, C40 cities, Ministerio de Transporte.

La grafica anterior corresponde a un análisis de costos totales o TCO y aunque solo considera tecnologías Diesel versus flota eléctrica, es decir, no incluye GNV, debido a que el análisis versó sobre un sistema en operación en el cual se utilizan las tecnologías comparadas en el estudio.

Sin embargo, se cita el estudio del cual se toma la información, toda vez que permite evidenciar la perdida de competitividad del Diesel frente al eléctrico, incluso sin considerar el rápido decrecimiento de los precios de los vehículos, baterías y autopartes de esta tecnología.

7.3 Análisis de ciclo de vida (LCC) de cada opción de combustible.

El Análisis de Ciclo de Vida (LCC) es una herramienta esencial para evaluar la sostenibilidad económica de diferentes proyectos; para el caso que nos ocupa, considera todos los costos asociados a una tecnología, desde su adquisición hasta su disposición final, permitiendo una comparación integral de las implicaciones financieras a largo plazo. Los componentes clave del LCC incluyen: Costos iniciales: Adquisición de vehículos e infraestructura, Costos operativos: Combustible, energía, etc., Costos de mantenimiento: Reparaciones, repuestos, etc. y Costos de disposición final: Desmantelamiento y reciclaje.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que resume los principales hallazgos del Análisis de Ciclo de Vida (LCC) para las diferentes opciones de combustible consideradas.

Criterio	Diésel Euro VI	Gas Natural Vehicular (GNV)	Buses Eléctricos
Costos Iniciales	Altos	Moderados	Muy Altos (tendencia a la baja)
Costos Operativos	Moderados (combustible diésel + urea)	Moderados (combustible GNV)	Bajos (electricidad)
Costos de Mantenimiento	Moderados (predecibles)	Moderados (especializado en sistemas de gas)	Bajos (motores eléctricos) / Altos (baterías)
Costos de Infraestructura	Bajos (infraestructura existente)	Moderados (estaciones de GNV)	Altos (estaciones de recarga)
Vida Útil del Vehículo	Larga	Moderada (tanques de gas)	Alta (motores) / Moderada (baterías)
Costos de Disposición Final	Moderados	Moderados	Altos (baterías)
Costos Totales del Ciclo de Vida	Moderados a Altos (dependiendo del uso)	Moderados	Altos (inicialmente) / Moderados (largo plazo)
Sensibilidad a Precios del Combustible/Energía	Alta (diésel)	Moderada (GNV)	Baja (electricidad)
Impacto Ambiental (CO2)	Alto	Medio	Bajo

Impacto Ambiental (Partículas)	Medio/Alto	Bajo	Cero
-----------------------------------	------------	------	------

El análisis comparativo de los costos del ciclo de vida revela que, si bien los buses eléctricos implican una inversión inicial significativamente mayor debido al costo de las baterías y la tecnología, a largo plazo pueden resultar competitivos gracias a sus bajos costos operativos, derivados del menor precio de la electricidad. En contraposición, los vehículos diésel Euro VI, aunque también con costos iniciales elevados, presentan costos operativos moderados y una vida útil prolongada, lo que los convierte en una opción viable para rutas extensas. No obstante, su alta sensibilidad a las fluctuaciones en el precio del petróleo y su mayor impacto ambiental representan desventajas considerables. Por su parte, el Gas Natural Vehicular (GNV) se posiciona como una alternativa intermedia, con costos iniciales y operativos moderados, y una menor sensibilidad a los precios del combustible, aunque requiere de una infraestructura de suministro específica y un mantenimiento especializado.

En términos de mantenimiento, los buses eléctricos destacan por sus bajos costos en motores, pero el reemplazo de baterías eleva significativamente sus gastos. Tanto el diésel como el GNV implican costos de mantenimiento moderados, con el GNV requiriendo personal especializado. La infraestructura necesaria varía considerablemente, siendo el diésel Euro VI el que menos inversión requiere, al aprovechar la infraestructura existente, mientras que el GNV y los eléctricos demandan la creación de estaciones de servicio y recarga dedicadas. La vida útil de los vehículos también difiere, siendo la del diésel la más prolongada, seguida por los motores eléctricos, mientras que las baterías y los tanques de GNV tienen una vida útil moderada. Finalmente, en cuanto al impacto ambiental, los buses eléctricos se destacan por sus cero emisiones, seguidos por el GNV con un impacto medio, mientras que el diésel presenta el mayor impacto negativo.

7.4 Evaluación de incentivos y subsidios disponibles.

Los vehículos diesel Euro VI no cuentan con incentivos tributarios, por estos se debe pagar el 100% de las tasas arancelarias e IVA, mientras que los vehículos de tecnología GNV y eléctrica se encuentran exonerados de dichos impuestos.

Adicionalmente para el caso de flota GNV los proveedores del combustible cuentan con programas de apoyo e incentivo a las empresas de transporte para que adquieran vehículos con motores dedicados a GNV. Dichos aportes se encuentran alrededor de los \$50 millones de pesos por bus, según el tamaño de este (busetones, padrones o articulados).

Aunque en el caso de los vehículos eléctricos no encontramos esta practica, si es posible la participación de inversionistas y empresas generadoras de energía, quienes pueden implementar modelos PPA para el suministro de energía de largo plazo, que bien pueden ser con energía solar u otras renovables, lo que permite conocer el valor del energético a largo plazo y brinda estabilidad para modelos de financiación de flota.

8. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL

La adopción de combustibles alternativos tiene implicaciones ambientales y sociales que deben ser evaluadas. Este capítulo analiza el impacto de cada opción de combustible en la calidad del aire, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de empleo y la aceptación de la comunidad.

8.1 Calidad del Aire

Gas Natural Vehicular (GNV): El GNV produce significativamente menos material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx) en comparación con el diésel. Reduce las emisiones de CO₂, aunque no las elimina por completo. Tiene un impacto positivo en la calidad del aire urbano, disminuyendo los riesgos de enfermedades respiratorias.

Flota Eléctrica: No produce emisiones directas de contaminantes atmosféricos, lo que mejora significativamente la calidad del aire local. La huella de carbono depende de la fuente de energía eléctrica utilizada (renovable vs. fósil). Contribuye a reducir la contaminación acústica, ya que los buses eléctricos son más silenciosos.

Flota a Diésel: Genera altas emisiones de PM, NOx y CO₂, contribuyendo a la contaminación del aire y problemas de salud pública. Es la opción con mayor impacto negativo en la calidad del aire urbano. Genera alta contaminación auditiva.

8.2. Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Gas Natural Vehicular (GNV): Reduce las emisiones de GEI en comparación con el diésel, pero no es una solución de cero emisiones. Su contribución a la mitigación del cambio climático es moderada.

Flota Eléctrica: Tiene el potencial de reducir significativamente las emisiones de GEI, especialmente si la electricidad proviene de fuentes renovables. Es una opción clave para la descarbonización del transporte público.

Flota a Diésel: Es la opción con mayores emisiones de GEI, contribuyendo significativamente al cambio climático. No es una opción sostenible a largo plazo.

8.3. Generación de Empleo

Gas Natural Vehicular (GNV): Genera empleo en la construcción y mantenimiento de la infraestructura de suministro de GNV. También crea oportunidades en la distribución y comercialización del combustible.



Flota Eléctrica: Genera empleo en la instalación y mantenimiento de la infraestructura de carga eléctrica. Impulsa el desarrollo de la industria de vehículos eléctricos y tecnologías relacionadas. La posible fabricación de parte de la infraestructura, podría generar un aumento de plazas de trabajo.

Flota a Diésel: Tiene un impacto limitado en la generación de empleo local, ya que la infraestructura y el combustible están bien establecidos. La tendencia mundial, es que este sector, disminuya su oferta de empleo.

8.4. Aceptación de la Comunidad

Gas Natural Vehicular (GNV): Generalmente tiene una buena aceptación debido a su menor impacto ambiental en comparación con el diésel. El ruido y el olor son menos problemáticos que con los buses diésel.

Flota Eléctrica: Tiene el potencial de alta aceptación debido a su cero emisiones y bajo nivel de ruido. La confianza en la tecnología y la disponibilidad de infraestructura de carga son factores clave.

Flota a Diésel: Tiene baja aceptación debido a la contaminación del aire y el ruido. La comunidad está cada vez más consciente de los impactos negativos para la salud.

Dado que Transcribe ya opera con Gas Natural Vehicular (GNV), se reconoce que esta tecnología representa una mejora ambiental significativa en comparación con el diésel. No obstante, la flota eléctrica emerge como la opción más sostenible a largo plazo para la ciudad de Cartagena. Por lo tanto, se sugiere considerar la viabilidad de una transición gradual hacia la electrificación del sistema, aprovechando al máximo la infraestructura de GNV existente. Para maximizar los beneficios ambientales de esta transición, es fundamental fomentar la generación de energía renovable. La aceptación de la comunidad y una planificación meticulosa son elementos cruciales para garantizar el éxito de cualquier cambio en la tecnología de combustible del SITM. En resumen, si bien el GNV constituye un avance respecto al diésel, será importante iniciar la adopción de flota eléctrica en la gradualidad exigida en la Ley 1964 de 2019, lo que permite a Transcribe cumplir con el marco normativo referente a tecnologías de baja o cero emisión, cumplir con el 10% de flota eléctrica exigido para adquisiciones que se realicen durante los años 2025 y 2026, aprovechar la infraestructura de abastecimiento GNV y empezar a tener conocimiento sobre la infraestructura eléctrica, rendimiento y costo de mantenimiento de flota eléctrica, lo que le permitirá tener el know how para futuras adquisiciones de flota eléctrica a los que se deberá enfrentar a fuerza de ley, En este sentido la flota híbrida con principio de combustión GNV y respaldo eléctrico se constituye en una opción alternativa viable.



9. RECOMENDACIONES Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Con base en el análisis integral realizado, este capítulo presenta las recomendaciones para la selección del tipo de combustible más adecuado para la flota del SITM Transcaribe. Se propone una estrategia para la transición gradual y la adaptación de la infraestructura, así como un plan de monitoreo y evaluación del desempeño ambiental y económico.

9.1 Selección de Combustible y Transición

Adopción Prioritaria de GNV:

- Dada la infraestructura existente (megapatio y estaciones de GNV), la experiencia operativa de los transportadores, y la competitividad en costos de inversión y operación comparado con la flota eléctrica y diésel, se recomienda la adopción prioritaria de autobuses GNV.
- Esta decisión se fundamenta en el cumplimiento de la normativa ambiental (Euro VI y clasificaciones de bajas/cero emisiones), la disponibilidad de oferta de flota GNV, y la optimización de los costos operativos y de mantenimiento.

Transición Gradual Hacia la Electrificación:

- Reconociendo el potencial a largo plazo de la flota eléctrica, se propone un plan de transición gradual, iniciando con la adquisición del 10% de vehículos eléctricos para los años 2025 y 2026, cumpliendo con la Ley 1964 de 2019.
- Se recomienda monitorear la evolución del mercado de vehículos eléctricos, las políticas de transición energética, y la viabilidad económica para futuras actualizaciones de la flota.
- Implica la gestión con el gobierno nacional, para obtener subvenciones o inversión directa para la compra de los vehículos eléctricos.

9.2. Adaptación de la Infraestructura

Optimización de la Infraestructura GNV:

- Aprovechar al máximo la infraestructura GNV existente para minimizar costos y facilitar la transición.

Planificación para Infraestructura de Carga Eléctrica:

- Desarrollar un plan estratégico para la implementación gradual de la infraestructura de carga eléctrica, considerando las necesidades actuales y futuras de la flota eléctrica.

9.3. Monitoreo y Evaluación

Desempeño Ambiental y Económico:

- Establecer un plan de monitoreo continuo del desempeño ambiental y económico de la flota, incluyendo emisiones, costos de operación, y eficiencia energética.



- Este plan debe permitir la evaluación comparativa de las tecnologías GNV y eléctrica, y la identificación de oportunidades de mejora.

Cronograma de Implementación:

- Desarrollar un cronograma detallado para la implementación de las recomendaciones, incluyendo hitos, responsabilidades, y plazos.

9.4 Consideraciones Adicionales

Esta propuesta busca un equilibrio entre la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental, aprovechando la infraestructura existente y planificando una transición gradual hacia la electrificación. La experiencia de Cartagena con la flota de GNV, debe ser el punto de partida para la mejora continua del SITM.

