



Implementada por



# Estudio de análisis y prospectiva de la electro-movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030



Instituto de Investigación Geológico y Energético

Instituto de Investigación Geológico y Energético









cooperación  
alemana  
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementada por

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA**

Guillermo Lasso Mendoza

**MINISTRO DE ENERGÍA Y MINAS**

Fernando Santos Alvite

**DIRECTOR EJECUTIVO IIGE**

Jaime Jarrín Jurado

**DIRECTORA DE COMUNICACIÓN SOCIAL**

Mayra Pacheco Pazmiño

**AUTORES**

Paola Quintana Villacis  
Henry Acurio Flores  
Juan Fonseca Palacios  
Angélica Vaca Yáñez  
Rodrigo Ullauri Guaranga  
Santiago Tinajero Álvaro  
Sebastián Villacrés Quintana

**COLABORADORES**

Sebastián Espinoza Echeverría  
Javier Fontalvo Díaz  
Juan Jijón Valdivieso  
Álvaro Corral Naveda  
Luis Fernández Suárez  
Omar Ramos Contero

**REVISIÓN Y CORRECCIÓN**

Diego Correa Barahona  
Alexis Zaldumbide Manosalvas  
Alex Polanco Chévez

**DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**

Cristian Espinosa Velasteguí  
Santiago Larrea Maldonado  
Daniela Ruales Flores

**ISBN**

Código 978-9942-8905-5-9

Primera edición, 2023  
Instituto de Investigación  
Geológica y Energética  
Av. de la República E7-263 y Diego de  
Almagro - Edificio Sky, Planta baja  
www.geoenergia.gob.ec

La reproducción parcial o total de esta  
publicación, en cualquier forma y por  
cualquier medio mecánico o electrónico, está  
permitida siempre y cuando sea autorizada  
por los editores y se cite correctamente la  
fuente.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA  
PROHIBIDA SU VENTA



Ministerio de Energía y Minas

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación.

Instituto de Investigación Geológica y Energética



GUILLERMO LASSO  
PRESIDENTE





## PRESENTACIÓN

El Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), es un Instituto Público de Investigación adscrito al Ministerio de Energía y Minas (MEM), su misión es la de “generar y promover conocimiento en el ámbito de la geología y la energía, mediante investigación científica, asistencia técnica y servicios especializados para el aprovechamiento responsable de los recursos renovables y no renovables, contribuyendo a la toma de decisiones en beneficio de la sociedad”.

Por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) está presente en la cooperación internacional y cooperación al desarrollo en Ecuador desde 1962. Mediante la colaboración financiera del Gobierno Alemán y el acompañamiento técnico de la GIZ, fue posible el desarrollo del “Estudio de análisis y prospectiva de la electro-movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030”.

La eficiencia energética en el sector transporte es una de las principales líneas de investigación del IIGE, debido al impacto que tiene este sector en el consumo energético nacional y su dependencia en los combustibles fósiles. Priorizando la investigación enfocada a la movilidad sostenible, el Instituto marca la base para el remplazo de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos.

La electro-movilidad es un tema que ha despertado interés a nivel mundial en el sector público, privado y academia. En América Latina la temática aún requiere ser desarrollada, tanto en conceptualización como en implementación y en Ecuador la situación es similar, por lo que se vuelve imperativo continuar procesos de investigación y generar sustentos técnicos que validen la introducción de este nuevo tipo de modalidad, aprovechando sus beneficios y minimizando los efectos negativos.

El presente documento expone el desarrollo y resultados del proyecto “Estudio de análisis y prospectiva de la electro-movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030” gestionado por el IIGE, lo que ha permitido elaborar una línea base de la demanda energética actual, escenarios de la demanda futura para la electro-movilidad con una proyección al 2030, para la introducción de vehículos eléctricos (autobuses) al transporte público urbano en ciudades intermedias en Ecuador. Además, el desarrollo de una hoja de ruta para la incorporación de vehículos eléctricos al transporte público en Ecuador, lo que permitiría cumplir con los compromisos en términos de políticas de cambio climático y metas de ahorro de energía, logrando que el sector transporte del país sea más competitivo.

**Mgs. Rina Paola Quintana Villacis**

Líder – Línea de Investigación de Eficiencia  
Energética en el sector Transporte



# Índice

<b>1. Contexto Nacional de la Electro-movilidad en el Transporte Público Urbano</b> .....	14
1.1. Contexto Mundial y Nacional .....	14
1.2. Ciudades Intermedias .....	22
1.3. Situación Actual de Ciudades Caso de Estudio .....	25
1.3.1. Ambato .....	25
1.3.2. Cayambe .....	29
<b>2. Electro-movilidad, Tecnología y Energía</b> .....	34
2.1. Identificación de tecnologías y servicios asociados a la movilidad eléctrica en el transporte público .....	36
2.2. Cargador tipo enchufable plug-in .....	40
2.3. Cargador tipo pantógrafo.....	40
2.4. Cargador por inducción .....	40
2.5. Conectores para carga de vehículos eléctricos .....	41
2.6. Baterías para autobuses eléctricos y sus características .....	43
2.7. Reciclado y reutilización de las baterías .....	44
2.8. Identificación de servicios asociados a la movilidad eléctrica en el transporte público .....	45
2.9. Situación actual de la electro-movilidad en Ecuador.....	46
2.10. Marco legal de la electro-movilidad en Ecuador .....	46
<b>3. Análisis Eléctrico</b> .....	48
3.1. Red Eléctrica en Ciudades de Estudio .....	48
3.2. Topología de la Red Eléctrica del Cantón Ambato .....	48
3.3. Topología de la Red Eléctrica del Cantón Cayambe .....	50
3.4. Potencia de autoabastecimiento y autoconsumo.....	51
3.4.1. Definición de Generación Distribuida .....	51
3.4.2. Condiciones para sistemas de autoabastecimiento en las ciudades de estudio .....	55
3.4.3. Estimación de la capacidad fotovoltaica para carga de autobuses eléctricos en terminales priorizadas.....	58
3.4.4. Terminales Terrestres .....	58
3.4.5. Terminales terrestres ciudad de Cayambe .....	58
3.4.6. Terminales terrestres ciudad de Ambato .....	59
3.4.7. Método de estimación de capacidad fotovoltaica para carga de autobuses eléctricos .....	60
3.4.8. Resultados Ciudad de Cayambe .....	61
3.4.9. Resultados Ciudad de Ambato .....	62

<b>4. Escenarios de Prospectiva Energética para la Introducción de Electro-movilidad</b> .....	64
4.1. Escenario BAU (Tendencial) .....	65
4.2. Escenario CEET (Conservador) .....	65
4.3. Escenario MEET (Máximo esfuerzo) .....	65
4.4. Transporte privado .....	65
4.5. Transporte comercial.....	65
4.6. Resultados de escenarios a nivel nacional .....	66
<b>5. Hoja de Ruta al 2030</b> .....	72
5.1. Componentes.....	72
5.2. Plazos de implementación.....	72
5.3. Barreras e Iniciativas.....	73
<b>6. Conclusiones</b> .....	77
<b>7. Trabajos citados</b> .....	78
<b>8. Índice abreviaturas</b> .....	83

## Listado de figuras

<b>Figura 1:</b> Eficiencia relativa de carbono en los modos de transporte urbano de pasajeros.....	15
<b>Figura 2:</b> NDC's Electro-movilidad ALC.....	16
<b>Figura 3:</b> Evolución de la demanda de energía por sector (kBEP).....	18
<b>Figura 4:</b> Demanda de energía por sector (%).....	18
<b>Figura 5:</b> Consumo de energía por fuente (%).....	18
<b>Figura 6:</b> Consumo de energía por tipo de transporte.....	19
<b>Figura 7:</b> Emisiones de GEI por actividad (%).....	19
<b>Figura 8:</b> Ranking Autobuses eléctricos ALC.....	21
<b>Figura 9:</b> Ciudades grandes e intermedias en el Ecuador según Censo 2010.....	25
<b>Figura 10:</b> División político administrativa y poblados del cantón Ambato.....	26
<b>Figura 11:</b> Medio de transporte utilizado en la actividad que demanda mayor tiempo de movilización al día.....	28
<b>Figura 12:</b> Crecimiento histórico parque automotor clave.....	28
<b>Figura 13:</b> División político administrativa y poblados del cantón Cayambe.....	29
<b>Figura 14:</b> Parque automotor matriculado Pichincha.....	30
<b>Figura 15:</b> Parque automotor clave Pichincha.....	31
<b>Figura 16:</b> ODS - PMS Cayambe.....	31
<b>Figura 17:</b> Estación de carga para autobuses eléctricos en Guayaquil.....	36
<b>Figura 18:</b> Diagrama esquemático de la infraestructura de recarga.....	38
<b>Figura 19:</b> Infraestructura de recarga eléctrica.....	39
<b>Figura 20:</b> Tipos de cargadores según tecnología.....	39
<b>Figura 21:</b> Resumen de cargadores aplicados a autobuses eléctricos.....	41
<b>Figura 22:</b> Estándares para conectores y puertos de carga de vehículos eléctricos.....	42

<b>Figura 23:</b> Servicios asociados a la movilidad eléctrica en el servicio público.....	45
<b>Figura 24.</b> Topología eléctrica de la red de subtransmisión de la ciudad de Ambato.....	48
<b>Figura 25.</b> Topología eléctrica de la red de distribución del cantón Cayambe.....	51
<b>Figura 26.</b> Modelo tradicional de generación eléctrica vs modelo integrando la Generación Distribuida.....	52
<b>Figura 27.</b> Autobuses eléctricos homologados en el país.....	56
<b>Figura 28.</b> Terminales Terrestres en la ciudad de Cayambe.....	59
<b>Figura 29.</b> Terminales Terrestres en la ciudad de Ambato.....	60
<b>Figura 30:</b> Evolución del parque de autobuses a nivel nacional en el escenario BAU.....	66
<b>Figura 31:</b> Evolución del parque de autobuses a nivel nacional en el escenario CEET.....	67
<b>Figura 32:</b> Evolución del parque nacional de autobuses eléctricos para los escenarios BAU, CEET, MEET.....	67
<b>Figura 33:</b> Evolución del parque nacional de autobuses a combustión interna para los escenarios BAU, CEET, MEET.....	68
<b>Figura 34:</b> Composición del parque nacional de autobuses en los escenarios a) CEET y b) MEET.....	68
<b>Figura 35:</b> Comparación de consumo energético de autobuses en los escenarios BAU, CEET y MEET.....	69
<b>Figura 36:</b> Consumo eléctrico del parque de autobuses a nivel nacional en los escenarios CEET y MEET.....	70
<b>Figura 37:</b> Comparación de emisiones de gases de efecto invernadero por autobuses a nivel nacional.....	70
<b>Figura 38:</b> Hoja de Ruta 2030.....	74

## Listado de tablas

<b>Tabla 1:</b> Autobuses eléctricos y emisiones evitadas en ALC .....	17
<b>Tabla 2:</b> NDC's Transporte – Ecuador 2019 .....	20
<b>Tabla 3:</b> Autobuses eléctricos y emisiones evitadas en Ecuador .....	22
<b>Tabla 4:</b> Población Urbana y Rural de Ecuador - Datos 2010.....	23
<b>Tabla 5:</b> Jerarquización de asentamientos humanos en Ecuador.....	24
<b>Tabla 6:</b> Emisiones.....	27
<b>Tabla 7:</b> Transporte público.....	27
<b>Tabla 8:</b> Resumen de Estrategias de recarga seleccionadas para autobuses eléctricos.....	42
<b>Tabla 9:</b> Autobuses eléctricos homologados en Ecuador.....	44
<b>Tabla 10:</b> Esperanza de vida reportada de las baterías de vehículos eléctricos en aplicaciones de reutilización .....	45
<b>Tabla 11:</b> Subestaciones de la red de subtransmisión de la ciudad de Ambato.....	50
<b>Tabla 12:</b> Clasificación de la Generación Distribuida .....	54
<b>Tabla 13:</b> Tecnologías de la Generación Distribuida.....	54
<b>Tabla 14:</b> Características del autobús a combustión interna más utilizado en el país.....	56
<b>Tabla 15:</b> Características del autobús eléctrico idóneo para el uso en el país.....	57
<b>Tabla 16:</b> Distribución de unidades por umbral de aplicabilidad Cayambe.....	57
<b>Tabla 17:</b> Distribución de unidades por umbral de aplicabilidad Ambato.....	57
<b>Tabla 18:</b> Detalles Panel Fotovoltaico.....	58
<b>Tabla 19:</b> Coordenadas referenciales para la proyección de energía fotovoltaica.....	61
<b>Tabla 20:</b> Ficha técnica del panel solar Cayambe .....	62
<b>Tabla 21:</b> Ficha técnica del panel solar Ambato .....	62

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el aporte financiero del proyecto “Estudio de análisis y prospectiva de la electro-movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030”; al Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) y a la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), así como a los directivos del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) por el apoyo brindado en la elaboración de este libro.



Bus 100% eléctrico



# 1. Contexto Nacional de la Electro-movilidad en el Transporte Público Urbano

## 1.1. Contexto Mundial y Nacional

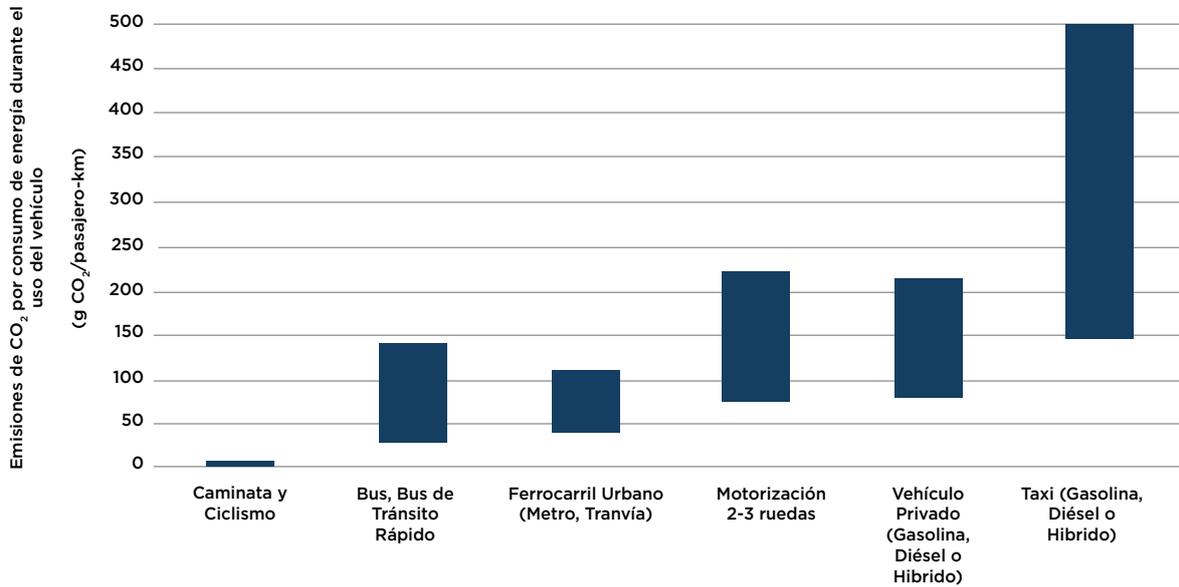
En las últimas décadas, las ciudades han acrecentado significativamente sus densidades poblacionales, esto ha ocasionado que hoy más del 50 % de la población mundial viva en zonas urbanas y asimismo, ha concentrado la generación del 80 % del producto interno bruto (PIB) mundial dentro de estos sitios [1]. Según la proyección de los datos existentes se espera que esta tendencia se mantenga y que para el año 2050 la población urbana aumente a más del doble [1]. Este fenómeno, el cual parte de una urbanización acelerada, provoca una serie de oportunidades como son: el crecimiento económico, el impulso para el aumento de la productividad y el desarrollo de innovación; y por otro lado, también se crea un conjunto de desafíos como: el aumento de la contaminación ambiental, proliferación de viviendas informales y la necesidad del establecimiento de políticas públicas orientadas a mantener la sostenibilidad urbana.

La urbanización acelerada, influye directamente en varios sectores estratégicos. Uno de los sectores con mayor nivel de interrelación con el fenómeno descrito es el transporte público urbano, el cual es fundamental para respaldar el crecimiento económico, crear empleo y conectar a las personas con los servicios esenciales (atención de la salud, educación, etc.) [2]; por ello, debe tener las capacidades necesarias para responder de manera eficiente y sostenible a las nuevas demandas generadas por el crecimiento demográfico.

En el contexto global actual, las ciudades son las responsables del 70 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas a nivel mundial y un tercio de las emisiones producidas en las ciudades son generadas por el transporte [3], esto se debe primordialmente a la gran dependencia de combustibles fósiles como fuente de energía y a la baja eficiencia energética presente en los motores

a combustión interna [4] utilizados como medio de propulsión para la movilización, esto se puede evidenciar en la Figura 1 la cual presenta la eficiencia

relativa de carbono en los modos de transporte urbano de pasajeros. La sostenibilidad energética actual del transporte público en las ciudades se ha



**Figura 1:** Eficiencia relativa de carbono en los modos de transporte urbano de pasajeros. Fuente: [5].

vuelto una instancia relevante a ser tratada para lograr el cumplimiento de compromisos adquiridos por diferentes países a nivel mundial, para reducir los GEI y mantener el calentamiento global por debajo de los 2 grados centígrados para el final del siglo [6]. Esto se ha convertido en el punto de partida para la búsqueda de alternativas que permitan la descarbonización del transporte; y, entre las principales propuestas se encuentran:

1. Fomentar el uso de combustibles alternativos.
2. Renovación de flotas de vehículos a tecnologías más limpias y eficientes.
3. Generar modelos de movilidad alternativa, personal o compartida.
4. Automatizar, optimizar y conectar los sistemas de transporte.

De las propuestas mencionadas, la que se encuentra en mayor auge y con mayor potencial en las ciudades es la enfocada hacia la renovación de flotas de transporte urbano con tecnologías más limpias y eficientes [7], esta conversión tecnológica se define bajo el término de electro-movilidad y se orienta en utilizar medios de transporte que utilicen electricidad como fuente de energía primaria y así desplazar el uso de combustibles fósiles para la propulsión del medio de transporte. El Ins-

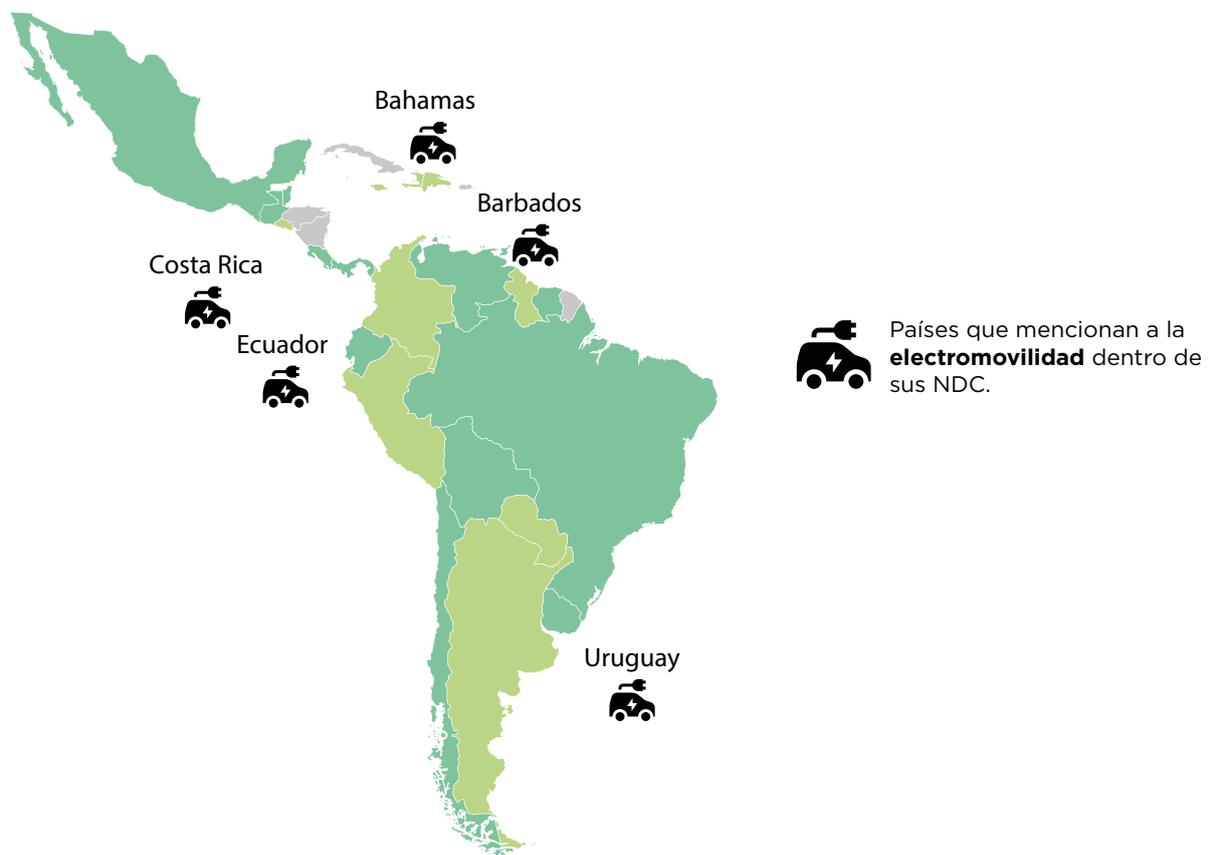
tituto para el Transporte y Desarrollo de Políticas (ITDP, por sus siglas en inglés) en su publicación: *“From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities”* señala que hasta el año 2040, el 67 % la flota global de autobuses será eléctrica y esto justificado por el constante desarrollo de la tecnología empleada, el crecimiento de oferta, la eficiencia energética, las oportunidades de financiamiento y la reducción del impacto ambiental.

Dentro de la región de América Latina y el Caribe (ALC), más allá de los desafíos mencionados, existen otros, los cuales inciden directamente en los sistemas de transporte de las ciudades. Uno de estos es la tasa de motorización, la cual presenta un crecimiento anual promedio igual al 4,7 % y que en 2015 alcanzó los 201 vehículos por cada 1 000 habitantes, siendo uno de los más altos a nivel mundial [8]; a eso, también debe añadirse la edad del parque automotor, la cual se encuentra por encima de los promedios mundiales y, la baja calidad de servicio existente en el servicio de transporte público urbano.

De otro lado, la región presenta oportunidades clave para apalancar la descarbonización y la transición a la electro-movilidad en el transporte público urbano, una de estas se refiere a la matriz de

producción energética, la cual es significativamente menor en términos de contaminación respecto a otros países desarrollados. En términos cuantificables, la región presenta un factor de emisión de 0,21 kgCO<sub>2</sub>/kWh siendo un 62 % inferior al de Estados Unidos, 69 % más bajo que el de Alemania y 49 % menor al de Países Bajos [9]. Otra motivación dentro de la región para apoyar la electrificación del transporte público urbano es el cumplimiento de compromisos denominados como Contribuciones

Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) que forma parte de las responsabilidades adquiridas por los países miembros del Acuerdo de París, el cual representa un tratado internacional jurídicamente vinculante y adoptado por los miembros de las Naciones Unidas y se enfoca en el cambio climático y la reducción de GEI. En este sentido, en la Figura 2 se exhibe los países de ALC que incluyen a la electro-movilidad dentro de sus NDC.



**Figura 2:** NDC's Electro-movilidad ALC.  
**Fuente:** [10].

A más de los países mencionados, existen otros que conforman la región ALC y que a pesar de no considerar directamente a la electro-movilidad dentro de sus NDC's, han realizado un trabajo sobre el tema desde el año 2017 para lograr la introducción de autobuses eléctricos dentro de sus sistemas de transporte público urbano, logrando mantener una curva de crecimiento constante

partiendo desde 725 hasta alcanzar la cantidad actual de 4 133 autobuses eléctricos, con esto ALC ha logrado evitar la emisión de un total de 400,73 kt de CO<sub>2</sub> por año [11]. En la Tabla 1, se encuentra el detalle hasta el presente año respecto al aporte para la introducción de autobuses eléctricos y reducción de emisiones en ALC de cada país involucrado.



**Tabla 1: Autobuses eléctricos y emisiones evitadas en ALC.**

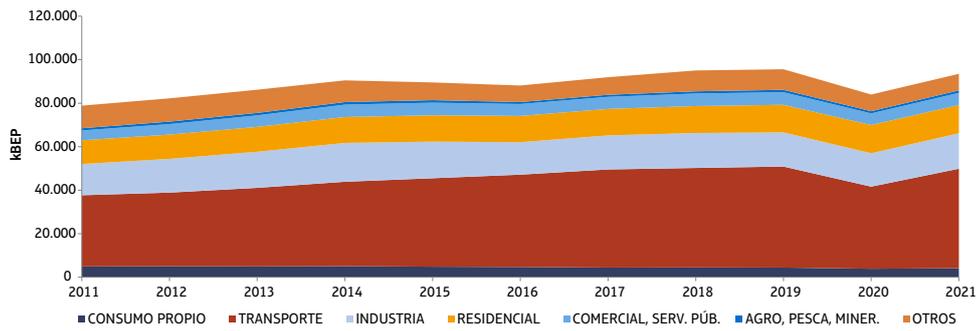
No	País	Autobuses Eléctricos [u]	Emisiones de CO <sub>2</sub> Evitadas por año [kt]
1	Colombia	1 589	112,42
2	Chile	1 223	132,56
3	México	606	71,38
4	Brasil	376	46,02
5	Ecuador	106	11,98
6	Argentina	97	10,95
7	Barbados	49	5,53
8	Venezuela	45	5,08
9	Uruguay	36	4,06
10	Perú	4	0,52
11	Paraguay	2	0,23

Fuente: [11].

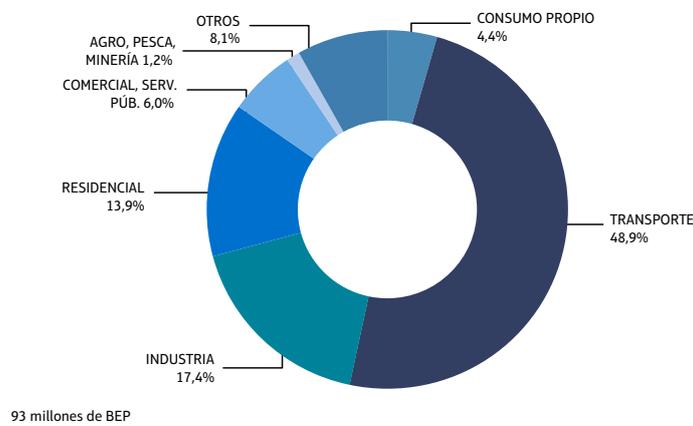
Ecuador también se ha visto influenciado por los efectos del fenómeno de urbanización acelerada, llegando a concentrar el 64 % de la población dentro de las ciudades [12] y alcanzando una tasa de motorización de 143 vehículos por cada 1 000 habitantes [13]. Esto se ve reflejado en las estadísticas presentadas por el INRIX 2022, en donde la ciudad de Quito (Capital de Ecuador) ocupa el tercer lugar como la ciudad más congestionada de América del Sur y el puesto número 40 a nivel mundial generando una pérdida a la población de 70 horas en el tráfico [14]. Por otro lado, a nivel nacional el sector transporte es considerado como el mayor demandante de energía con un valor promedio de 40,5 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP) en los últimos 10 años (Figura 3), en el año 2021 alcanzó una demanda del 48,9 % respecto al resto de sectores (Figura 4) y el energético con mayor

demanda dentro del sector transporte fueron los combustibles fósiles (diésel y gasolinas) alcanzando un 98,9 % del total (Figura 5).

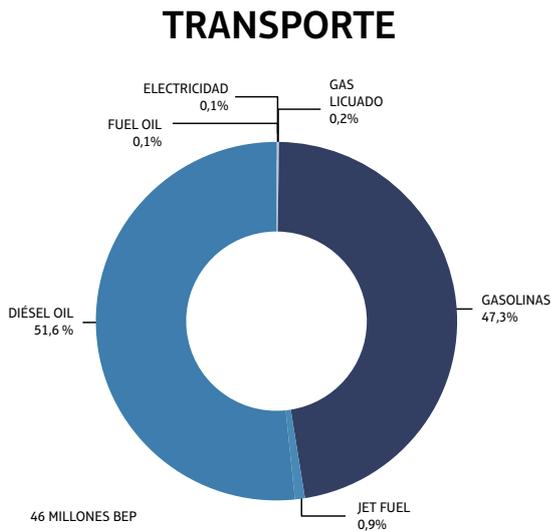
Realizando una desagregación más detallada del sector se puede constatar que en Ecuador el transporte terrestre es el mayor consumidor de energía con un 94 % respecto a los otros tipos, y dentro del transporte terrestre la demanda generada por autobuses es igual al 4 % y la mayor concentración de demanda se encuentra en el transporte de carga pesada alcanzando un 47 % (Figura 6). El nivel de demanda energética referida al sector transporte en el año 2021 se encuentra relacionado directamente con la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes cuantificadas, las cuales alcanzaron el 50,7 % del total generadas por todas las actividades (Figura 7) [15].



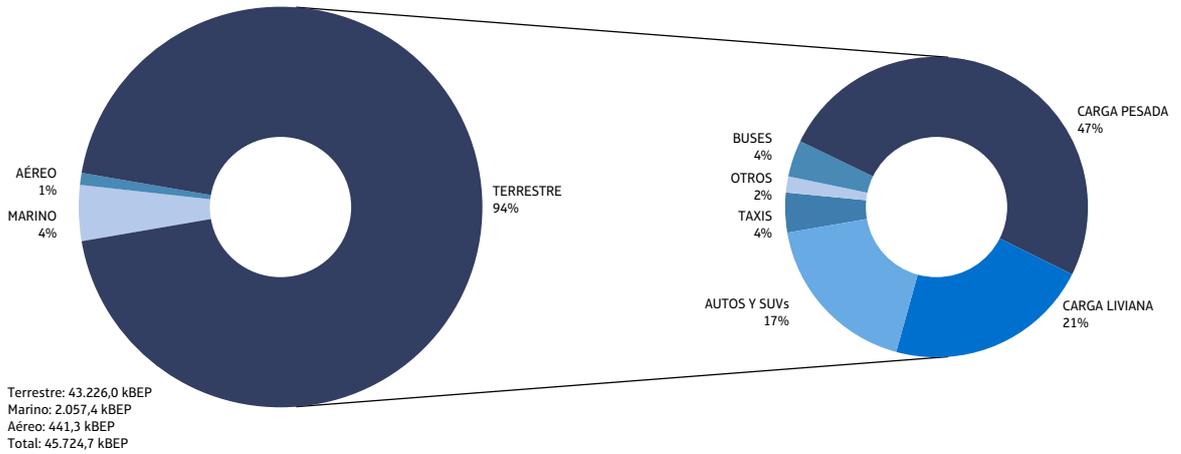
**Figura 3:** Evolución de la demanda de energía por sector (kBEP).  
**Fuente:** [15].



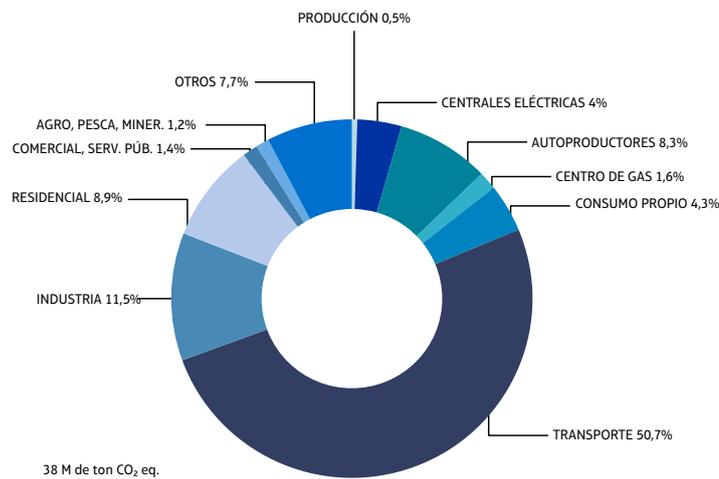
**Figura 4:** Demanda de energía por sector (%).  
**Fuente:** [15].



**Figura 5:** Consumo de energía por fuente (%).  
**Fuente:** [15].



**Figura 6:** Consumo de energía por tipo de transporte.  
**Fuente:** [15].



**Figura 7:** Emisiones de GEI por actividad (%).  
**Fuente:** [15].

Además, el país dentro de sus NDC's ha considerado al transporte como elemento clave del sector energía y ha definido líneas de acción e iniciativas orientadas a la mitigación del cambio climático, todo esto evaluando dos posibles escenarios, los cuales se encuentran restringidos en función de capacidades y recursos. Ambos escenarios en esencia incorporan criterios orientados hacia mejorar la eficiencia energética, sostenibilidad, energías renovables y reducción de GEI en el transporte de pa-

sajeros y carga (Tabla 2). A nivel reglamentario el país ha implementado la Ley Orgánica de Eficiencia Energética en la cual se encuentra señalado que a partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio público urbano e intracantonal deberán ser propulsados por medios motrices eléctricos [16]; de la misma forma, la Ley establece un conjunto de nuevos lineamientos para el sector transporte con el objetivo de mejorar la eficiencia energética.

**Tabla 2: NDC's Transporte – Ecuador 2019.**

NDC's 2019: Sector Energía – Transporte			
Escenario	Línea de Acción	Iniciativa	Descripción
<b>Condiciona</b>	<p>Incorporar, reformular y actualizar normativa que impulse el uso de energía sostenible y eficiencia energética de forma incluyente en cada uno de los subsectores. Desarrollar e implementar el transporte seguro y sostenible.</p> <p>Promover el uso y desarrollo de energía renovable, garantizando plena accesibilidad. Promover el uso y desarrollo de eficiencia energética y cambio de conducta de consumo.</p> <p>Promover la investigación para la implementación de soluciones energéticas, reduciendo la brecha de género.</p>	<p>Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadadas (NAMA, por sus siglas en ingles) de transporte de carga y pasajeros.</p>	<p>Acciones de reducción de emisiones de GEI en transporte de carga.</p> <p>Acciones de reducción de emisiones de GEI en transporte de pasajeros en Quito, Guayaquil y Cuenca.</p>
<b>Incondiciona</b>	<p>Impulsar al uso de la energía renovable. Fortalecer la eficiencia energética y el cambio de conducta del consumo. Fomentar e implementar la movilidad sostenible.</p>	<p>Transporte Público Eficiente.</p>	<p>Operación del Metro de Quito (22 km) y Tranvía de Cuenca (11 km).</p>

**Fuente:** [17].

El panorama nacional en términos de producción y distribución de energía eléctrica, es un punto clave para apalancar el desarrollo de la electro-movilidad en el sector transporte público urbano, esto debido a que la nación cuenta con una cobertura eléctrica del 97,3 % [15] y una matriz energética que se encuentra soportada en el 92 % por energías renovables, 1 % por energías no convencionales y únicamente el 7 % proviene de fuentes térmicas [15], logrando que el impacto ambiental y generación directa e indirecta de emisiones de GEI por el consumo de electricidad de la electro-movilidad sea significativamente menor respecto a la realidad actual en donde se utiliza la combustión de fuentes fósiles para la operación de los sistemas de transporte.

Dentro de este marco, localmente se ha aprovechado las oportunidades existentes y se ha desarrollado proyectos con un enfoque hacia la electro-movilidad utilizando diferentes tecnologías y alcances, los cuales se encuentran operando satisfactoriamente en ciertas ciudades del país. En los últimos 5 años, dentro del transporte público urbano se han generado casos de éxito tanto en las ciudades del Ecuador Continental: Guayaquil, Quito y Cuenca, como en la Región Insular (Isla Santa Cruz). Uno de los pioneros

en operar un sistema de transporte público urbano eléctrico fue la ciudad de Guayaquil en el año 2020, logrando la integración de 20 autobuses eléctricos y la movilización de 10 500 pasajeros diarios [18], todo esto empleando la infraestructura vial de la ciudad y según declaraciones del gerente de la Compañía de transporte Saucinc S.A, la flota ha operado más de dos años sin inconvenientes [19]. En las ciudades de Quito y Cuenca se han optado por soluciones de diferente calado, respecto a la primera, tomando como referencia el requisito de infraestructura vial para su operación. Por un lado, la ciudad de Quito se encuentra implementado una solución de movilidad subterránea con propulsión eléctrica denominada como “Metro de Quito”, y se estima que el proyecto una vez que entre en operación comercial transportará a más de 300 000 pasajeros diarios [20]; de forma similar, la ciudad de Cuenca ha implementado y opera un sistema de tren ligero denominado “Tranvía” el cual tiene la capacidad para transportar 40 000 pasajeros diarios [21]. En el mismo sentido, la Isla Santa Cruz en el Archipiélago de Galápagos, desde el año 2021 cuenta con un autobús eléctrico destinado al turismo ecológico, apuntalando la movilidad sostenible dentro de un entorno que requiere un alto nivel de conservación natural [22].

Una mirada rápida permitiría deducir que en Ecuador toda la inversión y desarrollo de proyectos para electro-movilidad para el transporte urbano se está realizando únicamente desde el sector público, pero la realidad es que estos proyectos han permitido que el sector privado analice los beneficios desde diferentes perspectivas y presente propuestas alineadas con la temática enfocada a la mitigación del cambio climático. Un ejemplo de esto son los grupos de entregas, los cuales representan a las multinacionales estadounidenses FedEx y DHL, los cuales tienen objetivos claros relacionados al reemplazo de su flota; así, el primero ha planteado que hasta el 2025 reemplazará toda su flota por vehículos eléctricos con una inversión económica de 1 millón de dólares americanos [23]; la segunda, tiene planeado alcanzar un 90 % de electrificación en su flota hasta el año 2026 [24].

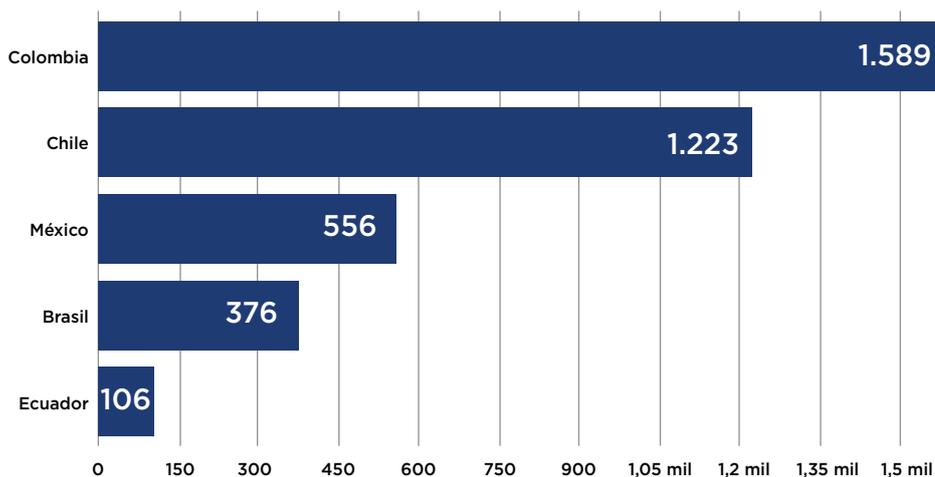
También se debe tener presente que una de las actividades con mayor nivel de emisiones de GEI en el transporte es el de carga pesada, aunque por el momento pensar en soluciones de electro-movilidad para la actividad se vuelve complejo, principalmente por las limitaciones tecnológicas

actuales, existen otras formas para mitigar los efectos directos. Un método para abordar la problemática del transporte de carga pesada fue desarrollado por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), hoy Instituto de Investigación Geológica y Energética (IIGE), el cual evaluó el problema desde un enfoque matemático integrando varios parámetros de diferente naturaleza con el objetivo de optimizar la eficiencia energética en el transporte de carga pesada e hidrocarburos, el detalle de este método se encuentra compilado dentro de la publicación titulada: “Estudio de Optimización Energética de Cadenas Logísticas de Transporte de Carga Pesada en el Ecuador” [25].

Retomando el tema sobre el transporte público urbano, la implementación de buses eléctricos desde el año 2020 ha permitido que observatorios internacionales establezcan a Ecuador en el Top 5 de ALC (Figura 8) respecto a la implementación de esta tecnología y también ha permitido evidenciar resultados importantes respecto al impacto de la electro-movilidad en el sistema de transporte (Tabla 3).

## Ranking

### Países



**Figura 8:** Ranking Autobuses eléctricos ALC.  
Fuente: [11].

Finalmente, la recapitulación de la situación a nivel mundial y los fenómenos existentes que inciden directamente a los sistemas de transporte público urbano, causan efectos que también se decantan a la realidad local y demuestran la importancia de desarrollar soluciones proactivas

orientadas en cumplir con acuerdos internacionales a favor de salvaguardar la sostenibilidad ambiental y el aprovechamiento de recursos renovables, todo esto sin dejar de lado la importancia latente del desarrollo social y económico de las ciudades y su población.

**Tabla 3: Autobuses eléctricos y emisiones evitadas en Ecuador.**

No	Ciudad/Isla	Autobuses	Emisiones de CO <sub>2</sub> Evitadas por año [kt]
1	Guayaquil	20	2,42
2	Santa Cruz	1	0,08
TOTAL		21	2,50

Fuente: [11].

## 1.2. Ciudades Intermedias

La definición de ciudades intermedias no ha sido precisada con exactitud, tampoco existe un consenso general desde la parte académica ni un criterio único para definirla, las variaciones dependen del contexto histórico, demográfico y espacial; así como, tampoco lo es precisar la diferencia entre una ciudad pequeña y una intermedia. El término “intermedia” fue introducido en el ámbito académico a mediados de los años 80, identificándola como referente exclusivo del tamaño demográfico de la ciudad, de este modo, el concepto de ciudad intermedia hace referencia a un contexto territorial específico bien definido. Bajo esta consideración, Llop & Hoeflich [26] precisan que: *“Las ciudades intermedias no se definen sólo en términos de tamaño demográfico y dimensiones específicas de talla, sino sobre la base de las funciones que desempeñan, tales como: su papel en la mediación de los flujos (de bienes, información, innovaciones y administración, etc.) entre las zonas rurales y los territorios urbanos, dentro de sus respectivas áreas de influencia y con respecto a otros centros o áreas urbanas, que pueden estar más o menos distantes de ellas”*.

De la misma forma se han plasmado expresiones conceptualizadas de ciudades intermedias dentro del Cuarto Informe Mundial sobre la Descentralización y la Democracia Local, denominado “Co-Creando el Futuro Urbano. La Agenda de las Metrópolis, las Ciudades Intermedias y los Territorios; desarrollado por la organización Ciudades y Gobiernos Locales Unidos (CGLU), en el que se las denomina así:

*“Ciudades con una población comprendida entre 50 000 y un millón de habitantes que generalmente desempeñan un papel fundamental en conectar importantes áreas rurales y urbanas a equipamientos y servicios básicos”* [27]. Esta definición puede ser aplicada a diferentes contextos y regiones, con un enfoque abierto y dinámico, contrapuesto a las definiciones tradicionales y estáticas fundamentadas en un criterio jerárquico.

Asimismo, las ciudades intermedias también desempeñan un papel singular en la prestación de servicios esenciales tanto a la población urbana como a la rural y son consideradas como centros intermediarios regionales para las ciudades más pequeñas, debido a que conectan a comerciantes y productores con los mercados de las grandes áreas metropolitanas, prestan servicios gubernamentales, educativos, también facilitan el acceso a diversos servicios sociales y especializados [27], por esto cabe mencionar los umbrales de población establecidos para determinar las ciudades intermedias de acuerdo con las siguientes categorías:

- Ciudades Intermedias con población de 500 000 a 1 millón de habitantes.
- Ciudades Intermedias con población de 300 000 a 500 000 habitantes.
- Ciudades Intermedias con población de 100 000 a 300 000 habitantes.
- Ciudades Intermedias con población de 50 000 a 100 000 habitantes.



Si bien el tamaño de la población es definida como una variable importante en la conceptualización de ciudad intermedia, no es la única según lo mencionado en [26] [28], también debe considerarse como importante la función y el rol que desempeña la ciudad, su influencia y la relación que ejerce y mantiene dentro de su territorio y los flujos y relaciones que genera hacia el exterior; es así que, surge la necesidad de contar con un concepto dinámico que tome en cuenta el potencial inherente de las ciudades dentro de su territorio, en este caso, criterios como la calidad de vida en la ciudad, la conectividad, la cooperación con el interior del país, son igualmente importantes en la definición de las ciudades intermedias.

Por lo tanto, entender el papel de las ciudades intermedias en el desarrollo de los sistemas urbanos, además de su potencial para contribuir a las econo-

mías de escala y al desarrollo sostenible, constituye un tema de mucho interés que pretende mejorar la eficiencia de estas ciudades y elevar el rendimiento de las economías. Al mismo tiempo, pueden actuar como amortiguadores de la migración rural, aplacando la presión sobre las áreas metropolitanas y contribuir a reducir la desigualdad entre regiones [29].

Lograr trasladar toda la conceptualización y perspectivas necesarias para la definición de ciudades intermedias dentro de Ecuador, requiere en primera instancia evaluar la población y su distribución. Según el Censo de Población y Vivienda del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Ecuador tiene una población de 14 483 499 habitantes; de los cuales el 63 % pertenece al área urbana y el 37 % al área rural [30].

**Tabla 4: Población Urbana y Rural de Ecuador - Datos 2010.**

Área	Población	Porcentaje
Urbana	9 090 786	63 %
Rural	5 392 713	37 %
Total	14 483 499	100 %

**Fuente:** [30].

Como se evidencia en la Tabla 4, en Ecuador dos tercios de la población habita dentro de un perímetro urbano y esto se contrasta con lo mencionado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). A lo cual debe añadirse lo citado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) en su informe respecto de la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo - 2016, donde se menciona que el modelo de desarrollo urbano no ha sido sustentable en términos económicos, sociales y ambientales y ha generado ciudades inequitativas y excluyentes, con un mercado de suelo con fuertes tendencias especulativas, resultado de la poca capacidad de los municipios de regular, gestionar y planificar el suelo de los cantones, y de la poca articulación entre los distintos actores que intervienen en el territorio. Un proceso de urbanización de estas características, por lo general, genera trastornos socioespaciales con serios efectos en la población y en el territorio, que se pueden resumir como:

- El limitado acceso a suelo para equipamientos, espacio público y vivienda para los sectores de menores ingresos, relacionado con la concentración de la propiedad y los procesos especulativos.
- La segregación espacial urbana, agravada con el fenómeno de los barrios cerrados exclusivos y el crecimiento pensado desde el transporte individual motorizado, dejando de lado a los peatones y las dinámicas sociales y culturales que generan calidad de vida urbana.
- La afectación de los cinturones de reserva ecológica, de los suelos de vocación agrícola, u otras áreas cuyas características no necesariamente sincronizan con la implantación de infraestructura.
- La proliferación de asentamientos en zonas de riesgos y persistencia del mercado informal, causados tanto por la ya mencionada escasez de suelo asequible, la falta de control y, la falta de reglamentación y normativa urbana clara y apropiada.
- La promoción de estructuras urbanas ineficientes

- y disfuncionales con bajos niveles de densidad, y, por lo tanto, dificultades de asegurar dotaciones adecuadas de servicios urbanos.

En segunda instancia, es necesario conocer la división político - administrativa de la nación, según la Cancillería del Ecuador en 2021, el país se encontraba conformado por 221 cantones distribuidos en las 24 provincias. En base a estos datos se puede apreciar que la ciudad de Quito en el año 2020 contó con una población de 2 781 641, convirtiéndose en la ciudad con el mayor número de habitantes, seguida de Guayaquil con 2 723 665 habitantes. Estas dos ciudades constituyen las metrópolis

del país. En tercer lugar, se encuentra la ciudad de Cuenca localizada en la provincia del Azuay con 636 996 habitantes.

En tercera instancia, respecto a las categorías de asentamientos humanos, resulta pertinente mencionar que en Ecuador, la SENPLADES clasifica a las ciudades mediante un sistema de jerarquización de asentamientos humanos, que identifica una tipología de ciudad en base a sus características de población y la identificación del rol dentro del sistema de ciudades nacional [31]. Dicha clasificación se puede observar en la Tabla 5 detallada a continuación:

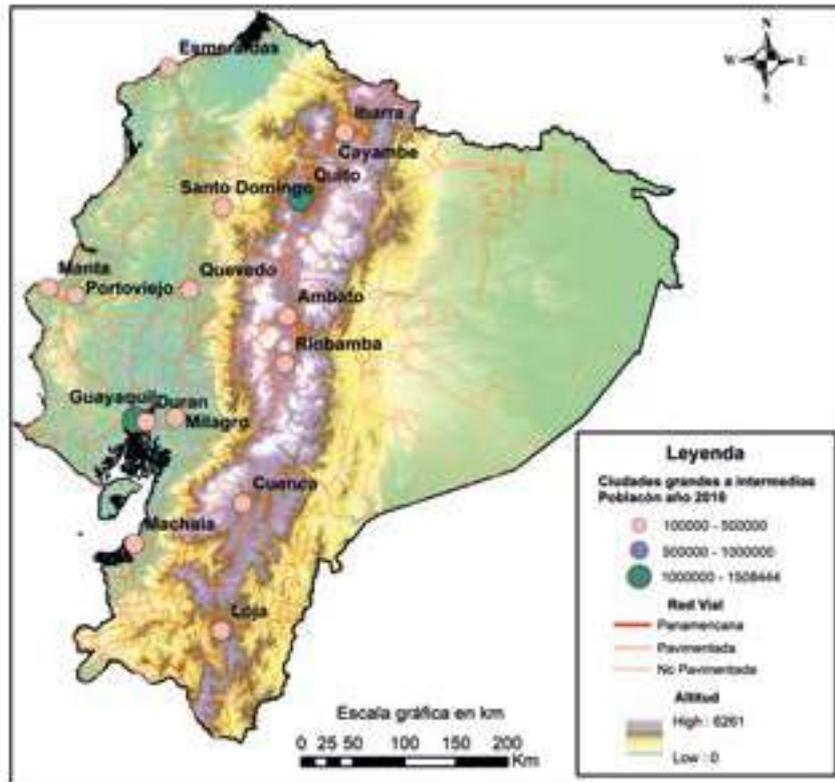
**Tabla 5: Jerarquización de asentamientos humanos en Ecuador.**

Tipología	Características
<b>Metrópolis</b>	<b>Rol:</b> vinculación del país con el mundo, y provisión de servicios especializados para la población nacional. <b>Población:</b> Más de 2 millones de habitantes
<b>Nacionales</b>	<b>Rol:</b> alto desarrollo de funciones relacionadas con actividades comerciales e industriales, prestación de servicios públicos complementarios a los ofrecidos en los asentamientos humanos de menor jerarquía. <b>Población:</b> entre 50 000 y 2 millones de habitantes con jerarquías que varían de acuerdo con el tamaño de la población. Tipo A= entre 1 y 2 millones de habitantes. Tipo B= entre 600 000 y 1 millón de habitantes. Tipo C= entre 300 000 y 500 000 habitantes. Tipo D= entre 100 000 y 300 000 habitantes. Tipo E= menos de 100 000 habitantes.
<b>Regionales</b>	<b>Rol:</b> prestación de servicios relacionados con la construcción, administración pública y defensa. <b>Población:</b> entre 10 000 y 50 000 habitantes
<b>Subregionales</b>	<b>Rol:</b> Distribución, transporte y almacenamiento de productos manufacturados y primarios. <b>Población:</b> entre 10 000 y 50 000 habitantes
<b>Locales</b>	<b>Rol:</b> Acopio y distribución de alimentos y materias primas para la industria manufacturera. <b>Población:</b> entre 10 000 y 50 000 habitantes
<b>Menores</b>	<b>Rol:</b> Producción de alimentos y materias primas, prestación de servicios relacionados con turismo recreativo. <b>Población:</b> mayor a los 10 000 habitantes.

**Fuente:** [31].

Finalmente, los asentamientos humanos reflejan el modelo de desarrollo que el territorio ha consolidado a lo largo de la historia. Se observan los intercambios y sus relaciones de interdependencia y com-

plementariedad, los efectos positivos y/o negativos que han tenido los asentamientos humanos en el desarrollo local, regional, nacional y las posibilidades y restricciones estructurales que presentan [31].



**Figura 9:** Ciudades grandes e intermedias en el Ecuador según Censo 2010.  
**Fuente:** [30].

### 1.3. Situación Actual de Ciudades Caso de Estudio.

El desarrollo y alcance geográfico del presente estudio, presenta como casos de análisis a las ciudades de Ambato y Cayambe, ambas ciudades dentro del territorio nacional y bajo las características señaladas en la sección anterior son parte del conjunto de ciudades definidas como intermedias. A pesar de compartir un criterio de agrupación territorial, estas ciudades presentan dinámicas significativamente contrastadas respecto a su demografía, topografía, parque automotor, sistemas de transporte, infraestructura energética, conductas

de movilización y desenvolvimiento económico. Lograr evidenciar la situación actual de cada ciudad de cara a las oportunidades existentes para el desarrollo de la electro-movilidad requiere establecer un marco de referencia el cual permita detallar elementos clave, para este caso se ha decidido analizar a las ciudades desde los tres criterios básicos para el desarrollo sostenible: Económico, Social y Medio Ambiental, y también se consideró factores clave que inciden directamente sobre ellos.

#### 1.3.1. Ambato

Ambato tienen una superficie de 1 016 km<sup>2</sup> que equivale al 29,94 % de la extensión de la provincia, está situado en el centro de la región interandina (ubicación estratégica en el centro del país), cabecera y principal centro comercial y de servicios de la provincia de Tungurahua, todo esto ha permitido que se caracterice con un nivel más alto de crecimiento poblacional con respecto al promedio nacional y la presencia altamente representativa

de actividad comercial como importante polo manufacturero, textil y agro productividad regional y nacional, que la ha constituido como un atractivo laboral y de negocios, provocando una migración significativa hacia la ciudad.

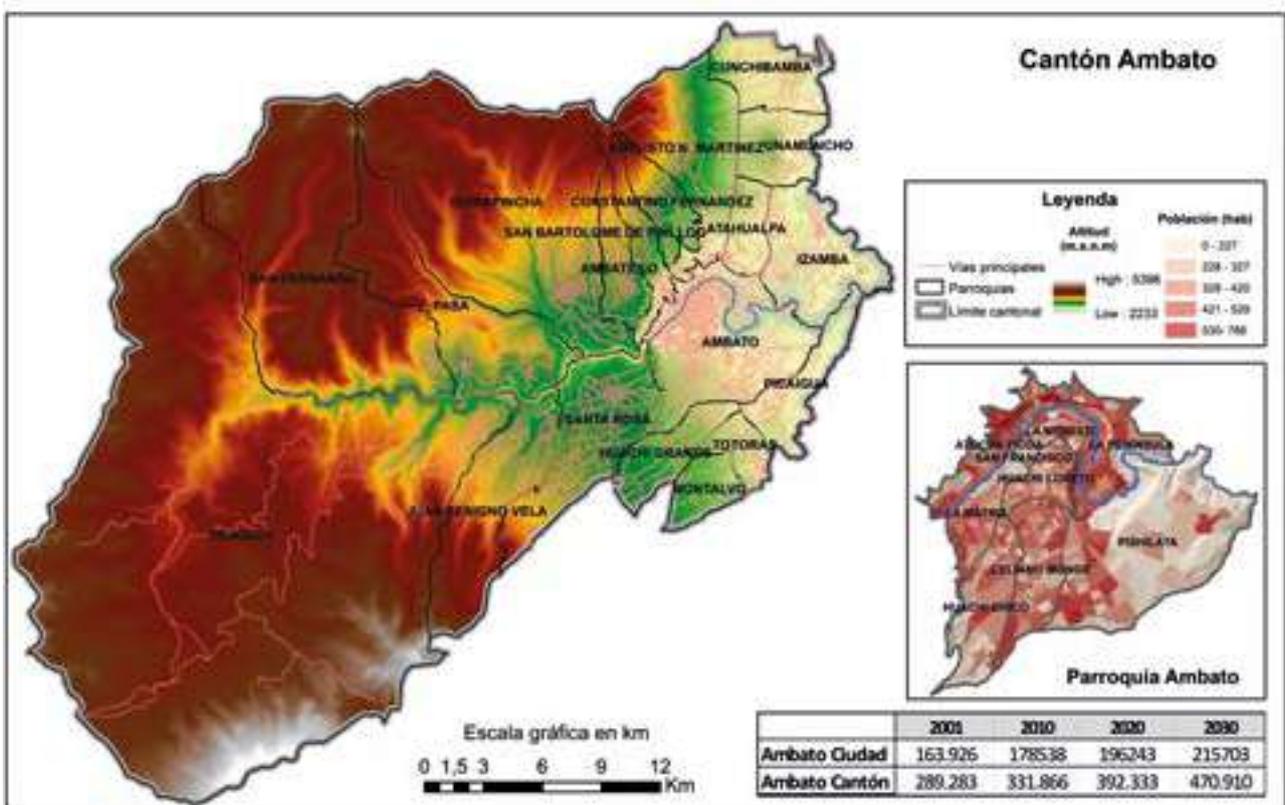
Luego del terremoto del año 1949 en la ciudad de Ambato se produjo una transformación radical de las actividades económicas, sociales y políticas y,

como consecuencia de una inyección importante de recursos destinados a su reconstrucción, en la cual se incorpora nuevas áreas urbanas y se dota de equipamiento para abastecer las necesidades de la ciudad.

Para el 2020, la población rural y urbana de Ambato, de acuerdo a las proyecciones realizadas por el INEC, se determinó en 392 333 habitantes y 196 243 habitantes para la parroquia Ambato [30], esto quiere decir que el 45 % de la población reside en las parroquias rurales, y se espera que para el año

2030, las zonas urbanas alberguen alrededor del 80 % de la población [32].

El cantón Ambato se encuentra conformado por 27 parroquias de las cuales 18 son consideradas como rurales y las 9 restantes se encuentran dentro del perímetro urbano Figura 10; la topografía se caracteriza principalmente por ser irregular considerando que las altitudes pueden variar desde los 2 000 m.s.n.m. y superar los 3 200 m.s.n.m. en las zonas más altas del sector rural Figura 10.



**Figura 10:** División político administrativa y poblados del cantón de Ambato.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Respecto al tema medioambiental, según el Plan de Movilidad Urbana Sostenible (SUMP), elaborado en el 2022, se estima la evolución del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, y se realiza un escenario tendencial en el cual se puede apreciar los siguientes valores de emisiones en la Figura 6. Como referencia se utilizó la información del Observatorio

de Movilidad Urbana de la Corporación Andina de Fomento (CAF), donde se determina que el valor promedio de emisiones de un vehículo a gasolina es 215 g/km y para vehículos pesados a diésel 1 218 g/km para de esta forma obtener los resultados expuestos y proyecciones en la cabecera cantonal.

**Tabla 6: Emisiones.**

Año	2012	2015	2020	2025	2030	2032
ton (año)	139 323	152 926	215 592	250 210	274 157	287 574
ton/hab.	0,77	0,82	1,10	1,22	1,27	1,31
ton/hab.	28,24	31,66	44,63	51,80	56,76	59,54

**Fuente:** Elaboración propia.

Un aspecto de suma relevancia, es en cuanto a la falta de actualización de la información oficial referente a la contaminación y emisiones de GEI, y de la misma forma, no existe algún detalle en donde se evidencie la ejecución de algún tipo de medición para determinar las condiciones actuales del aire.

El sistema de transporte público del cantón Am-

bato, cuya división se puede observar en la Tabla 7, de una manera general, no satisface las necesidades actuales. Combinado este particular con un crecimiento exponencial de la población [30], del parque automotor de vehículos individuales [13], así como una escasa planificación urbana, ha llevado a la ciudad a una expansión desordenada y una movilidad deficiente.

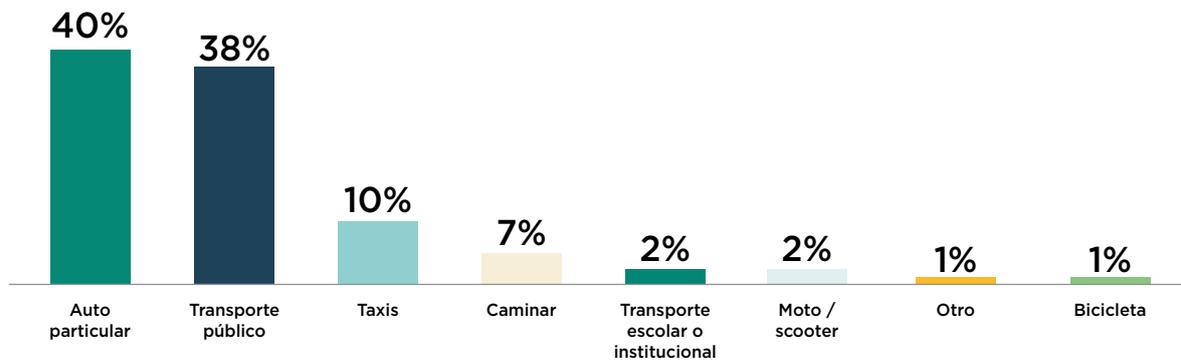
**Tabla 7: Transporte público.**

Tipo de Servicio	Unidades	Operadores
Transporte masivo urbano	377	5
Transporte masivo intracantonal	75	4
Taxis urbanos	2.398	50
Taxis parroquiales	160	7
Carga liviana	719	28
Escolar e Institucional	294	11

**Fuente:** Elaboración propia.

Existen también dos cooperativas de transporte interprovincial que dan el servicio de transporte intracantonal. Además, es importante mencionar la existencia de transporte no regulado, que no se ha podido cuantificar. El fenómeno del incremento de transporte no regulado se debe a la falta de rutas y frecuencias para satisfacer a todos los sectores y cubrir la necesidad de la población de este cantón.

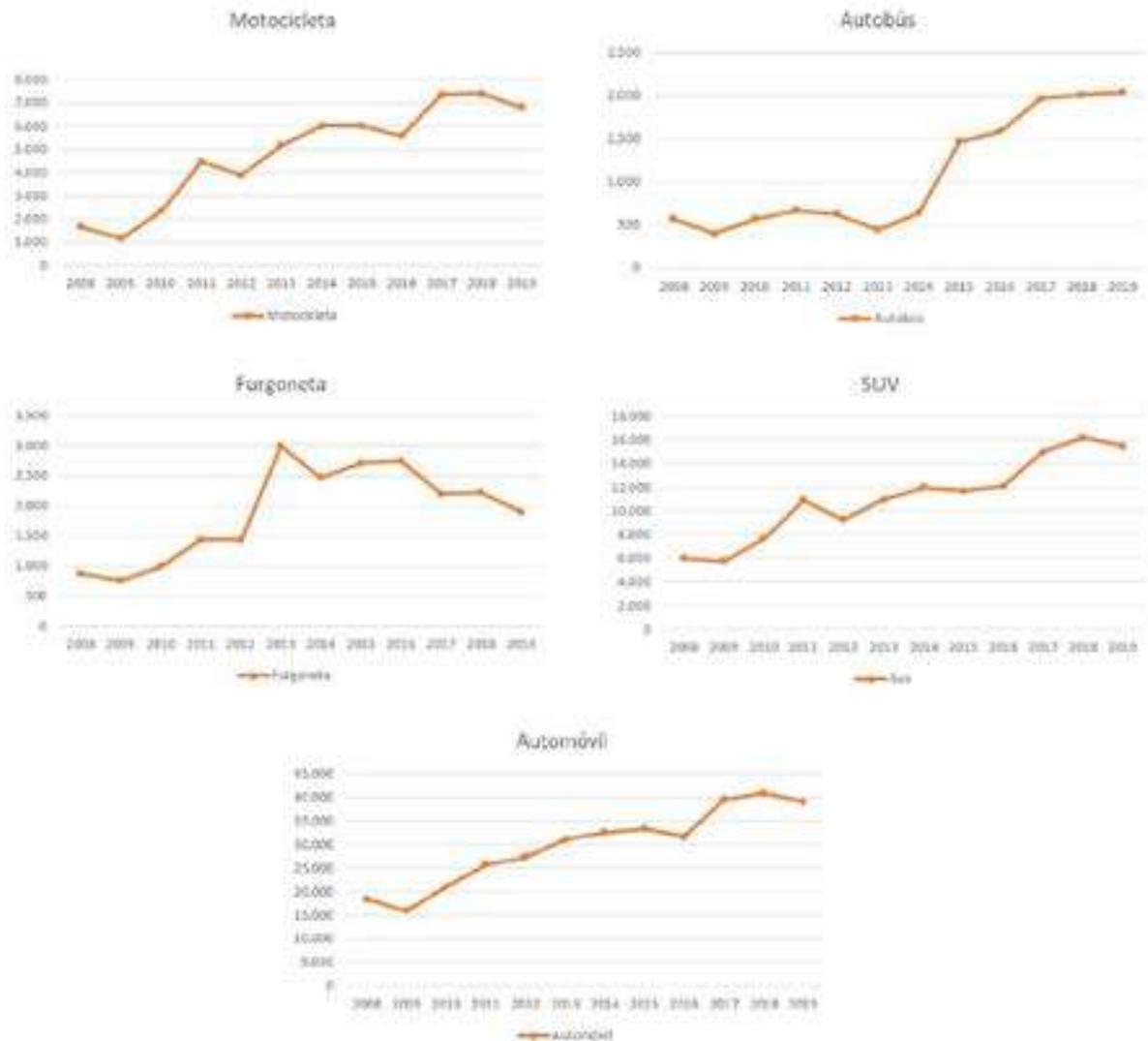
La partición modal, en condiciones normales, de los diferentes usos de transporte no ha sido actualizada desde su elaboración, ya que durante el confinamiento de la crisis sanitaria esta fue totalmente diferente. En la Figura 11, se puede ver que el uso del mayor medio de transporte es el auto particular, seguido por el transporte público, taxi, el transporte no motorizado y por último, el uso de movilidad sostenible.



**Figura 11:** Medio de transporte utilizado en la actividad que demanda mayor tiempo de movilización al día.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Datos del INEC [30] y del anuario del transporte, en donde se presenta información del parque automotor matriculado por provincia y por tipo de vehículo, permite realizar un análisis histórico del parque automotor de la provincia de Tungurahua y extrapolar las tendencias hacia Ambato. Se evidencia que dentro de la provincia desde el año 2008 hasta el 2019 ha existido un crecimiento considera-

ble del parque automotor llegando a tener 100 000 vehículos matriculados. De la misma forma, se puede corroborar que existen cinco tipos de vehículos los cuales han incrementado de manera sustancial en los últimos 10 años, como se refleja en la Figura 12. Esta información es importante para comprender la dinámica del parque automotor y plantear iniciativas sostenibles.



**Figura 12:** Crecimiento histórico parque automotor clave.  
**Fuente:** Elaboración propia.

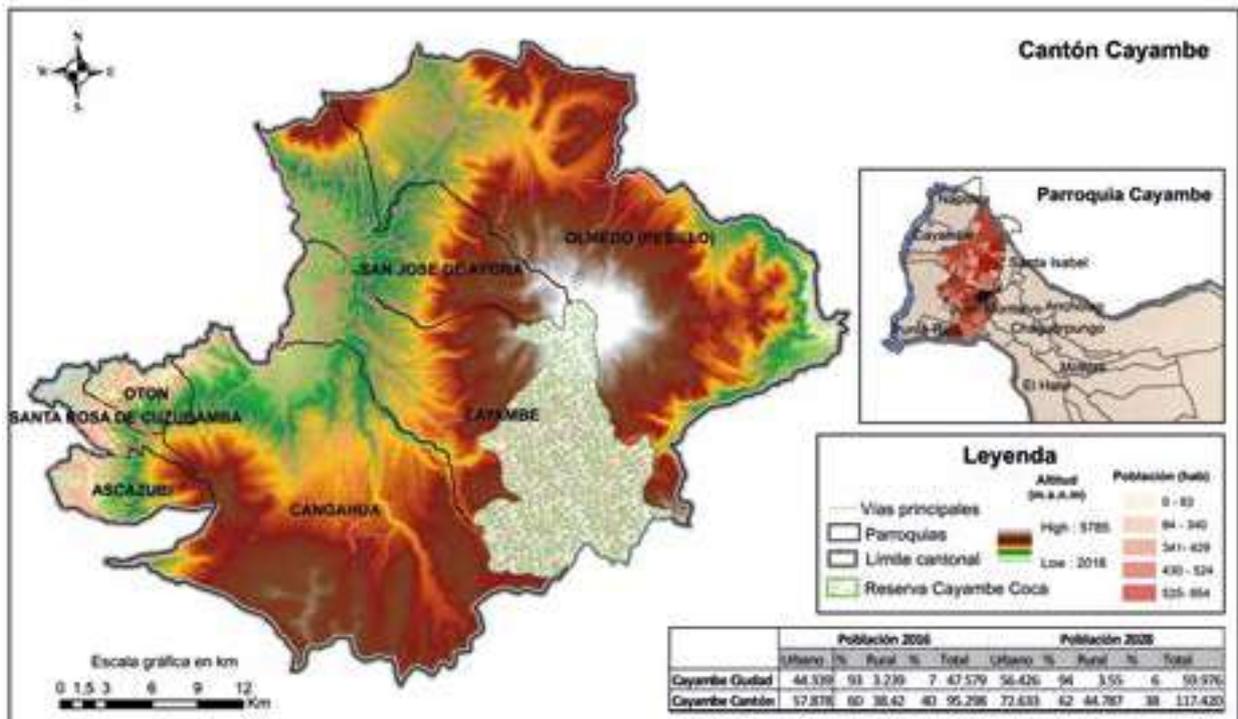
Por último, el GAD Municipalidad de Ambato, ha generado compromisos con el objeto de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y se encuentra desarrollando las iniciativas enumeradas a continuación:

1. MobiliseYourCity
2. ACT - Acciones hacia un transporte amigable con el medio ambiente.
3. WALK 21 – Ciudades Caminables
4. Plan de movilidad sostenible

### 1.3.2. Cayambe

Cayambe, emplazado en los Andes Norte del Ecuador, se encuentra al noreste de la provincia de Pichincha, al pie del nevado que lleva su nombre, posee una extensión de 1 350 km<sup>2</sup>. Las actividades productivas más destacadas son las enfocadas en los sistemas productivos agropecuarios, de acuerdo a la Memoria Técnica del Proyecto “Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” [33] realizado entre el Instituto de Estudios Ecuatorianos (IEE) y el GAD de la Provincia de Pichincha bajo la coordinación de SENPLADES, en el año 2013; y, el adelanto de la agro exportación de flores, producción de lácteos y vegetales selectos. Como aspectos positivos se destaca la dinamización de la economía del sector, crecimiento urbano e infraestructura; mientras que, dentro de los aspectos negativos está la modificación del uso del suelo, aumento desmedido de población flotante a florícolas aumentando el hacinamiento, necesidad de servicios básicos, entre otros. Las características señaladas convierten a Cayambe en un polo que sustenta su funcionamiento en la producción agrícola y láctea; y por lo tanto, el transporte es un elemento importante para dinamizar la economía y trasladar a la población desde el sector urbano hacia las zonas rurales.

Por otro lado, es importante mencionar que de acuerdo al Plan de Movilidad Sustentable del cantón Cayambe [34], las áreas urbanas del cantón abarcan 26,38 km<sup>2</sup>, donde el área consolidada se sitúa principalmente en las parroquias urbanas de la cabecera cantonal que abarcan el 51,40 % de los asentamientos urbanos del cantón y la extensión restante se distribuye en las seis cabeceras parroquiales rurales de Cayambe y cinco asentamientos humanos menores de las parroquias Ascázubi, Ayora, Cangahua y Olmedo; además, dentro del Plan Nacional del Buen Vivir (PNV), el cantón Cayambe está denominado como “nodo de vinculación nacional y centralidad micro regional”, considerándolo un nodo de sustento, con la función de garantizar la seguridad alimentaria de la población de la zona norte del país y el fortalecer los importantes enclaves productivos destinados al mercado interno y externo como son las florícolas y la industria láctea. De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cayambe [34], el 53 % del total de la población se encuentra en parroquias rurales, mientras que el restante de la población se ubica en la cabecera cantonal en dos parroquias urbanas Cayambe y Juan Montalvo como se puede apreciar en la Figura 13.



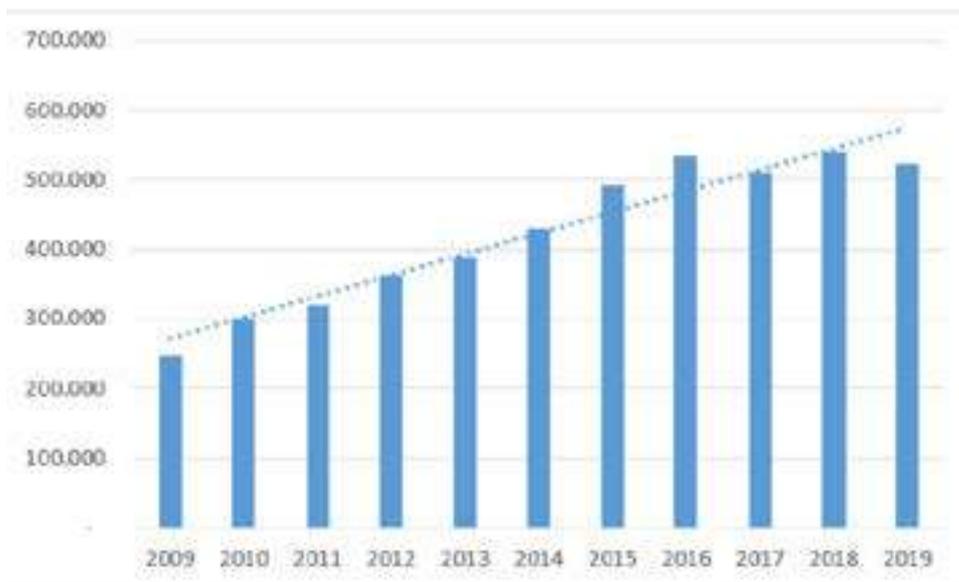
**Figura 13:** División político administrativo y poblados del cantón Cayambe.

**Fuente:** [34].

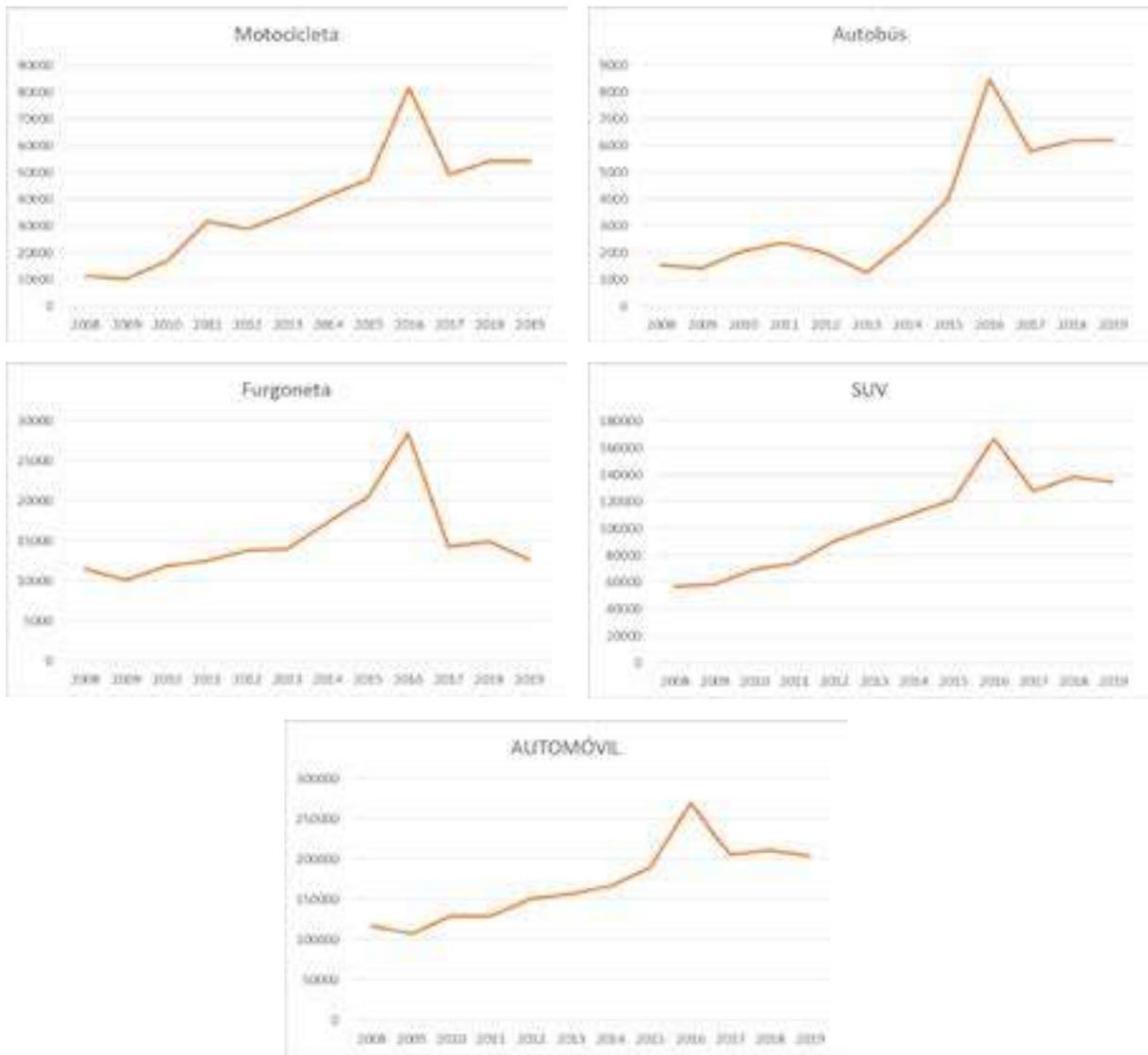
El sistema de transporte p3blico y comercial de Cayambe se encuentra constituido por 43 rutas de transporte p3blico intracantonal (53 % de ellas por regularizar) y 11 rutas de transporte interprovincial que tambi3n prestan servicios intracantonales. Las primeras tienen 447 frecuencias de transporte intracantonal reguladas y 85 por regularizar y, las segundas, 183 frecuencias reguladas. La escasa regulaci3n evidenciada es resultado de un modelo de operaci3n del transporte no centralizado; un mecanismo el cual mitiga los efectos evidenciados es el denominado como caja com3n, mismo que permite la administraci3n del transporte de una manera centralizada enfocando los esfuerzos en la recaudaci3n de pasajes y la operaci3n de rutas y frecuencias de manera organizada y formal. En lo que respecta al transporte comercial existen 10 operadoras de taxis convencionales y una operadora de taxi ejecutivo. La distribuci3n de la oferta de transporte de taxis por parroquia se3ala d3ficits en Cangahua, Olmedo y Ot3n; adem3s, existen 31 operadoras de carga mixta (camionetas doble cabina), 10 de carga liviana y 11 servicios de transporte escolar/institucional. Es-

tos 3ltimos son una flota utilizada para los servicios institucionales o de empresas con un 82 % (mayormente flor3colas), s3lo un 18 % es dedicado para el transporte escolar, a trav3s de contratos individuales, "es decir, cada socio es el encargado de buscar sus propios clientes y de realizar sus propias gestiones o b3squeda de los mismos" [34].

Datos del INEC y del anuario del transporte, en donde se presenta informaci3n del parque automotor matriculado por provincia y por tipo de veh3culo, permite realizar un an3lisis hist3rico del parque automotor de la provincia de Pichincha y extrapolar las tendencias a Cayambe. Se evidencia que dentro de la provincia desde el a3o 2008 hasta el 2019 ha existido un crecimiento considerable del parque automotor llegando a tener 500 000 veh3culos matriculados. De la misma forma, se puede corroborar que existen cinco tipos de veh3culos los cuales han incrementado de manera sustancial en los 3ltimos 10 a3os, como se refleja en la Figura 14. Esta informaci3n es importante para comprender la din3mica del parque automotor y plantear iniciativas sostenibles.



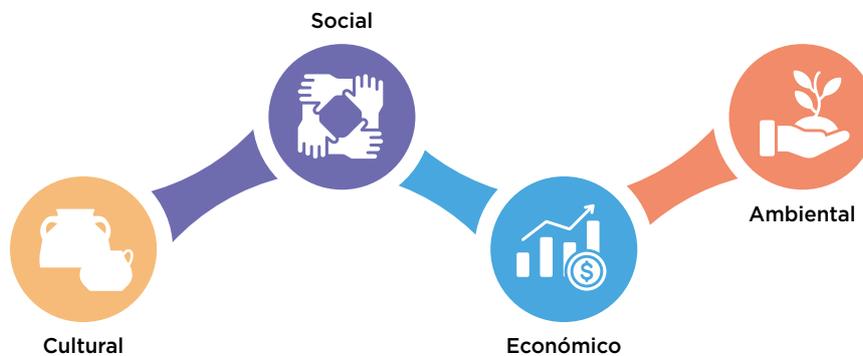
**Figura 14:** Parque automotor matriculado Pichincha  
**Fuente:** Elaboraci3n propia.



**Figura 15:** Parque automotor clave Pichincha.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Por último, el Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural y Plurinacional (GADIP) del Municipio de Cayambe ha generado compromisos con el fin de

alcanzar los ODS y ha desarrollado un Plan de Movilidad Sustentable (PMS) el cual se soporta sobre cuatro principios (Figura 16):



**Figura 16:** ODS - PMS Cayambe.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante estos cuatro principios rige el desarrollo de las propuestas del PMS para el bien común de la población del cantón Cayambe. Este toma en cuenta aspectos culturales de la población, siendo incluyente para fortalecer su identidad, mejorar su calidad de vida y debe darse de manera segura, accesible y libre para incluir diferentes actores de la

movilidad. El objetivo es dar prioridad al desarrollo de las modalidades de transporte terrestre público, colectivo, masivo e intracantonal limpio y amigable con el medio ambiente, en el cual se apliquen mejoras mediante un uso adecuado del recurso energético y las diferentes tecnologías afines a los medios de transporte sostenible.





## 2. Electro-movilidad, Tecnología y Energía.

La definición de electro-movilidad, concentra todas aquellas tecnologías vehiculares cuya propulsión se obtiene a partir del uso de energía eléctrica, comprendiendo desde ferrocarriles hasta automóviles y vehículos de movilidad personal. Aunque este término resulta aparentemente vanguardista y contemporáneo, el autobús eléctrico es una parte de la denominada movilidad sostenible, la cual involucra un sin número de soluciones que incluyen infraestructura urbana, interconexión de modos de transporte, opciones de micro-movilidad y de logística de última milla, esto con el fin de mitigar la contaminación ambiental y desarrollar soluciones de transporte eficiente.

Una creciente preocupación para los gobiernos seccionales y autónomos es la reducción de sus emisiones de GEI producidos por la movilidad en medios de transporte terrestres. La solución más beneficiosa, implica la adopción de la tecnología de tracción eléctrica, pues además de estar exenta de emisiones directas de CO<sub>2</sub> y partículas contaminantes a la atmósfera, ofrece a sus ocupantes disminución en los niveles de ruido, vibración y emisión de calor, esto a diferencia de los tradicionales sistemas de tracción con combustión interna [35].

La inversión en infraestructura para las estaciones de recarga, el uso de tecnologías limpias y la inclusión de vehículos adaptados al transporte público y privado, son parte de las estrategias que tienen los sectores involucrados en el desarrollo de la movilidad eléctrica del país.

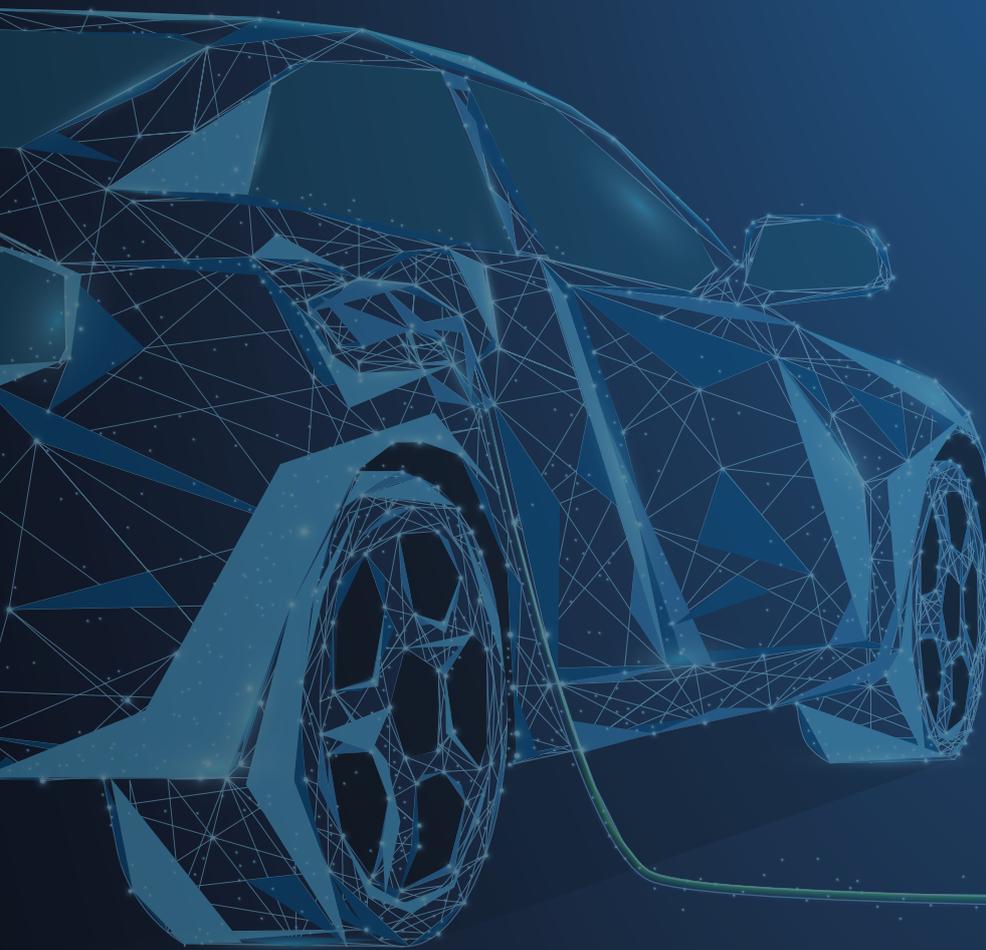
La electrificación del transporte es un campo de investigación en constante evolución. En los últimos años ha habido un notable aumento en la implementación de estaciones de carga para vehículos eléctricos (VE), especialmente por parte del sector privado. Diversos estudios a nivel inter-

nacional [36], han identificado a ALC como una región con un gran potencial para el desarrollo de la electromovilidad, incluyendo a Ecuador.

En este sentido, no solo se está fomentando la adopción de vehículos eléctricos de uso privado, sino que también se están evaluando la viabilidad y el desarrollo de sistemas de transporte público eléctrico. Estos estudios buscan mejorar la calidad de vida de la población al reducir la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero, así como promover un transporte más eficiente y sostenible en las ciudades [36]. El país cuenta con la Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador (ENEE) como iniciativa gubernamental en la que se destaca, además de las ventajas e incentivos propuestos, que la movilidad eléctrica se enfrenta a barreras financieras, técnicas, regulatorias, operativas, de conocimiento y de infraestructura que dificultan y ralentizan su adopción [37]. Se subraya como principal barrera la ausencia de regulación para infraestructura de carga y normativa técnica para los VE, bajo conocimiento sobre la movilidad eléctrica por parte de los tomadores de decisión y poca articulación entre actores del sector público en torno a temas de electro-movilidad.

Actualmente, a pesar de la existencia de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, donde se encuentra determinada la introducción de autobuses eléctricos en el transporte urbano, la comercialización de los mismos no ha tenido un despunte importante en su uso a nivel de ciudades intermedias, y de acuerdo a la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) en su anuario 2022, indica que en el año 2021 se comercializó 20 unidades de autobuses eléctricos [37]. Uno de los problemas identificados es el costo de inversión que tiene un autobús eléctrico, ya que son unidades 100 % importadas,





y si se compara con el precio de una unidad carrozada localmente existe una diferencia considerable. Un autobús urbano de motor de combustión interna (MCI) fabricado localmente puede costar entre \$115 000 y \$150 000, y un autobús eléctrico urbano importado en la actualidad podría costar alrededor de \$360 000 [38]. No obstante, la introducción de medidas para fomentar la electro-movilidad tiene potencial para el desarrollo del país y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, considerado también un elemento importante del transporte sostenible, por esta razón se debe identificar los servicios asociados hacia el transporte público eléctrico.

Cabe mencionar que, el crecimiento de la

oferta de vehículos de propulsión eléctrica para movilidad particular ha tenido un des-punte digno de análisis, esto debido a que, como fruto de las iniciativas gubernamentales, principalmente la de excepción de impuestos a VE, se ha ampliado la gama de alternativas para la adquisición de este tipo de vehículos, generando la necesidad de una red de estaciones de carga y recarga, lo cual plantea desde la perspectiva del sector privado, la implementación de infraestructura de carga rápida en las estaciones de servicio siendo un hito fundamental para transformar la movilidad en el país, acelerando significativamente el proceso, con miras a lograr que cerca del 10 % del parque automotor para el año 2030 sea eléctrico [37].

## 2.1. Identificaci3n de tecnologías y servicios asociados a la movilidad eléctrica en el transporte p3blico.

Como competencia transferida por el Gobierno nacional hacia los GAD's municipales, estos son responsables del cuidado ambiental, plasmando como objetivo principal la reducci3n de sus emisiones locales de GEI. Para conseguir dicho objetivo, las entidades gubernamentales que entran como sujetos de acci3n en la transici3n a la electro-movilidad, han centrado su inter3s en la incorporaci3n de nuevas tecnologías para la operaci3n del transporte p3blico. En este contexto, aunque el motor a di3sel ha ido evolucionando para conseguir la reducci3n de sus emisiones y mejorar su eficiencia energ3tica, queda a3n en amplia desventaja frente al funcionamiento del motor eléctrico.

Las ventajas que ofrece la tracci3n eléctrica la posicionan como la tendencia indiscutible de la industria del transporte urbano del futuro, pues a pesar de sus costos de implementaci3n re-

lativamente m3s altos, estos est3n dejando de representar un obst3culo, dado sus beneficios y notables avances tecnol3gicos [35]. En cuanto al mantenimiento, se debe mencionar que es m3s sencillo en comparaci3n a autobuses de combusti3n interna y el costo es notablemente reducido ya que han sido suprimidos componentes mec3nicos que influyen en el volumen de ocupaci3n del sistema de propulsi3n y en el peso del automotor [39], haciendo de estos sistemas aptos para una aplicaci3n en el transporte masivo considerando que un VE, por su arquitectura y distribuci3n de peso puede aportar hasta un 50 % m3s de potencia en comparaci3n autom3vil que usa combustibles f3siles, lo cual en la pr3ctica, un Autobús de propulsi3n eléctrica permitiría llevar m3s carga en arrastre que el transporte a di3sel que actualmente circula en el sistema vial ecuatoriano.



**Figura 17:** Estaci3n de carga para autobuses eléctricos en Guayaquil.  
**Fuente:** [40].



Desde diciembre de 1995, la implementación del trolebús como solución de transporte para la ciudad de Quito marcó un cambio de era para la movilidad en Ecuador, correspondiendo a la inclusión de la primera generación de autobuses eléctricos, los cuales usan dos pértigas que hacen contacto con un sistema de cables de conducción eléctrica suspendidos. Actualmente, con la evolución de la tecnología, se ha hecho posible que tanto autobuses como tranvías eléctricos puedan prescindir de dicho sistema de alimentación, parcial o totalmente, a lo largo del recorrido de su ruta, con motores alimentados con energía eléctrica almacenada en baterías que son cargadas en estaciones de abastecimiento para VE y, complementariamente, alimentadas por sistemas de regeneración que aprovechan la energía generada en el frenado de las unidades durante su recorrido.

Una de las ventajas de los trolebuses está justamente relacionada a su flexibilidad operativa, es así que, en caso de que se desconecte de la línea de suministro eléctrico o exista una interrupción del mismo, el trolebús puede continuar su operación, esto es debido a la incorporación de baterías de ion-litio, de fosfato de hierro, y el uso de súper capacitores a plena carga por distancias de aproximadamente 18 km. En algunas pruebas realizadas en Alemania, se han superado los 30 km de distancia sin la necesidad de la conexión eléctrica a la cate-

na [39]. Al mismo tiempo, es importante mencionar que los trolebuses que operan en Quito, tienen un motor de combustión interna, lo cual brinda una flexibilidad adicional para su operación.

La evolución tecnológica a través de la investigación y desarrollo ha permitido a los autobuses eléctricos competir con la propulsión generada con combustibles fósiles y ser considerados como una opción de movilidad que sustituya la dependencia a los derivados del petróleo, usando energías renovables.

Para que los autobuses eléctricos puedan abastecerse de su suministro energético, para su correcto funcionamiento, es necesario cargadores e infraestructura de carga para alimentar las baterías y garantizar la movilidad. Existen dos grupos de abastecimiento energético para los autobuses, los que reciben recarga energética mediante carga lenta, semi-rápida, o carga nocturna, y otro grupo con la capacidad de ocupación de recarga rápida.

En el caso de autobuses a batería de carga lenta, para que puedan recibir la energía eléctrica para su correcto funcionamiento, necesitan de estaciones de recarga (Figura 17), para lo cual se debe prever la capacidad eléctrica a instalar, que podría incrementar los costos de operación e instalación.

Los autobuses de transporte público de carga rápida se abastecen en terminales durante los tiempos de parada del servicio. El proceso de recarga se lo realiza a través de un brazo mecánico, denominado pantógrafo, para transferir la energía eléctrica. También se puede utilizar cargadores inductivos que se los instalan en paradas de autobús, para que las baterías sean cargadas mientras los pasajeros ingresan o salen.

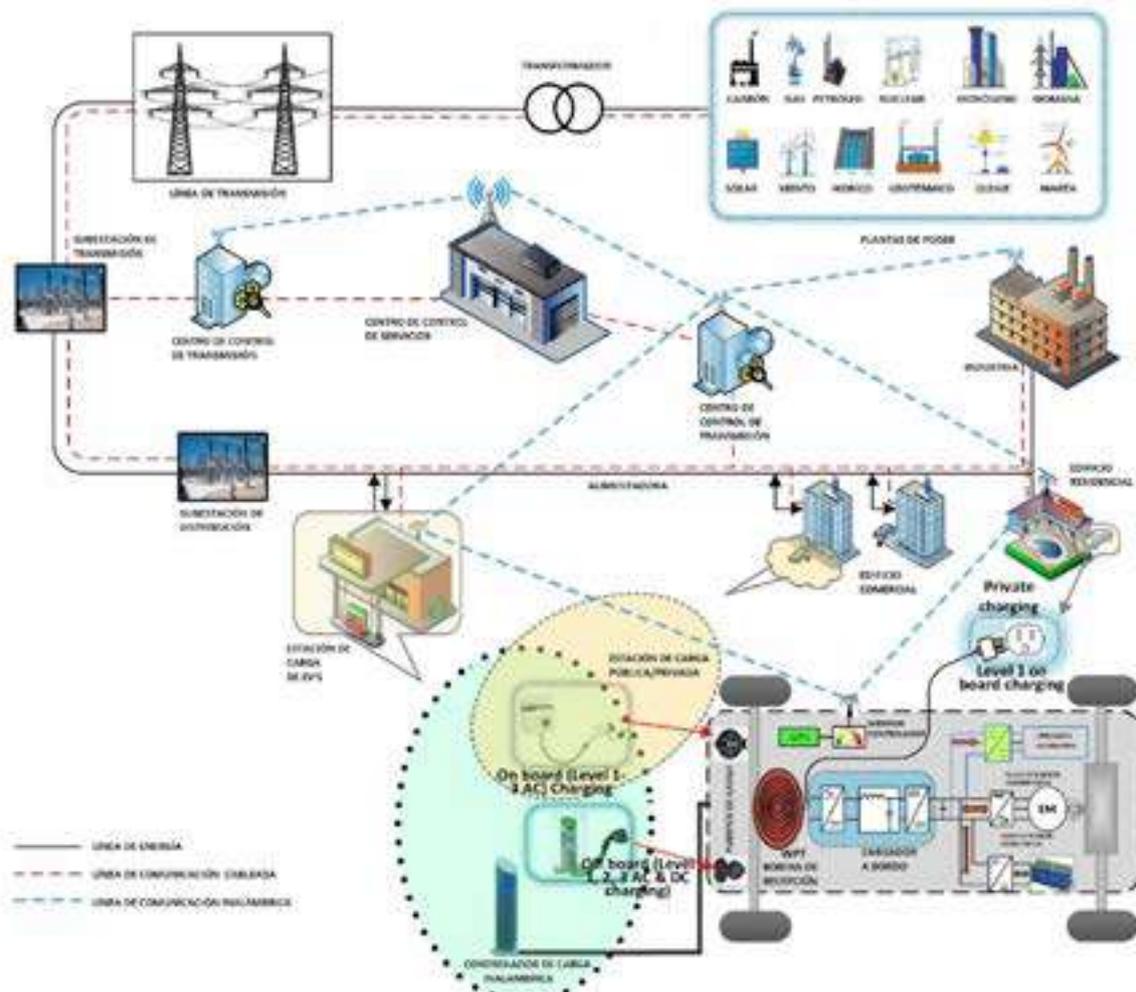
El sistema de recarga rápida de cierta forma es inflexible, ya que depende de la infraestructura instalada en las diferentes rutas. Vale la pena recalcar que los cargadores tipo pantógrafo requieren espacio público, una subestación y la disponibilidad de potencias elevadas. Por otro lado, debido al alto costo y desarrollo constante de la tecnología, los sistemas inductivos son los menos utilizados [41]; no obstante, se están volviendo más populares considerando que el costo se ve reducido el momento que la cantidad de autobuses eléctricos se incrementa y también reduce el costo por kilómetro de carga entregada por las estaciones [42].

Por esta razón es de suma importancia realizar un análisis de la infraestructura de recarga que se requiere para la inclusión de VE, considerando que se encuentra latente el desafío de garantizar el flujo energético entre estos y la red eléctrica; además, el ajustarse a

normativas que certifiquen la correcta conectividad entre una estación de carga y el vehículo receptor de energía, desarrolla en el usuario la sensación de seguridad, considerando que para la movilidad eléctrica se manejan tensiones y potencias que pueden afectar seriamente la integridad del conductor o de las personas que intervienen en el mantenimiento de dichas estaciones y vehículos, requiriendo además, capacitación específica en materia de manejo de electrónica de potencia, sistemas eléctricos de tracción y seguridad ante riesgos eléctricos.

Existen estándares y normativas internacionales para realizar la integración de la red eléctrica a los VE, los cuales se clasifican en los siguientes estándares IEEE 1547, UL1741 y la normativa NFPA70, cuyo enfoque está destinado al control y suministro estable de energía mediante el uso de convertidores de potencia, conectividad e intercambio de datos cargador-vehículo, y la aplicación de sistemas de abastecimiento energético complementarios y de emergencia [43].

Al realizar la revisión de estándares internacionales, es crucial que los mismos sean considerados para la implementación o desarrollo de estaciones de carga dentro del contexto nacional, normalizando la infraestructura eléctrica, de control y de comunicación y su interconexión, lo cual está ilustrado en la Figura 18. Los



**Figura 18.** Diagrama esquemático de la infraestructura de recarga.

Fuente: [43].

sistemas de carga de VE se diferencian según el tipo de corriente que usan para el abastecimiento energético, la cual puede ser corriente alterna (AC), o corriente directa (DC), siendo estas diferenciables por sus niveles de voltaje y de frecuencia dependiendo del sistema de energía de cada país. Por tal razón, los niveles de voltaje de carga de AC se pueden dividir en niveles 1, 2, y 3, donde el nivel 3 tiene el voltaje de carga más alto; su instalación implica el uso por separado de un transformador y cableado independiente,

requiriendo una posible repotenciación de la red eléctrica, mientras que, al mismo nivel de voltaje, la carga de DC es más rápida y posee una alta capacidad de potencia de carga. La tecnología más avanzada en recargas eléctricas de DC puede cargar un VE al 100 % en tan solo 20 minutos [44]. Por otro lado, los niveles 1 y 2 se pueden instalar en un lugar privado y de manera mucho más factible y ágil. Un resumen de la infraestructura de recarga eléctrica se puede observar a continuación en la figura 19.



**Figura 19:** Infraestructura de recarga eléctrica.  
**Fuente:** [43].

En cuanto a la variedad de cargadores para autobuses eléctricos, con base en la literatura, se establece tres tipos de cargadores que se usan en la actualidad, no solamente para transporte público y de mercan-

cías, sino también para VE livianos. Razón por la cual, a continuación en la figura 20 se describen los tipos de cargadores disponibles en la actualidad, diferenciados por el esquema de carga que estos usan.



**Figura 20:** Tipos de cargadores según tecnología.  
**Fuente:** [45].

## 2.2. Cargador tipo enchufable plug-in

En la actualidad el cargador tipo plug-in es el que mayor uso tiene para abastecer autobuses eléctricos. A través del desarrollo de estos cargadores, existe una estandarización para que sean compatibles con distintos modelos de fabricantes; también, el tiempo de

recarga se ha reducido sustancialmente al recargar una batería en 30 minutos al 80 % de su capacidad máxima con el uso de cargadores de nivel 3. Existen diferentes configuraciones de cargadores tipo plug-in: 40 (kW), 80 (kW) y 150-200 (kW) [45].

## 2.3. Cargador tipo pantógrafo

El uso de los pantógrafos para recargar autobuses eléctricos va de la mano con el desarrollo de autobuses que contengan menor cantidad de baterías, resultando en un autobús con un menor costo, menos pesado y mayor autonomía, por lo cual el uso de este tipo de cargadores tiene un costo elevado ya que también implica una obra eléctrica más compleja, puesto que requieren una cantidad de espacio en la vía pública para ser instalados, lo cual trae otros inconvenientes asociados a permisos,

seguridad y aceptación de la sociedad.

En la actualidad, los cargadores tipo pantógrafo se pueden encontrar en versiones de carga rápida, dispuestos en las paradas y con tiempos de carga entre 3 a 5 minutos, y de carga lenta, dispuestos en los terminales que cargan las baterías en 30 minutos. Para la implementación de pantógrafos, se debe considerar recorridos fijos y potencias que van de los 150, 300, o 450 (kW), [45].

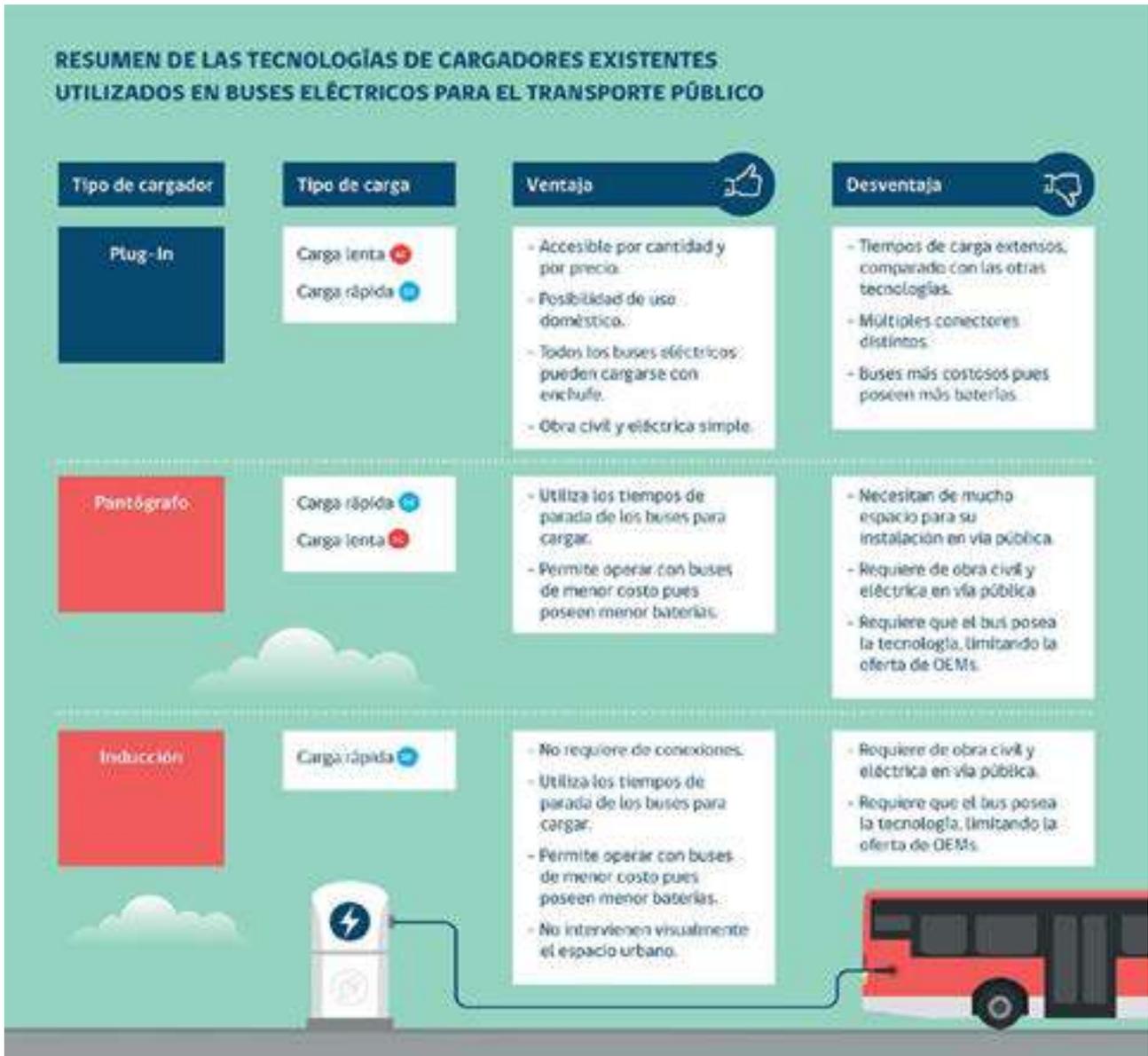
## 2.4. Cargador por inducción

Los cargadores por inducción tienen potencias entre 100 y 200 kW; no obstante, su desarrollo no ha sido notable a través del tiempo, considerando que esta tecnología necesita que los autobuses eléctricos tengan desarrollado un sistema de carga compatible. En la actualidad, existen pocos fabricantes que han desarrollado autobuses eléctricos para poder ser recargados con este tipo de cargador.

Por otro lado, en Corea del Sur se ha desarrollado una tecnología que consiste en un vehículo eléctrico que se carga de manera inalámbrica, en movimiento, usando la inducción electromagnética; para ello,

se utiliza una vía segmentada de recarga que induce corriente en módulos, lo cual elimina la necesidad del autobús de detenerse en una estación de recarga. Esta tecnología, permite a los VE recibir energía eléctrica desde la superficie de la calle mientras el vehículo se encuentra en movimiento con una eficiencia de transmisión máxima del 85 % mientras se mantenga una banda de aire de 17 centímetros entre la base del autobús y la calle [45].

A continuación, en la Figura 21 se muestra un resumen comparativo de los tipos de carga mencionados anteriormente con las ventajas y desventajas respectivas de su implementación y funcionamiento.



**Figura 21:** Resumen de cargadores aplicados a autobuses eléctricos.  
**Fuente:** [45].

## 2.5. Conectores para carga de vehículos eléctricos

Para una posible implementación de un sistema de transporte público con autobuses eléctricos se tiene que considerar, en conjunto, el sistema y el modo de abastecimiento de energía, así como también, los conectores y puertos de carga, tomando en cuenta que el conector proviene de la estación de carga y el puerto está colocado en el vehículo. Estos últimos pueden ser diferenciados de acuerdo al tipo de

corriente que emplean, de igual manera en su uso, según las diferentes regiones del mundo donde destinan su aplicación, denotando que cada uno de ellos cuenta con diferentes estándares que garantizan su funcionalidad y comunicación entre estación de carga y el vehículo. A continuación, se muestra los distintos conectores usados para el abastecimiento energético de VE.



**Figura 22:** Estándares para conectores y puertos de carga de vehículos eléctricos.  
**Fuente:** [43].

La recarga de autobuses implica además del análisis del tipo de carga a usar dentro del sistema de movilidad, el establecimiento de estrategias que dependen de las características de carga de los autobuses, su mantenimiento y el posicionamiento de estaciones de carga en los lugares que sean destinados para este efecto.

Dichas estrategias fueron analizadas en el reporte “*Electric Buses in Cities – Driving Towards Cleaner Air and Lower CO<sub>2</sub>*”, donde se señala distintas estrategias que pueden ser implementadas dependiendo de las características de los autobuses y su forma de abastecimiento de carga, las mismas que se encuentran resumidas en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Resumen de Estrategias de recarga seleccionadas para autobuses eléctricos.

Enfoque de carga	Costo de la infraestructura	Requisitos de las baterías para autobuses	Costo total del sistema	Factibilidad
<b>Carga Lenta o nocturna en el depósito.</b>	Bajo: cargadores requeridos solo en depósitos. Pero la proporción es alta en relación al cargador del autobús.	Alta: los autobuses que solo utilizan carga nocturna requerirán baterías de mayor capacidad para poder cubrir sus rutas. Costos más altos.	Medio: los precios de las baterías son el principal componente de hoy. Mientras los precios decrecen el costo general del sistema se puede reducir. Al utilizar tarifas nocturnas diferenciadas, el ahorro en el consumo de energía eléctrica puede ser significativo.	La opción más popular hoy en día, factible a menor escala. A mayor escala, se pueden identificar problemas al cargar todos los autobuses al mismo tiempo (espacio, suministro de energía, impactos en la red). Presenta un riesgo en lugares donde el depósito está lejos de la ruta del autobús. Las baterías grandes significan problemas de peso y compromete la capacidad de los autobuses.

**Fuente:** [42].



<p><b>Carga lenta en el depósito y carga rápida en el terminal.</b></p>	<p>Medio: se requieren dos tipos de cargadores y en dos ubicaciones.</p>	<p>Medio: los autobuses pueden recargarse en las terminales de forma relativamente rápida, por lo que pueden tener paquetes de baterías más pequeños.</p>	<p>Medio: el alto costo del sistema de carga rápida se equilibra con los ahorros de una batería más pequeña. Puede que aún sea necesario realizar cambios en operaciones normales de autobús, pero en teoría el tiempo de paradas se puede utilizar para recarga.</p>	<p>La segunda opción más popular en la actualidad, pero pueden surgir problemas relacionados con el espacio de estacionamiento en las terminales de autobuses. Si el número de autobuses requeridos en la ruta es constante durante todo el día, luego se puede agregar un autobús de reserva para el autobús que está cargando.</p>
<p><b>Carga rápida en terminal y paradas de autobús (solo inalámbrica/pantógrafo).</b></p>	<p>Alto: los pantógrafos y sistemas inalámbricos son las instalaciones más caras en la actualidad.</p>	<p>Bajo: no se necesitan grandes paquetes de baterías ya que los autobuses se cargan en ruta.</p>	<p>Alto: la carga inalámbrica es actualmente muy cara, pero requiere el menor cambio en las operaciones normales del autobús. Sin embargo, está dedicado a una sola ruta de autobús, lo que limita la flexibilidad. Para ser la única opción de carga, la instalación debería cubrir la mayor parte de la ruta.</p>	<p>La carga del pantógrafo es cada vez más popular. La economía mejora a medida que aumenta el número de autobuses electrónicos en la flota: más vehículos que utilizan el sistema reducen el costo por kilómetro de carga entregado.</p>
<p><b>Plug in en depósito y pantógrafo en ruta.</b></p>	<p>Alto: Los sistemas de pantógrafos siguen siendo costosos hoy en día.</p>	<p>Medio: debido a que los autobuses pueden recargarse en las paradas de autobús, pueden tener paquetes de baterías más pequeños.</p>	<p>Medio: tecnología muy costosa, pero los costos se pueden repartir sobre varios e-buses. Al igual que con la opción anterior, las instalaciones de pantógrafos están dedicadas a una única ruta de autobús, lo que limita flexibilidad.</p>	<p>La carga del pantógrafo es cada vez más popular. La economía mejora a medida que aumenta el número de autobuses electrónicos en la flota: más vehículos que utilizan el sistema reducen el costo por kilómetro de carga entregado.</p>

## 2.6. Baterías para autobuses eléctricos y sus características

Una vez determinadas las alternativas de carga destinadas para la movilidad es necesario conocer los acumuladores de energía que permiten establecer la autonomía que tendrá el vehículo para rodar en las rutas establecidas de cada ciudad. A través del tiempo se han ido desarrollando diferentes tipos de baterías para fomentar la electro-movilidad y se establecen parámetros para diferenciar cada una de ellas. Dichos parámetros están descritos a continuación [46]:

- **Densidad energética:** Expresada en Wh/kg. Es la energía que puede proporcionar la batería por cada kg. Cuanto mayor sea la densidad energética mayor autonomía tendrá el vehículo.
- **Potencia:** La potencia de las baterías se expresa en kW. Es la capacidad de proporcionar potencia en el proceso de descarga. Si existe una potencia más alta, las prestaciones del vehículo eléctrico serán mejores.
- **Eficiencia:** Es el rendimiento de la batería, donde

se mide el porcentaje de la energía que realmente es aprovechada.

- Ciclo de vida: El ciclo de vida se determina a través de los ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería antes de ser remplazada. Mientras más ciclos soporte una batería, su durabilidad será mayor.

La oferta de autobuses de propulsión eléctrica en Ecuador permite evidenciar una preferencia de los fabricantes por una batería de configuración LFP (Litio - Hierro - Fosfato), cuyas prestaciones permiten una potencia mayor a 300 W y una vida prolongada

mayor a 2 000 ciclos de carga-descarga [47]. Dicha preferencia se debe a la superioridad de potencia que entrega al sistema propulsor, la cual es alta en comparación a otras configuraciones de batería y su capacidad de empaquetamiento permite una fabricación laminar que deriva un 60 % en ahorro de espacio y peso. Su mayor superficie permite, además, tener una mejor disipación del calor con lo que se evita el sobrecalentamiento de las láminas [48].

A continuación, en la Tabla 9 se muestra la oferta de autobuses de propulsión eléctrica disponible en el país con sus respectivas características.

**Tabla 9: Autobuses eléctricos homologados en Ecuador.**

Detalle técnico de vehículos eléctricos para transporte urbano						
Marca	GOLDEN DRAGON	ZHONGTONG	ZHONGTONG	BYD	BYD	SKYWELL
Modelo	XML6125 EH / XML6125 EH AC 3P 4X2 TA EV	LCK6122EVG5	LCK6108EV-G3A12	K9G-I	K9G-S	NJL6129BEV
Autonomía	300	240	0	300	300	260
Potencia [ kw ]	150	196	270	300	300	350
Velocidad Máxima [ km/h ]	0	69	69	80	80	85
Tecnología Batería	LFP	LFP	LFP	LFP	LFP	LFP
Capacidad de la batería [ kWh]	311	324	0	324	324	322
Tiempo de carga Max [h]	4,5	0	0	5	5	0
Pasajeros Sentados [ Personas ]	32	39	27	32	32	41
Pasajeros de pie [ Personas ]	57	38	47	44	49	44
País Procedencia	China	China	China	China	China	China

Fuente: [49].

## 2.7. Reciclado y reutilización de las baterías

Desde el punto de vista del desarrollo sostenible, se puede generar la economía circular para el reciclaje

y reúso de las baterías de VE, ya que existe una notable contribución a la parte económica y social; por

ello, la importancia del reciclado y reutilización de las baterías que han cumplido con su vida útil y provienen de la electro-movilidad. Las aplicaciones de reutilización para baterías de VE al final de su vida útil incluyen opciones estacionarias y móviles [50]. La reutilización se enfoca en la extracción de celdas o módulos

completos con el objetivo de potenciar sistemas que necesiten almacenamiento energético. Se tiene que considerar también la vida útil de las baterías de VE en aplicaciones de reutilización, para lo cual se puede observar a continuación en la Tabla 10.

**Tabla 10:** Esperanza de vida reportada de las baterías de vehículos eléctricos en aplicaciones de reutilización.

Aplicación segunda vida de la batería para vehículos eléctricos.	Años adicionales de vida útil después del primer uso en EV.
Sistemas de almacenamiento de energía.	Las baterías para VE pierden un 15 % adicional de su capacidad después de 10 años adicionales de uso.
Soporte de energía para estaciones de carga rápida de VE.	30 años.
Almacenamiento de energía en el hogar.	12 años.
Servicio orientado a la red (regulación de área y aplazamiento de transmisión).	6-12 años.
Aplicaciones en micromovilidad.	3-15 años, y 8-20 años dependiendo de la aplicación.

Fuente: [50].

## 2.8. Identificación de servicios asociados a la movilidad eléctrica en el transporte público

Por otro lado, es imperiosa la necesidad de analizar los servicios asociados a la movilidad eléctrica en el transporte público, considerando que la mayor parte de la población es la que se moviliza a través del transporte masivo. Además, el transporte público

es el que menos peso monetario recarga sobre sus usuarios, y tiene un impacto directo en la calidad de vida de los habitantes. Dichos servicios están identificados en la Figura 23.



**Figura 23:** Servicios asociados a la movilidad eléctrica en el servicio público.

Fuente: [51], [52], [53].

## 2.9. Situación actual de la electro-movilidad en Ecuador

Para realizar el análisis de la situación actual de la electro-movilidad en el transporte público se considera, informes técnicos, anuarios de ventas dentro del sector automotriz, casos de éxito, políticas y opiniones en base a las experiencias generadas a partir de la implementación en otros países.

Se puede evidenciar que existe una baja oferta de VE para transporte urbano y a esto se debe sumar que ha existido un periodo de recesión económica producido por la pandemia del COVID 19 en la cual varios actores de la movilidad pública fueron afectados dentro de sus operaciones.

## 2.10. Marco legal de la electro-movilidad en Ecuador

Ecuador cuenta con un conjunto de leyes, planes y estrategias en las cuales se considera la participación del transporte público. A continuación, se detallan las requeridas para este estudio:

1. Ley Orgánica De Eficiencia Energética, la cual dentro del capítulo III, artículo 11, menciona que a partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e intracantonal, en el Ecuador continental, deberán ser únicamente de medio motriz eléctrico.
2. Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE) 2016 – 2035, en donde el Objetivo Sectorial 3 se alinea hacia optimizar el consumo de energía en el transporte de carga y pasajeros, en relación con el escenario de línea base sectorial, por medio de la ejecución de proyectos de eficiencia energética que generen beneficios en el sector.
3. Plan Estratégico de Movilidad 2013-2037 (PEM), orienta el desarrollo del Sistema de Transportes de Ecuador para el periodo 2013-2037 definiendo los programas de actuación en relación con las infraestructuras, los equipamientos y el marco institucional y de gestión.
4. Resolución No. 016-201 del Comité de Comercio Exterior (COMEX), establece reducir al 0 % el arancel para importación de VE para uso particular, transporte público y de carga, los cargadores para electrolinerías, las baterías y cargadores para VE, permitiendo mantener armonía con los beneficios tributarios detallados de la Ley Orgánica para el Fomento Productivo, Atracción de Inversiones, Generación de Empleo, Estabilidad y Equilibrio Fiscal.
5. La Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador (ENEE), desarrollada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y publicada en el 2021, define como objetivo para el 2025 que el parque de buses contenga de un 3 % a un 5 % de unidades eléctricas. Esto implica un total de 1.500 vehículos cero emisiones. El cumplimiento de este objetivo, según el documento, colaborará para cumplir con un fin a largo plazo vinculado a un aspecto económico, ambiental y laboral del país.



### 3. Análisis Eléctrico

#### 3.1. Red Eléctrica en Ciudades de Estudio

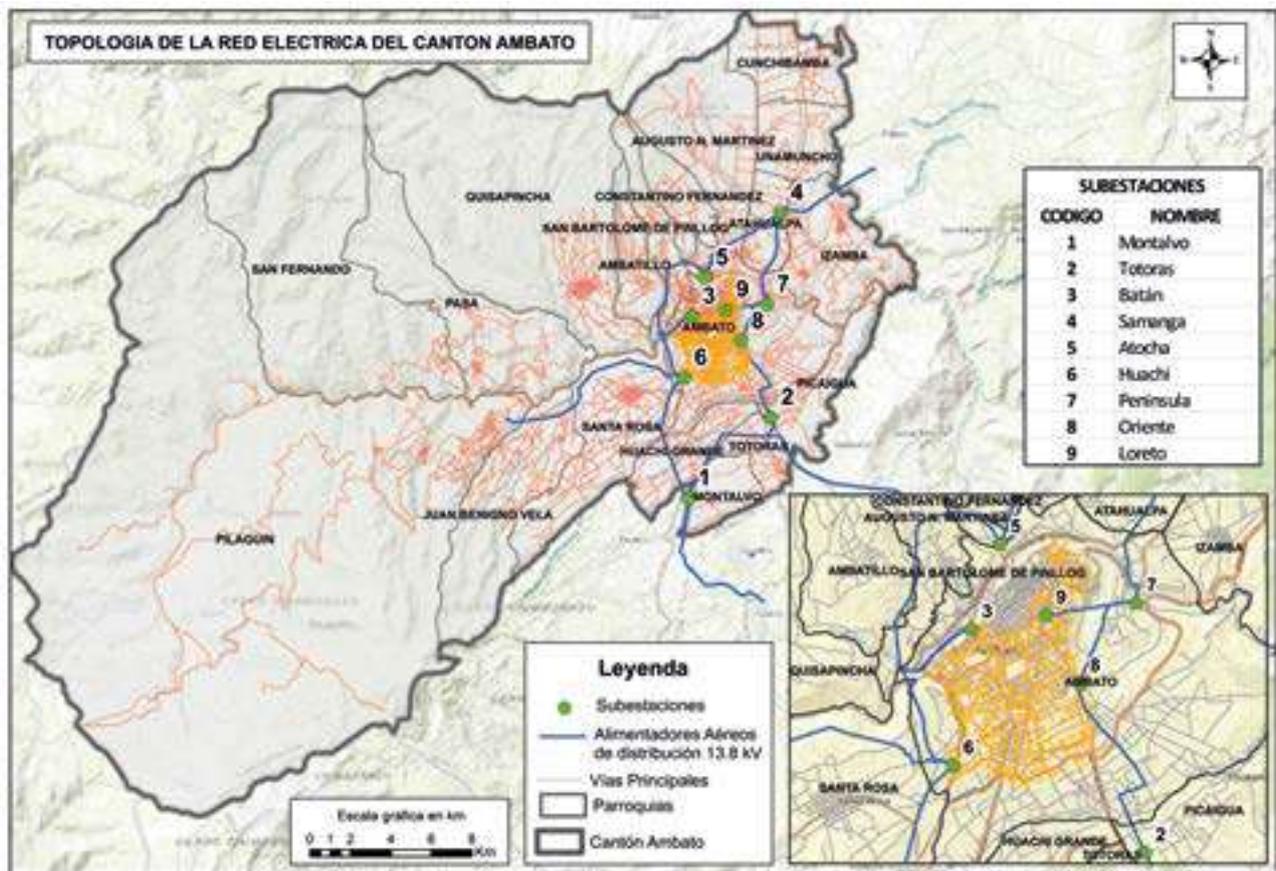
Los buses eléctricos de transporte público, para su funcionamiento, requieren de fuentes de energía que les abastezcan de energía eléctrica para la carga de sus baterías. Esto implica la implementación de centros de carga que se conectarán a la red eléctrica convencional de las ciudades de estudio. En este sentido, los buses eléctricos durante el período de carga ocasionarán un incremento del consumo habitual de energía de la red eléctrica, siendo necesario conocer de antemano la topología actual de la red eléctrica con el objetivo de determinar la capacidad

de la red para abastecer de energía a los centros de carga, o en su defecto posteriormente realizar un estudio de posibles modificaciones o adecuaciones para un correcto abastecimiento. En este sentido, la topología de una red eléctrica se describe como el gráfico de un conjunto sistemático, organizado y jerárquico, de todos los componentes eléctricos que conforman un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) y, dependiendo de la forma en que estén conectados dichos elementos, la topología cambiará.

#### 3.2. Topología de la Red Eléctrica del Cantón Ambato

La topología eléctrica que maneja el sistema de subtransmisión de la ciudad de Ambato corresponde a una topología Red Lazo - Radial o Mixto. Esta corresponde a una combinación de dos categorías: red radial y red en lazo o malla. La mayor parte de los usuarios se manejan en una red en lazo o malla ya que poseen dos accesos de abastecimiento

de energía, si uno de ellos falla o por cuestiones de mantenimiento se pone fuera de servicio, interviene el otro acceso garantizando de esta manera la continuidad del servicio eléctrico. En la Figura 24, se puede observar la topología de la red de subtransmisión de la ciudad de Ambato.



**Figura 24.** Topología eléctrica de la red de subtransmisión de la ciudad de Ambato.

Fuente: Elaboración propia  
 Instituto de Investigación Geológico y Energético



La red eléctrica del Cantón Ambato posee nueve subestaciones a un nivel de 13,8 kV distribuidas a lo largo de todo su territorio de las cuales dos subestaciones poseen dos barras y las demás una sola. De las nueve subestaciones, dos de ellas poseen un solo transformador de 69/13,8 kV, mientras que las demás tienen dos transformadores de las mis-

mas características. Dichas subestaciones presentan una y dos barras de acuerdo con la Tabla 11. Las nueve subestaciones se encuentran ubicadas cerca de la zona más poblada del cantón, desde donde salen los alimentadores hacia las zonas rurales alejadas.



**Tabla 11: Subestaciones de la red de subtransmisión de la ciudad de Ambato.**

N°	Subestación	Voltaje (kV)	Barras
1	Atocha	13,80	Atocha 1
2	Batán	13,80	Batán 1
			Huachi 1
3	Huachi	13,80	Huachi 2
			Loreto 1
4	Loreto	13,80	Loreto 2
5	Montalvo	13,80	Montalvo 1
6	Oriente	13,80	Oriente 1
7	Península	13,80	Península 1
8	Samanga	13,80	Samanga 1
			Samanga 2
9	Totoras	13,80	Totoras

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, existen 63 alimentadores que nacen en las subestaciones y abastecen de energía eléctrica a los distintos sectores de la ciudad. Los alimentadores se encuentran a un nivel de tensión de 13,8 kV, poseen ramales monofásicos, bifásicos y trifásicos, dependiendo de las necesidades del sector que abastecen de energía eléctrica; asimismo, en cada ramal existen transformadores conectados. De igual forma, la potencia nominal

de todos los alimentadores es de 6,14 MW, sin embargo, la máxima demanda que manejan no supera los 3 MW. Considerando las condiciones de transferencia de carga e incremento de demanda en los meses finales del año, la capacidad de reserva de potencia para futuros proyectos llega a un valor máximo de aproximadamente 2 MW. Cabe recalcar que varios alimentadores no disponen de una reserva.

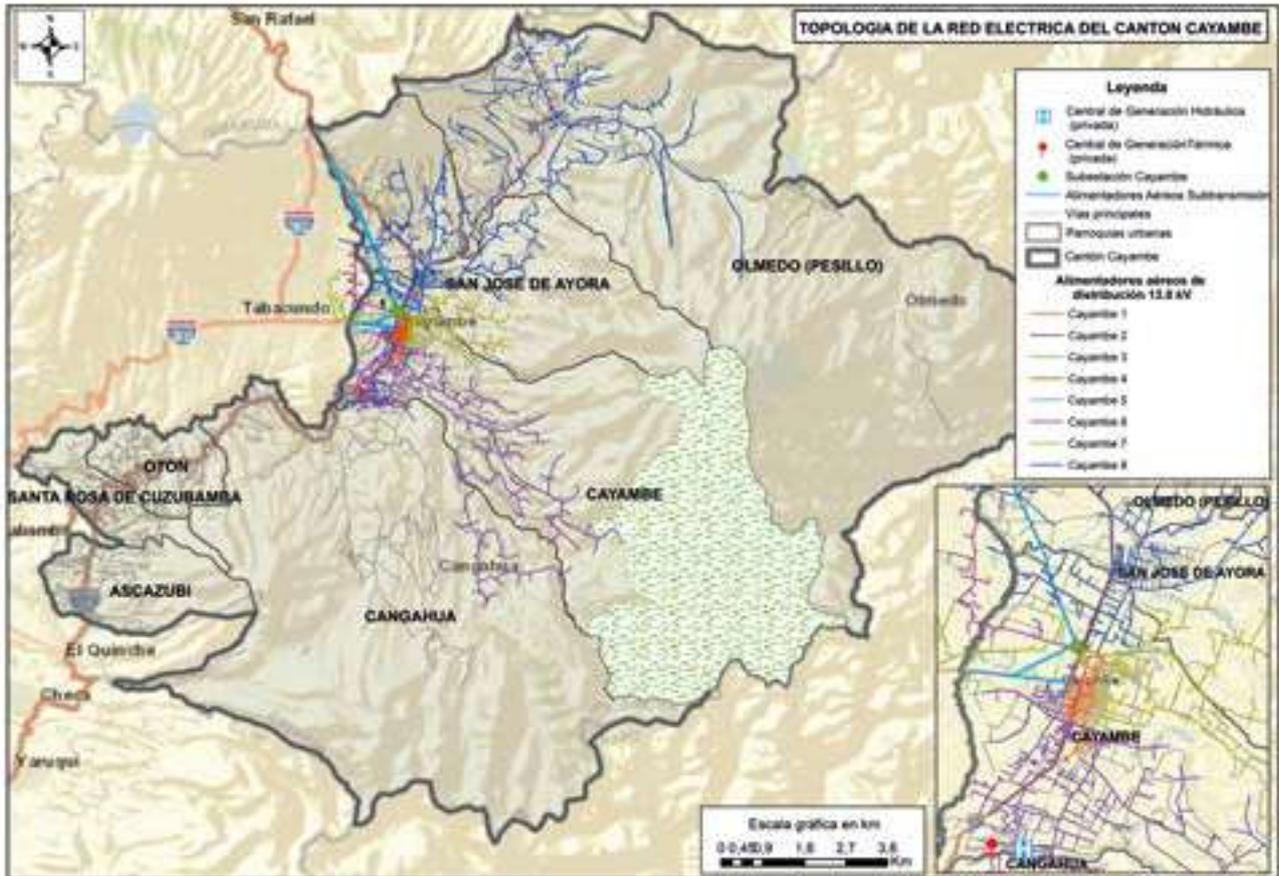
### 3.3. Topología de la Red Eléctrica del Cantón Cayambe

La topología de la red eléctrica del cantón Cayambe corresponde a una Red Radial. Esto implica que el sistema es redundante; es decir, en caso de la ocurrencia de un evento que impida el abastecimiento de energía por uno de sus accesos, el otro acceso lo puede solventar sin dejar a los usuarios sin energía eléctrica. La subestación Cayambe posee dos transformadores de 10 MVA cada uno, cuya potencia nominal es de 10 MVA y puede funcionar a una potencia de 12,5 MVA máximo.

El Cantón Cayambe posee una subestación de

dos barras cuyo voltaje es de 69/13,80kV y, posee ocho alimentadores que se encargan de distribuir la energía a lo largo de todo el cantón de la siguiente manera: Cinco alimentadores están conectados al transformador 1 y los tres restantes al transformador 2.

En la Figura 25 es posible notar que la subestación eléctrica se encuentra dentro de la zona urbana del cantón Cayambe, alimentando a zonas de mayor concentración y, a partir de aquí, nacen los alimentadores aéreos hacia los distintos poblados.



**Figura 25.** Topología eléctrica de la red de distribución del cantón Cayambe.  
**Fuente:** Elaboración propia.

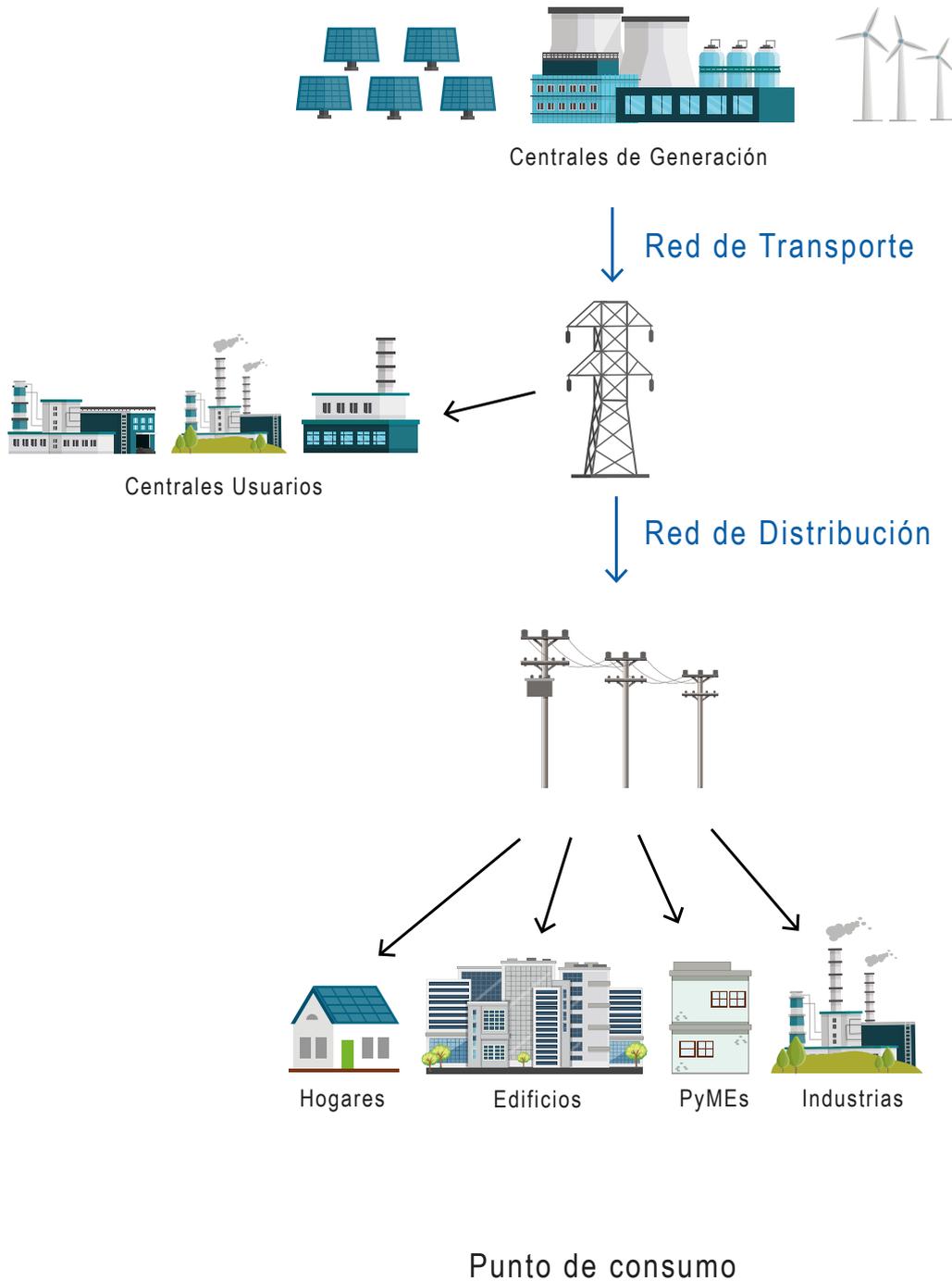
### 3.4. Potencia de autoabastecimiento y autoconsumo.

#### 3.4.1. Definición de Generación Distribuida:

Se puede definir a la Generación Distribuida (GD) como la generación de energía eléctrica en pequeña escala, ubicada lo más cercanamente posible al consumidor, considerando la máxima eficiencia energética y con la opción de interac-

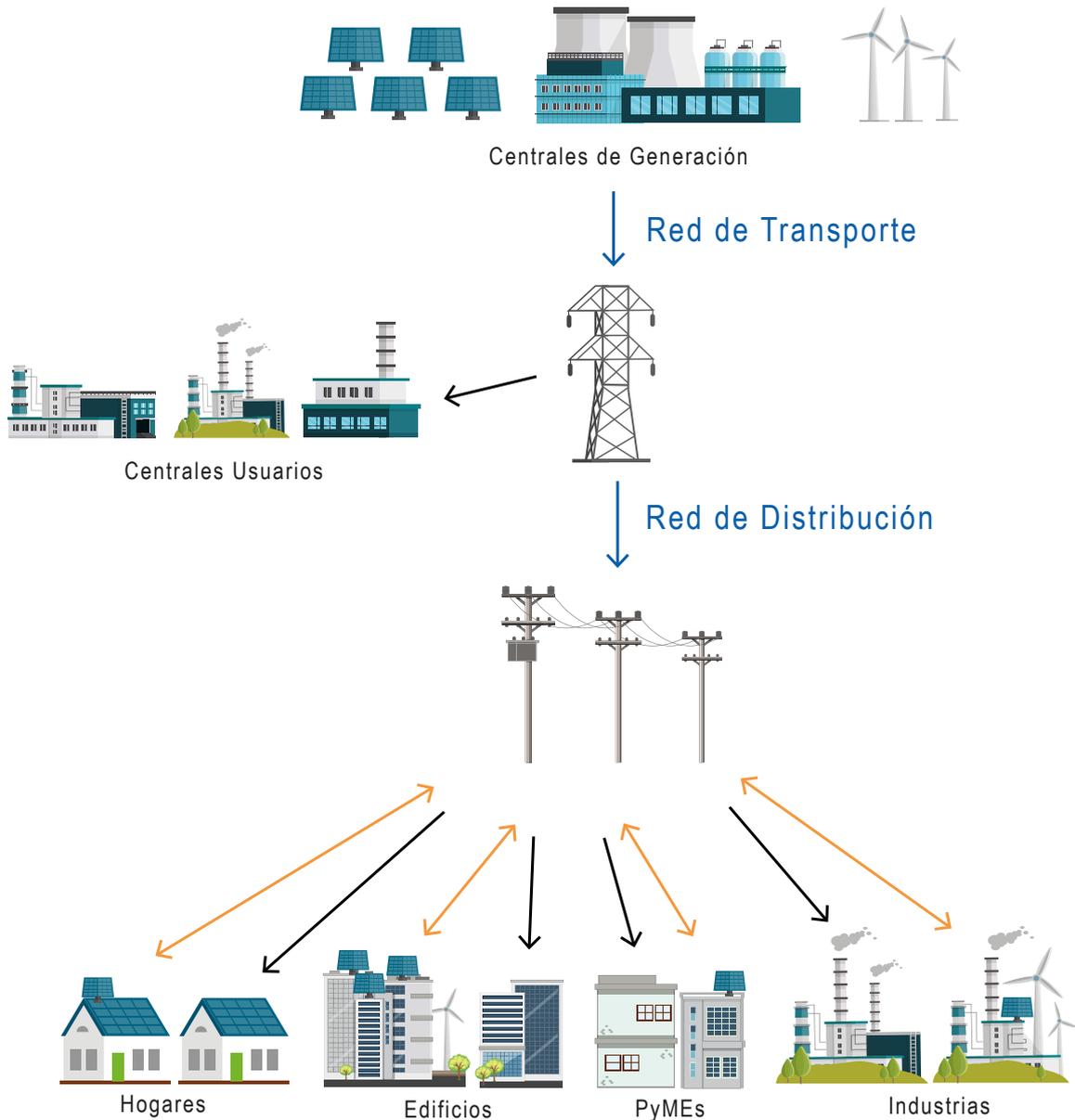
tuar con la red eléctrica convencional, esta última dependiendo de las políticas y normas internas de cada país [54] [55]. En la Figura 26, se puede apreciar la comparación del modelo tradicional y el modelo de GD.

## CÓMO ES LA GENERACIÓN ELÉCTRICA HOY





## CÓMO SERÁ CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA



### Generación eléctrica en el punto de consumo

**Figura 26.** Modelo tradicional de generación eléctrica vs modelo integrando la Generación Distribuida.  
**Fuente:** [56] [57].

El objetivo es abastecer de energía eléctrica a los consumidores en caso de horas pico de demanda, o eventos fortuitos en los cuales el suministro normal de

energía se interrumpe. Existe una clasificación para la GD que depende de la capacidad de generación de las centrales, en la Tabla 12 se detalla una clasificación:

**Tabla 12: Clasificación de la GD.**

Denominación de la GD	Rango de potencia
Micro GD	1 W < potencia < 5kW
Pequeña GD	5 kW < potencia < 5MW
Mediana GD	5 MW < potencia < 50 MW
Gran GD	50 MW < potencia < 300MW

Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte de la GD se basa en el uso de energías renovables como son: turbinas eólicas, pequeñas centrales hidroeléctricas, las células solares, mareomotriz, geotérmica y la biomasa. Este tipo de tecnología acarrea beneficios de tipo ambientales como la disminución de emisión de GEI que son causantes del cambio climático. Al mismo tiempo, este tipo de tecnología reduce la

emisión de ruido y por ende mejora la calidad de vida de la población. Por otro lado, existen también tecnologías basadas en el almacenamiento de la energía mediante el uso de baterías, volantes de inercia, súper condensadores, almacenamiento de energía en aire comprimido o almacenamiento por bombeo. En la Tabla 13 se muestra una comparativa.

**Tabla 13: Tecnologías de la Generación Distribuida.**

Tecnologías basadas en energía renovable	
<b>Aerogeneradores</b>	La energía eólica hace girar las palas ubicadas alrededor del rotor. Este a su vez está conectado a un eje central que hace girar el generador y en consecuencia se produce electricidad. Están ubicadas en torres altas generalmente de 30 a 40 metros. Esta tecnología es costosa debido al equipamiento utilizado, aproximadamente representa el doble del costo de la tecnología con células solares.
<b>Células solares</b>	La célula solar de estado sólido es un componente eléctrico que convierte directamente la energía de la luz solar en energía eléctrica por el efecto foto-voltaico. Los paneles solares están hechos de una fusión de las células y se han propuesto como una de las más importantes para la GD. Esta tecnología tiene un costo relativamente bajo en comparación con otras.
<b>Pequeñas centrales hidroeléctricas</b>	Se utilizan en lugares donde existe flujo de agua. Por ejemplo, en lugar de las presas existentes se pueden hacer tuberías y canales con esta tecnología. Su capacidad de producción es de hasta 5 MW. Demandan altos costos de producción y largos periodos de construcción.



Tecnologías de almacenamiento de energía	
<b>Almacenamiento de energía eléctrica por superconducción</b>	Este sistema es una bobina que se usa en la fabricación de materiales superconductores. Es posible reducir la resistencia de la bobina a cero bajando la temperatura del material, así, si se inyecta corriente al devanado y luego este se cortocircuita, la energía puede almacenarse en el campo magnético. Debido a los elementos y equipos necesarios es una tecnología de costos elevados.
<b>Grandes bancos de condensadores</b>	Los supercondensadores, como las baterías, almacenan una carga eléctrica. El almacenamiento y las operaciones de los supercondensadores son relativamente lentos porque la liberación de la energía para la reacción química necesita más tiempo. En los condensadores se almacena más energía, por lo que se descargan más rápidamente que las pilas. Debido a que los condensadores mantienen un precio bajo, esta tecnología también lo es.
<b>Sistema de almacenamiento de aire comprimido</b>	Se basa en aprovechar la energía eléctrica sobrante (de bajo costo) fuera de las horas punta, para comprimir el aire e introducirlo mediante una bomba en un almacenamiento subterráneo o cuevas, y más tarde utilizarlo para alimentar una turbina generadora para alimentar a la red eléctrica durante los periodos de alta demanda energética. Es un método eficiente, limpio y económico dependiendo de la ubicación de las cuevas.
<b>Central de almacenamiento de bombas hidráulicas</b>	En horas de baja demanda se bombea agua a un depósito de mayor altura, posteriormente en horas pico se descarga el agua a una menor altura mediante un turbogenerador. En este sentido, la central eléctrica de bombeo hidráulico es similar a los sistemas de almacenamiento de aire comprimido. Demandan altos costos de producción.

Fuente: Elaboración propia.

Como aplicación de la GD hacia la electro-movilidad, define una idea principal basada en la generación de energía gratuita desde la GD y posteriormente cargar los VE. En este sentido, la cantidad de energía necesaria estará en correlación con la cantidad de vehículos. Por otro lado, este sistema posibilitará reducir las cargas de la tecnología contemporánea de la red eléctrica. Sin embargo, la red de distribución

de un sistema de generación convencional no fue diseñado para este tipo de uso, en consecuencia, actualmente los sistemas de distribución eléctrica centralizada están en proceso de transformación a una descentralizada. Cabe mencionar que, si la red de distribución no se ajusta adecuadamente, puede generar perturbaciones en la calidad de la energía entregada a los usuarios [58].

### 3.4.2. Condiciones para sistemas de autoabastecimiento en las ciudades de estudio

En el país, el autobús a combustión interna más utilizado en transporte público corresponde a la

marca Hino, cuyas características se describen en la siguiente tabla:

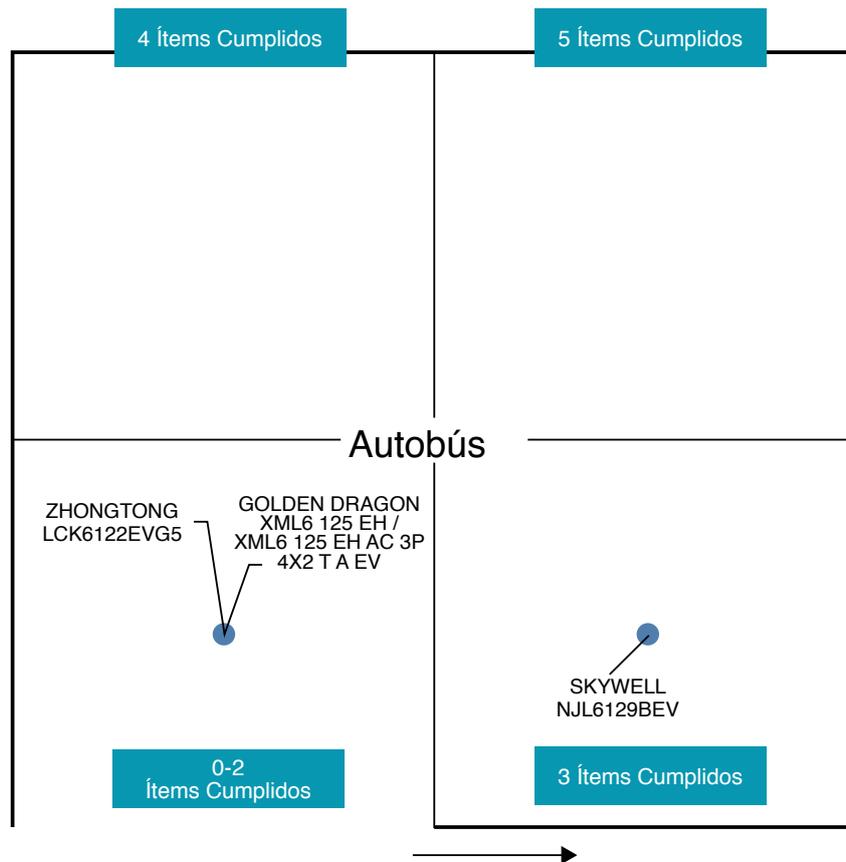
**Tabla 14:** Características del autobús a combustión interna más utilizado en el país.

Marca	Modelo	Categoría	Capacidad carga (Kg)	Plazas	Potencia Motorización (kW)	Velocidad máxima (km/h)	Torque (Nm)
Hino	AK8JRSA 7.7 3P 4X2 TM DIESEL	Autobús	9310	45	184,18	100	739

**Fuente:** Elaboración propia.

La Tabla 14 forma la línea base de comparación entre las dos tecnologías que fueron evaluadas sobre las cuales se realizó el análisis para determinar el autobús eléctrico idóneo, a saber: capacidad de carga, plazas, potencia motorizada, velocidad máxima y torque. En el mercado nacional existen tres autobuses eléctricos homologados cuyas especificaciones se ajustan a la categoría de auto-

bús, aquellos presentan una autonomía, velocidad y potencia de motorización promedio igual a 267 km, 91 km/h y 189 kW, respectivamente. De los mencionados la mayoría cumple, teóricamente, con dos de los los ítems evaluados y establecidos en la línea base de la categoría; además, se puede evidenciar una presencia del 100 % por parte de fabricantes chinos.



**Figura 27.** Autobuses eléctricos homologados en el país.

**Fuente:** Elaboración propia.

De la Figura 27 es posible determinar que el autobús eléctrico de marca “SKYWELL” de modelo NJL-6129BEV cumple con tres de los cinco ítems establecidos para la categoría. Las plazas y capacidad de carga del vehículo eléctrico descrito son inferiores respecto a su contraparte a combustión interna. Sin embargo, es una buena opción y será sobre la cual se

realizarán los estudios para la generación de energía encaminada a la carga de los autobuses eléctricos, cumpliendo de esta manera con el criterio de autoabastecimiento y autoconsumo.

Las características principales del autobús “SKYWELL” se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15:** Características del autobús eléctrico idóneo para el uso en el país.

Marca	Modelo	Autonomía (km)	Capacidad Baterías (kWh)	Tiempo Carga (h)	Rendimiento (kWh/km)	Rendimiento
SKYWELL	NJL-6129BEV	260	322	5	123/100	123

**Fuente:** Elaboración propia.

La ciudad de Cayambe, en proyección al 2030, debe sustituir 161 autobuses de combustión interna a eléctricos (Tabla 16), acorde a la distribución del

total de unidades por cooperativa en cada umbral de aplicabilidad del criterio de reemplazo descrito en la Tabla 15.

**Tabla 16:** Distribución de unidades por umbral de aplicabilidad Cayambe.

Cooperativa	Umbral aplicabilidad 2025	Umbral aplicabilidad 2030
24 de Junio	45	70
Cangahua	21	27
Mushuc Ñan	14	28
Cía. Ayora	14	28
Pukaturis	7	8
Sisayarina	-	-
<b>Total</b>	<b>101</b>	<b>161</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

La ciudad de Ambato, en proyección al 2030, debe sustituir 89 autobuses de combustión interna a eléctricos (Tabla 17), acorde a la distribución del to-

tal de unidades por cooperativa en cada umbral de aplicabilidad del criterio de reemplazo descrito en la Tabla 15.

**Tabla 17:** Distribución de unidades por umbral de aplicabilidad Ambato.

Cooperativa	Umbral aplicabilidad 2025	Umbral aplicabilidad 2030
Atahualpa	7	28
Carihuairazo	-	3
Express Quisapincha	8	12
Jerpazol	-	-
Los Libertadores	2	3
Manuelita Sáenz	7	10
Rey Casahuala	-	4
Tungurahua	5	19
Unión Ambateña	4	10
Vía flores	-	-
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>89</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Tomando en consideración la calidad de la ruta por la cual deben circular los autobuses eléctricos, pendientes y afluencia de pasajeros, entre otros aspectos necesarios, se ha determinado seleccionar

únicamente las rutas de la zona urbana de la ciudad de Ambato, siendo estos: Jerpazol, Los Libertadores, Tungurahua y Unión Ambateña, dando un total de 32 autobuses a ser reemplazados.

### 3.4.3. Estimación de la capacidad fotovoltaica para carga de autobuses eléctricos en terminales priorizadas

De acuerdo con la disponibilidad de paneles solares en el país, acorde al uso y capacidad se ha determinado que el panel idóneo es el Panel Solar 400 Wp / 24 VDC Monocristalino. Este panel con tecnología de Célula Reflectante por sus siglas en inglés (PERC) y anti degradación de potencial inducido (PID) produce 400Wp bajo irradiación solar de 1 000 W / m<sup>2</sup> a 25°C. En un sitio normal pue-

de generar aproximadamente 1 800 kWh al día de energía limpia. El voltaje de este panel es apto para sistemas de 24 VDC nominal. Por su caja de conexión central es apto para sistemas de conexión en serie como en paralelo.

Las características del panel se observan en la Tabla 18.

**Tabla 18: Detalles Panel Fotovoltaico.**

Tipo	Monocristalino
Modificación	72 células de 158mm
Voltaje circuito abierto Voc	48,60
Voltaje potencia máximo Vmpp	39,92
Corriente circuito cerrado Isc	10,40
Corriente potencia máxima Impp	10,02
Eficiencia del panel	20,61 %
Dimensiones	1980x1002x40mm
Peso	22.9kg
Voltaje	24V

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.4. Terminales Terrestres

En base a análisis previos en las ciudades de estudio se ha determinado las posibles terminales donde se ubicarían los sistemas de generación

fotovoltaica para abastecer en el mismo lugar a estaciones de carga de autobuses.

### 3.4.5. Terminales terrestres ciudad de Cayambe

En la Figura 28 se observa las dos propuestas de terminales para la ciudad de Cayambe, la forma del terreno con sus respectivas áreas:

- Terminal terrestre Cayambe con 5 163,09 m<sup>2</sup>, ubicado en la parte norte de la ciudad de Cayambe a 1,3 km del centro de la ciudad, sirve para rutas intercantonales e in-

terprovinciales que cubren rutas del sur y norte del país.

- Terminal terrestre Cía. Ayora con 1 675,78 m<sup>2</sup>, ubicado a 4 km de la ciudad de Cayambe, es una terminal secundaria, que sirve para las rutas intercantonales e interprovinciales hacia el norte del cantón Cayambe.



**Figura 28.** Terminales Terrestres en la ciudad de Cayambe.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.6. Terminales terrestres ciudad de Ambato

En la Figura 29 se observa las tres propuestas de terminales para la ciudad de Ambato, la forma del terreno con sus respectivas áreas.

- Terminal terrestre Sur con 63 129,22 m<sup>2</sup> es la más grande terminal terrestre, la cual sirve para rutas intercantonales e interprovinciales que cubren rutas del país. Estratégicamente se encuentra fuera del casco urbano de la ciudad con el fin de evitar el aumento de tráfico y congestión vehicular dentro de Ambato.
- Terminal terrestre Ingahurco con 21 317,03 m<sup>2</sup>, es una terminal ubicada en el centro de la ciudad de Ambato, cercano a la estación de trenes donde existe el espacio indicado para poder armar la infraestructura para la RD la que ayudaría a la alimentación de las estaciones de carga.
- Terminal terrestre interprovincial América con 3 268,36 m<sup>2</sup>, es una estación ubicada de igual manera en el sur de la ciudad y sirve para el transporte público interurbano.



**Figura 29.** Terminales Terrestres en la ciudad de Ambato.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.7. Método de estimación de capacidad fotovoltaica para carga de autobuses eléctricos

La capacidad fotovoltaica que puede ser instalable en un sitio, depende directamente del área disponible, donde los sitios priorizados son las terminales de las ciudades de Ambato y Cayambe de las Figura 28 y Figura 29. El requerimiento

energético para abastecimiento de autobuses eléctricos en Ambato se basó en el número de unidades del área urbana, el cual es de 32 unidades. En cambio, el de Cayambe, se establece de la siguiente forma:

$$E_{requerida} > N_{buses} \epsilon_{bateria} E_{bateria} \quad (01)$$

Donde,  $E_{requerida}$  es la energía requerida por el número de autobuses  $N_{buses}$ .  $\epsilon_{bateria}$  es la eficiencia del sistema de baterías del autobús, la cual fue escogida como el 90.9 % [59]. Por último,  $E_{bateria}$  es la cantidad de energía que puede suministrar el sistema de baterías al autobús eléctrico.

La capacidad del sistema fotovoltaico es ajustada considerando la proyección de la generación con el Atlas Solar Mundial, del Banco Mundial (ESMAP, n.d.). Para esto, se consideró el mínimo valor de la energía diaria proyecta a nivel mensual, tomando el mínimo valor de ello. Los puntos referenciales para realizar la proyección de generación fotovoltaica con el Atlas Solar se presentan en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Coordenadas referenciales para la proyección de energía fotovoltaica.

Ciudad	Sitio	Latitud	Longitud	Sistema de coordenadas
Ambato	Terminal Sur	-1.30056	-78.63458	EPSG:4327 - WGS84
	Terminal América	-1.26824	-78.60873	
	Terminal Ambato	-1.23625	-78.61646	
Cayambe	Terminal Terrestre	0.05049	-78.14362	
	Terminal Cía. Ayora	0.010686	-78.155923	

**Fuente:** Elaboración propia.

En los casos que el área disponible en los terminales de autobuses es pequeña, la capacidad es estimada siguiendo la Ecuación (02).

$$P_{terminal} > \frac{A_{terminal} * P_{panel}}{1000 * A_{panel}} \quad [kW] \quad (02)$$

Donde,  $A_{terminal}$  es el área disponible de la terminal de autobuses para la instalación fotovoltaica, la cual considera hasta el 92 % del área total. El área del panel ( $A_{panel}$ ) es aproximada a 2 m<sup>2</sup> y  $P_{panel}$  es la capacidad por panel, la cual corresponde a 400 Wp. Con este dato se pro-

yecta la energía del sistema fotovoltaico, donde se considera la producción del día medio para el mes de menor generación. El número de autobuses que puede ser abastecido por el sistema fotovoltaico es estimado mediante la Ecuación (03).

$$N_{buses} \approx \frac{\epsilon_{bateria} E_{proyectada}}{E_{bateria}} \quad \forall N_{buses} \in \mathbb{N} \quad (03)$$

### 3.4.8. Resultados Ciudad de Cayambe

En la ciudad de Cayambe están disponibles dos terminales terrestres:

- Terminal terrestre Cayambe con 5 163 m<sup>2</sup>.
- Terminal terrestre Cía. Ayora con 1 676 m<sup>2</sup>.

En la Tabla 20 se detalla la capacidad de generación en cada terminal terrestre y el número de autobuses que se pueden cargar diariamente:

**Tabla 20:** Ficha técnica del panel solar

Detalle	Terminal Cayambe	Terminal Cía. Ayora
Área para paneles (m <sup>2</sup> )	4 800	1 500
# paneles fotovoltaicos	2 400	750
Potencia generada por los paneles (kW)	960	300
Energía entregada por la central (kWh/día)	3 260	1 056
# Autobuses a cargar (c/día)	9	2

**Fuente:** Elaboración propia.

Debido a la extensión de terreno, los terminales de Cayambe y Cía. Ayora están en la capacidad de cargar nueve (9) y dos (2) autobuses, respectivamente.

### 3.4.9. Resultados Ciudad de Ambato

En la ciudad de Ambato están disponibles 3 terminales terrestres:

- Terminal terrestre Sur con 63 129 m<sup>2</sup>.
- Terminal terrestre interprovincial América con 3 268 m<sup>2</sup>.

- Terminal terrestre Ingahurco con 21 317 m<sup>2</sup>.

En la Tabla 21 se detalla la capacidad de generación en cada terminal terrestre y el número de autobuses que se pueden cargar diariamente:

**Tabla 21:** Ficha técnica del panel solar.

Detalle	Terminal Sur	Terminal América	Terminal Ingahurco
Área para paneles (m <sup>2</sup> )	10 020	2 868	5 184
# paneles fotovoltaicos	4 175	1 195	2 160
Potencia generada por los paneles (kW)	1 670	478	864
Energía entregada por la central (kWh/día)	6 396	1 800	31 192
# Autobuses a cargar (c/día)	18	5	9

**Fuente:** Elaboración propia

Los terminales Sur, América e Ingahurco están en la capacidad de cargar a 18, cinco (5) y nueve (9) autobuses respectivamente.



## 4. Escenarios de Prospectiva Energética para la Introducción de Electro-movilidad

Las estrategias que soporten una introducción de autobuses eléctricos en las ciudades de estudio hasta el año 2030 deben establecerse en función del resultado de la comparación entre varios escenarios. En primer lugar, un escenario tendencial denominado *“Business as usual”* (BAU), el cual brinda las métricas de línea base para la comparación con alternativas de transición energética y que se caracteriza por estar basado en intensidades energéticas derivadas de tendencias históricas; un segundo escenario CEET (Esfuerzo Conservador de Transición Energética, por sus siglas en inglés), en donde la principal característica es el reemplazo de tecnología en propulsión desde combustibles fósiles hacia energía eléctrica; y un tercer escenario denominado MEET (Máximo Esfuerzo de Transición Energética, por sus siglas en inglés) en el que las medidas de transición energética del escenario CEET son implementadas con metas mucho más ambiciosas.

Para el desarrollo de los escenarios mencionados se dividió en dos etapas principales, una de identificación y recopilación de información, y otra de diseño y aplicación. Para el primer caso los datos requeridos para la estimación del parque automotor al año 2030 son principalmente de dos tipos: Datos socioeconómicos, que son proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y el Banco Central del Ecuador (BCE) como información de la población, número de hogares y valor agregado bruto (VAB); por otra parte, infor-

mación del parque vehicular que son recabados por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y presentados en el anuario de transporte del INEC.

Se desarrolló un análisis prospectivo sobre el aumento del parque automotor en el país hasta 2030 utilizando la metodología y el modelo de simulación: Ecuadorian Energy Development under Energy Constraints (EEDEC), desarrollado en el Instituto de Investigación Geológica y Energética (IIGE). El modelo EEDEC se basa en la Dinámica de Sistemas, lo que permite integrar componentes y retroalimentaciones dentro del sistema energético del país para obtener una perspectiva más compleja y sólida en comparación con otros métodos utilizados comúnmente en la modelación energética.

El modelo EEDEC opera con 13 fuentes de energía diferentes, que incluyen petróleo, gas natural libre, gas natural asociado, leña, etanol, biomasa, electricidad, gasolina, GLP, jet fuel, diésel, fuel oil, gases de refinería y no energéticos. Además, el modelo se divide en seis módulos: demanda energética, disponibilidad energética, infraestructura energética, consumo energético, emisiones e indicadores.

El proceso detallado de elaboración del modelo se describe en el artículo científico titulado *“Análisis de las trayectorias futuras de energía para Ecuador frente a las perspectivas de disponibilidad de petróleo utilizando un modelo de dinámica de sistemas. ¿Es inevitable el decrecimiento?”* [60].





#### 4.1. Escenario BAU (Tendencial)

El escenario BAU considerado para el caso de estudio, se caracteriza por mantener tendencias históricas de lo que el modelo empleado establece como intensidades energéticas, esto corresponde a una variable en el tiempo, la cual depende principalmente de: i) Cambios tecnológicos, representados por ejemplo en mejoras en la eficiencia de conversión energética de motores y variadores, avances en aislamiento térmico, entre otros, ii) Sustituciones de tecnología que conllevan un cambio en la fuente energética final. Las sustituciones pueden estar motivadas por necesidades tecnológicas, costos, políticas energéticas, entre otros y iii) Variaciones en el Producto Interno Bruto (PIB) o VAB sectorial por factores externos a la energía, que no son tomadas en cuenta en el modelo. Además, el escenario BAU no considera la implantación de nuevas iniciativas que intensifiquen la participación de vehículos híbridos o eléctricos en el mercado y dentro de su pronóstico se descartan vehículos los cuales no respondan al alcance del estudio.

#### 4.2. Escenario CEET (Conservador)

El escenario conservador presenta medidas orientadas hacia un esfuerzo conservador de transición energética, con metas moderadas en las políticas de mejora de eficiencias y cambios de equipos. El reemplazo de tecnologías impulsadas derivados de petróleo por otras basadas en energía eléctrica constituye la característica más notable en este escenario.

En términos de transporte, este escenario se enfoca en considerar una transición hacia vehículos eléctricos en el sector, incluyendo una hipótesis en donde hasta el año 2050 se alcanza el 35 % de autobuses eléctricos en el transporte público.

#### 4.3. Escenario MEET (Máximo esfuerzo)

El escenario de máximo esfuerzo se caracteriza por políticas públicas orientadas hacia un esfuerzo máximo de transición energética en el país. En este escenario, se establecen metas más ambiciosas en términos de eficiencia energética y reemplazo tecnológico en comparación con el escenario conservador. Adicionalmente, se plantean estrategias alternativas, como la utilización de biomasa como fuente de energía en la industria, y se promueve la adopción masiva del transporte público eléctrico junto con medidas para fomentar la movilidad no motorizada.

En este escenario se establecen metas más ambiciosas de electrificación del transporte terrestre, en comparación con el escenario conservador. De manera similar al escenario conservador, se observa un impulso creciente en el sector del transporte público de pasajeros a partir de 2025, cuando por disposición de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética se condiciona el ingreso de nuevos autobuses en el país a que utilicen tecnologías de propulsión eléctrica. Además, este escenario establece objetivos ambiciosos en términos de promover el uso de modos de transporte no motorizados, como caminata o bicicleta, para complementar la movilidad urbana.

#### 4.4. Transporte privado

Los escenarios planteados en el modelo asumen que las importaciones de petróleo crudo están limitadas por la oferta y la parte correspondiente al país, en la demanda global. En el caso del transporte privado, este incluye vehículos de dos y cuatro ruedas a gasolina, diésel, híbridos y eléctricos. Para el escenario tendencial, no se consideran medidas alternativas que impulsen el aumento en la participación de vehículos híbridos y eléctricos, a más de las iniciativas que se encuentran en vigencia actualmente, como en el caso de la Línea de Acción 1 del Objetivo Específico 3 del Eje de Transporte en el Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLA-NEE). Puesto que en el escenario tendencial las proyecciones de participación de cada tecnología se basan en la propensión de valores históricos, este escenario no incluye la proyección de vehículos eléctricos de dos ruedas.

Por su parte, los escenarios conservador y de máximo esfuerzo, presentan una transición moderada y marcada hacia vehículos eléctricos en el transporte privado, respectivamente. Para definir la curva de tendencia de la participación de cada tecnología en el transporte, se llevó a cabo un ajuste a los valores históricos en la que se escogió a la función de tendencia con mejor coeficiente de regresión ( $R^2$ ). Las tecnologías híbridas y eléctricas presentan una penetración incremental desde el año base hasta 2050 tanto en vehículos de cuatro ruedas como de dos ruedas. Igualmente existe un mayor impulso a la movilidad sostenible, identificada como caminar o bicicleta.

#### 4.5. Transporte comercial

En el caso del transporte comercial, este incluye vehículos de cuatro ruedas a gasolina, diésel, gas

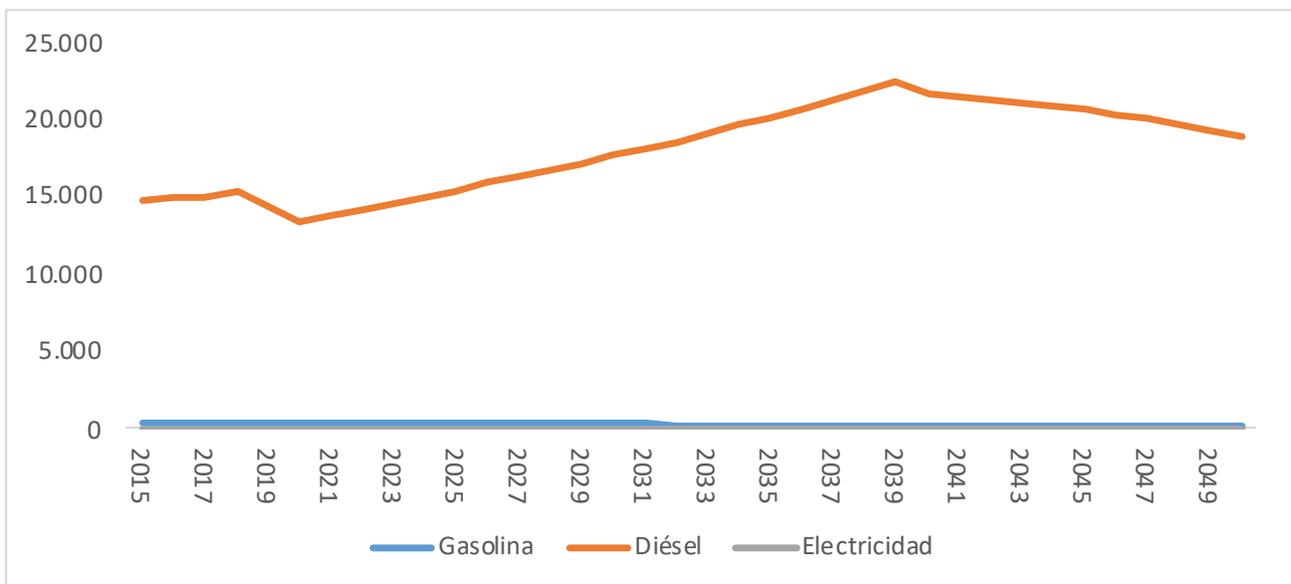
natural, así como híbridos y eléctricos. En este segmento se ubican los autobuses y colectivos, objetos de estudio en el presente libro. Para el escenario tendencial, no se especifican medidas que busquen promover el ingreso de vehículos híbridos, eléctricos y a gas natural, más allá de las presentes iniciativas de movilización masiva eléctrica representadas por los proyectos del Metro de Quito y el Tranvía de Cuenca. Para el caso de vehículos comerciales a diésel y gasolina, estas se mantienen en la tendencia histórica, siguiendo la misma metodología que en el caso del transporte privado.

En el caso de los escenarios conservador y de máximo esfuerzo, se produce una transición hacia la electrificación de autobuses y colectivos hasta 2050 con metas del 35 % y 85 % del parque respectivamente, arrancado a partir de 2025 acorde a la disposición incluida en la Ley Orgánica de Eficiencia Energética. En el caso de transporte de carga pesada, no se incluyen escenarios de electrificación, debido a pronósticos conservadores en lo referente a su penetración a largo plazo, pero se incluyen objetivos de combustibles alternativos, en específico gas natural, dentro de su trayectoria de transición.

#### 4.6. Resultados de escenarios a nivel nacional

Este estudio de prospectiva se fundamenta en la información de transporte agregada disponible a nivel nacional y recopilada en el Balance Energético Nacional (BEN), por lo cual, los datos inicialmente cubren todo el país. Para el caso específico de Ambato y Cayambe, las proyecciones de transporte público se realizan con base en las tendencias del modelo nacional en cada escenario y las relaciones entre el parque nacional y los parques urbanos, recorridos y consumos promedio obtenidos como parte del estudio realizado en las dos ciudades.

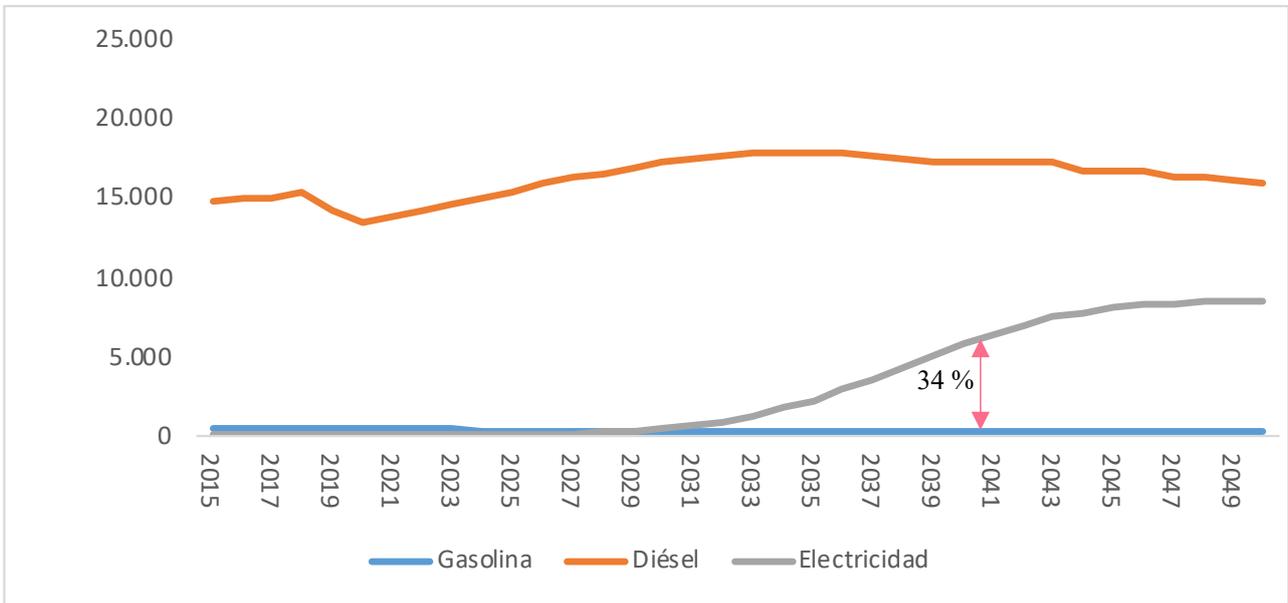
En la Figura 30 se indica la evolución en el parque automotor de autobuses y colectivos en el país, tanto a diésel como a gasolina para el escenario tendencial. En el mencionado escenario, el número de autobuses a diésel mantiene una tendencia creciente hasta el año 2038, a partir de donde empieza a disminuir debido a las restricciones al acceso de diésel en el mercado internacional para importación de combustibles fósiles. Por su parte, los autobuses eléctricos mantienen la tendencia y representan un porcentaje despreciable del total del parque.



**Figura 30:** Evolución del parque de autobuses a nivel nacional en el escenario BAU.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Por su parte, en el caso del escenario conservador, el parque de autobuses eléctricos empieza a crecer de manera significativa a partir del año 2029, a través de la implementación de venta obligatoria incluida en la LOEE, como se puede observar en la Figura 31. Este incremento en ventas causa que el parque de autobuses a diésel

y gasolina crezca de manera más lenta y posteriormente se mantengan en una meseta previo a su retirada de servicio. En un escenario de electrificación conservador, el número de autobuses eléctricos llega a representar un 34 % del total del parque en el año 2040, como se visualiza en la Figura 31.

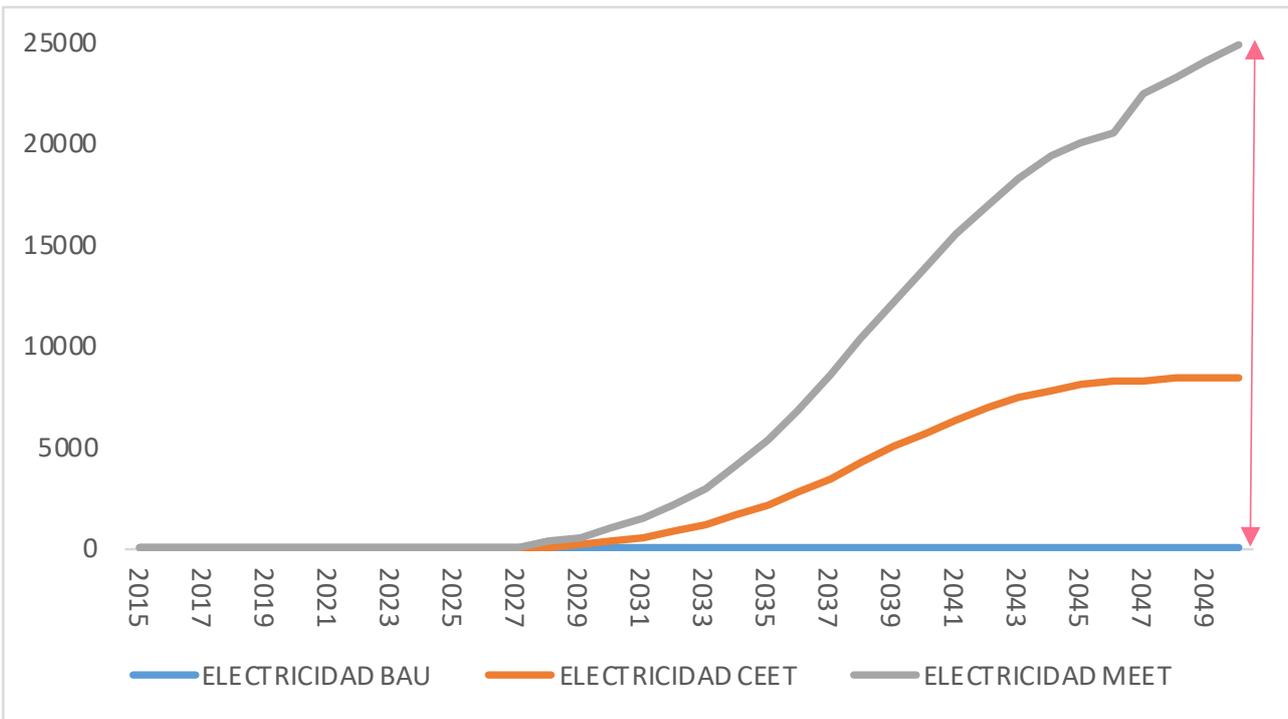


**Figura 31:** Evolución del parque de autobuses a nivel nacional en el escenario CEET.

**Fuente:** Elaboración propia.

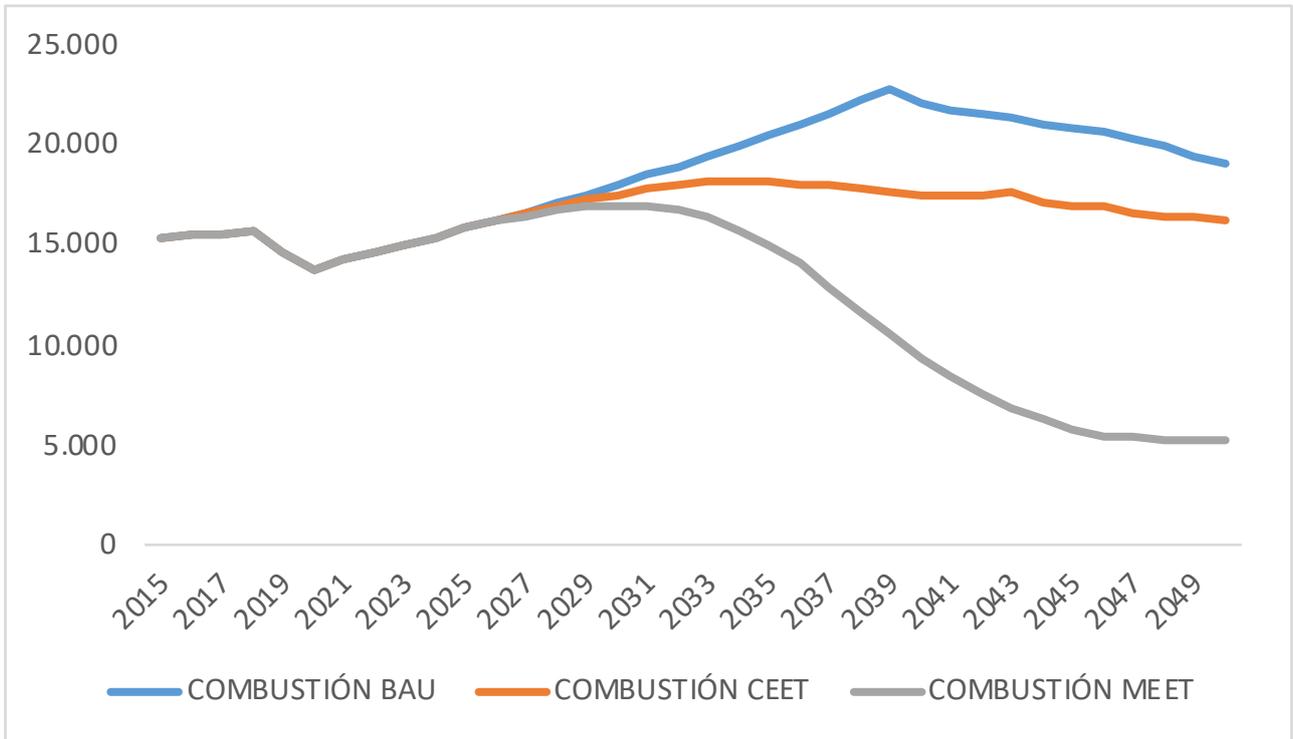
Finalmente, el escenario de máximo esfuerzo alcanzaría el 85 % del parque de autobuses al año 2050 mediante un crecimiento agresivo en el número de autobuses eléctricos, llegando a ser ya un 5 % del total en 2030 y un 60 % en 2040. Debido a esta transición, el parque total de autobuses en

el escenario de máximo esfuerzo es mayor que en los otros dos escenarios, sin embargo, el número de autobuses a combustión empieza a caer. En la Figura 32 y Figura 33 se incluye la proyección del parque de autobuses a combustión interna en los tres escenarios.



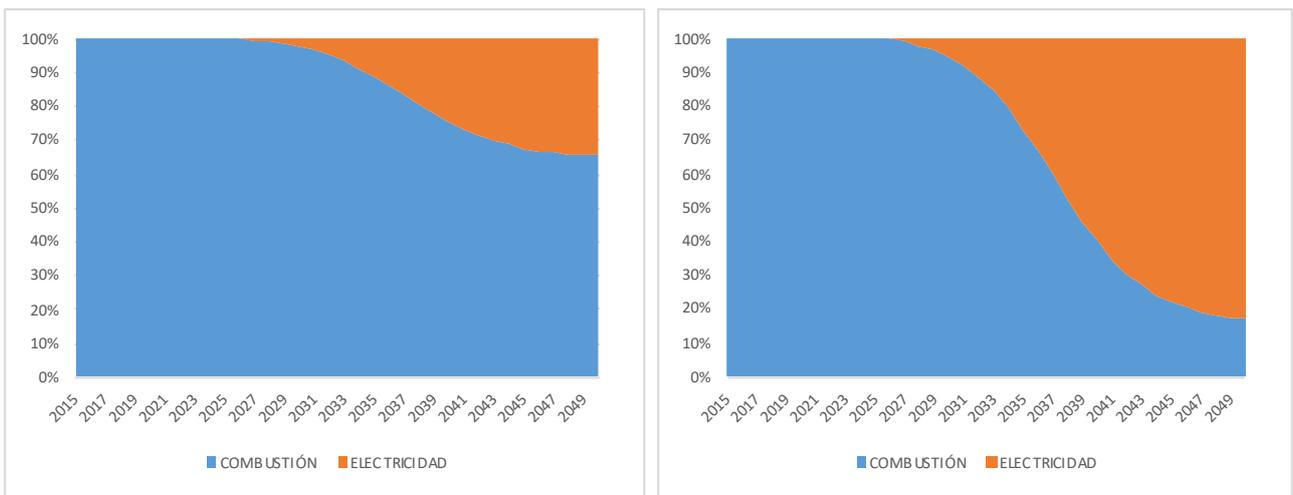
**Figura 32:** Evolución del parque nacional de autobuses eléctricos para los escenarios BAU, CEET, MEET.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 33:** Evolución del parque nacional de autobuses a combustión interna para los escenarios BAU, CEET, MEET.  
**Fuente:** Elaboración propia.

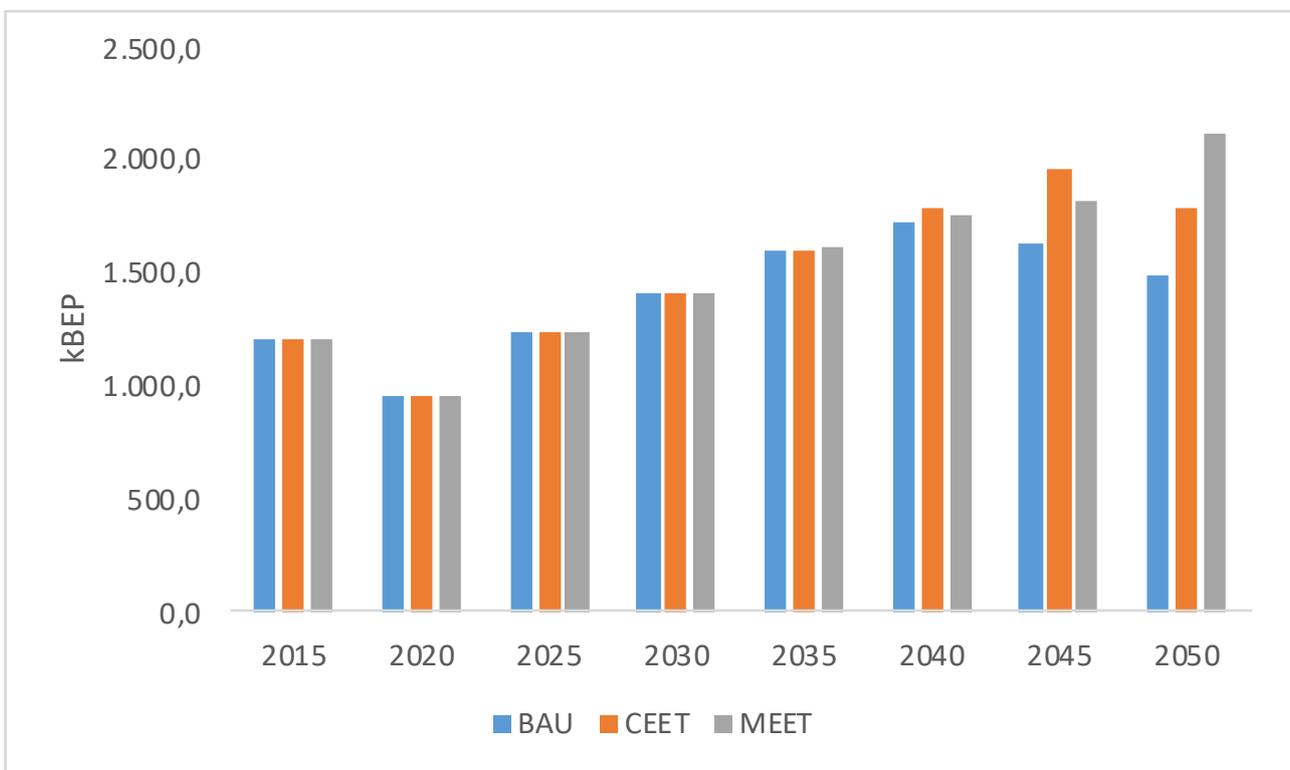
Las Figura 34 (a – b) muestran la evolución de la participación de autobuses eléctricos al año 2050 para los escenarios conservador y de máximo esfuerzo, respectivamente.



**Figura 34:** Composición del parque nacional de autobuses en los escenarios a) CEET y b) MEET.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Dentro del análisis del consumo energético de autobuses y colectivos a nivel nacional, se observa que este mantiene una tendencia partiendo del año 2020, año caracterizado por la caída de la demanda a causa de la pandemia de COVID 19. Los consumos energéticos del sector se mantienen similares durante el período 2020 - 2035, durante el cual ocurre un reemplazo en el parque de autobuses a combustión interna por parte de autobuses eléctricos más eficientes en los escenarios conservadores y de máximo esfuerzo. Debido a la caída en el número de autobuses de diésel a partir de 2038

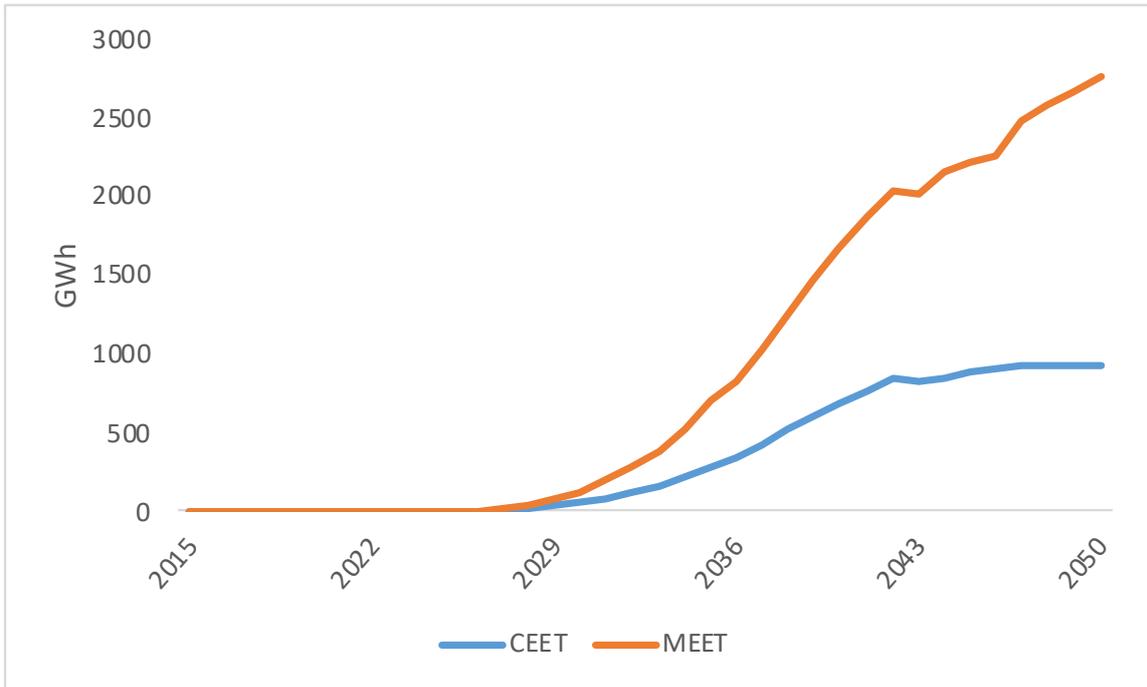
en el escenario tendencial a causa de una restricción estimada en la disponibilidad de combustible, el consumo energético total a partir de este año es menor que en el caso de los escenarios conservador y de máximo esfuerzo, ya que estos mantienen un parque en aumento por la introducción de autobuses eléctricos, como se indica en la Figura 35. En este sentido, se proyecta que el transporte público de pasajeros requeriría en 2050 un total de 1 491 kBEP en el escenario tendencial, 1 797 kBEP en el escenario conservador, y 2 115 kBEP en el escenario de máximo esfuerzo.



**Figura 35:** Comparación de consumo energético de autobuses en los escenarios BAU, CEET y MEET.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Los requerimientos de energía eléctrica para alimentar los autobuses eléctricos que ingresan en los escenarios conservador y de máximo esfuerzo se grafican en la Figura 36. A partir del ingreso de autobuses eléctricos en 2025, el consumo crece siguiendo la curva logística de adopción de nuevas tecnologías que caracteriza al parque de autobuses hasta estabilizarse en las metas establecidas para cada escenario. Así, el requerimiento de electricidad a 2050 para alimentar autobuses eléctricos a nivel nacional en el escenario conservador alcanza-

ría 935 GWh anuales en 2050. Por su parte, la meta más ambiciosa de alcanzar un 85 % de autobuses eléctricos en 2050 representaría una demanda de 2.749 GWh (Figura 36), valor que representa un 10 % del total de energía eléctrica consumida en el año 2021 acorde al BEN. Por tanto, un esfuerzo máximo de transición en movilidad pública eléctrica requiere necesariamente de una amplia inversión en infraestructura de generación, transmisión y distribución de electricidad, adicionales al equipamiento de carga de los vehículos.

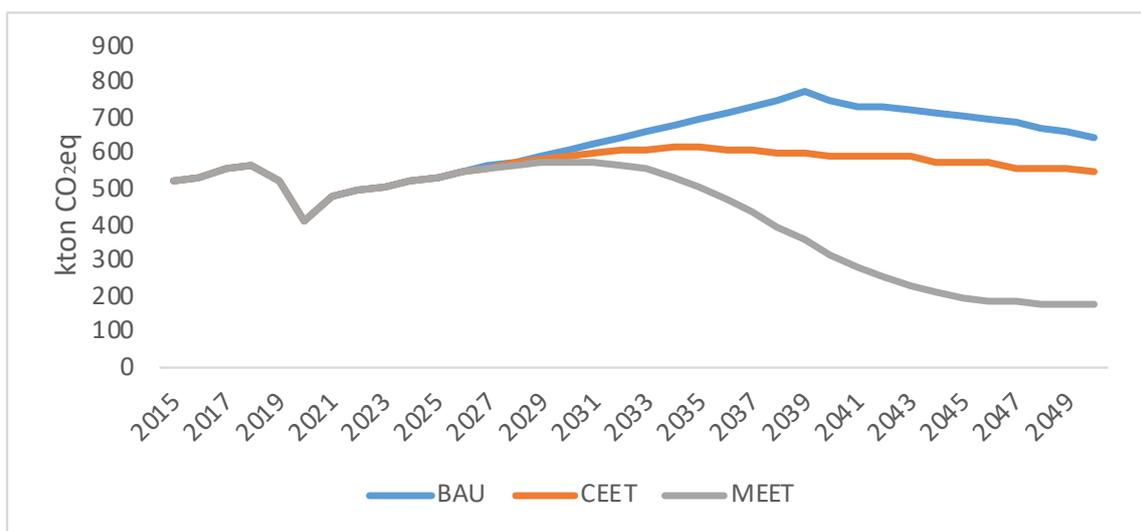


**Figura 36:** Consumo eléctrico del parque de autobuses a nivel nacional en los escenarios CEET y MEET.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura 37 se incluye la comparación de las emisiones de GEI del sector de autobuses para los escenarios tendencial, conservador y de máximo esfuerzo, en miles de kt de CO<sub>2</sub>eq (kilotoneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes). Las curvas de emisiones en los tres escenarios empiezan a separarse a partir del año 2029, cuando el ingreso de autobuses eléctricos en los escenarios conservador y de máximo esfuerzo comenzaría a tener efectos apreciables sobre los consumos energéticos del parque total.

La emisión acumulada de GEI entre 2015 y 2050 para el escenario tendencial, en total, rondaría los

22 418 kt de CO<sub>2</sub>eq, para el escenario conservador sería 20 215 kt de CO<sub>2</sub>eq y para el escenario de máximo esfuerzo de 15 297 kt de CO<sub>2</sub>eq. Este dato implica que un ingreso conservador de autobuses eléctricos representa una disminución proyectada de emisiones del 9,8 % con respecto a un parque sin autobuses eléctricos a 2050, mientras políticas de mayor alcance para la integración de electro-movilidad en el transporte de pasajeros podría reducir la emisión de gases en este sector en un 31,7 %. Estos ahorros ocurren a pesar de que el parque total es mayor en los escenarios conservadores y de máximo esfuerzo que en el escenario tendencial.



**Figura 37:** Comparación de emisiones de gases de efecto invernadero por autobuses a nivel nacional.  
**Fuente:** Elaboración propia.



## 5. Hoja de Ruta al 2030

A través de los escenarios de prospectiva energética se ha establecido una hoja de ruta que muestra el camino a seguir para la introducción de la electro-movilidad al sistema de transporte público de ciudades intermedias. Esto permite, a los tomadores de decisión, planificar acciones, en un período de tiempo determinado, para realizar una transición tecnológica hacia a la electro-movilidad. Dicha transición puede presentar varias incertidumbres si no se utiliza un proceso metodológico que permita evaluar la dinámica y complejidad existente e integrar los resultados con metas específicas.

Dentro del proyecto se analizan los componentes propios de las dinámicas de movilización de las ciudades de estudio, el impacto generado por la introducción de vehículos eléctricos al sistema de transporte público y se define un modelo que vincula variables sociales, económicas, regulatorias y tecnológicas, para establecer escenarios de prospectiva energética al 2030.

### 5.1. Componentes

La hoja de ruta tiene como pilares a seis componentes que abarcan diferentes perspectivas y que se interrelacionan, priorizando varios niveles en función del impacto que cada uno de ellos puede alcanzar. La importancia de acciones o iniciativas dentro de cada componente se define en función del valor obtenido para alcanzar las metas establecidas en los escenarios de prospectiva energética propuestos con horizonte al año 2030.

Para lograr una implementación efectiva de la electro-movilidad, esta debe ser inclusiva y complementaria a todos los componentes definidos para alcanzar los objetivos establecidos. En este sentido se proponen los siguientes componentes:

- Político – Reglamentario.
- Sociodemográfico.
- Infraestructura vial y sistema de transporte.
- Tecnología del sistema de transporte.
- Actores.
- Infraestructura y demanda de energía eléctrica.

Se definieron como componentes las áreas de acción, donde el estudio ha evidenciado que se requiere el desarrollo de iniciativas que aporten de manera consistente para la introducción de vehícu-

los eléctricos al sistema de transporte público de ciudades intermedias, minimizando las brechas y problemas que deben superarse para dar inicio a la propuesta planteada.

La valoración establecida de una acción o iniciativa se define en función de la influencia que presenta para lograr solventar las barreras existentes.

Con lo mencionado, la escala de priorización tiene tres niveles:

- **Muy Alto:** La iniciativa es un elemento habilitador y fundamental para dar paso a la ejecución de otras acciones en más de tres componentes, por lo cual su implementación debe ser considerada en una etapa a corto plazo.
- **Alto:** La iniciativa es un elemento que brinda impulso a otras acciones, en no más de dos componentes, por lo cual su implementación debe ser considerada en una etapa a mediano plazo.
- **Medio:** La iniciativa aporta a la electro-movilidad únicamente dentro de su componente y requiere elementos previos para su desarrollo, por lo cual su implementación debe ser considerada en una etapa a largo plazo.

### 5.2. Plazos de implementación

El plazo de implementación es factor crítico en estudios con la naturaleza del abordado, el periodo de tiempo estimado para el desarrollo de una iniciativa o acción debe establecerse considerando la dependencia de etapas anteriores, la complejidad de interacción entre los entes involucrados y el umbral máximo de tiempo para la obtención de resultados. Con esto se han definido tres intervalos, los cuales responden al umbral máximo de análisis del estudio, es decir, hacia el año 2030. Los intervalos establecidos son:

- **Corto Plazo:** Periodo temporal comprendido entre uno y cuatro años para su implementación.
- **Mediano Plazo:** Periodo temporal mayor a cuatro años y menor a 10 para su implementación
- **Largo Plazo:** Periodo temporal mayor a 10 años.

Los periodos definidos son recomendaciones en



función de los escenarios analizados.

### 5.3. Barreras e Iniciativas

En el contexto del objeto de la hoja de ruta para la introducción de autobuses eléctricos en el transporte público urbano en las ciudades de estudio, una barrera puede definirse como un obstáculo o desafío en alguno de los componentes evaluados que dificulte o impida la transición desde sistemas de propulsión basados en combustión interna hacia sistemas de propulsión eléctrica.

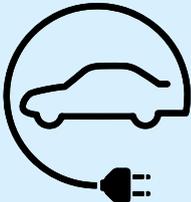
Para desarrollar una hoja de ruta efectiva para la

electro-movilidad, es importante identificar barreras para promover la adopción y el uso sostenible de los autobuses eléctricos en la ciudad. Esto podría incluir estrategias para mejorar la infraestructura de carga, incentivar la compra de autobuses eléctricos a través de programas de subvenciones y concientización y, fomentar la colaboración y el apoyo de los sectores público y privado.

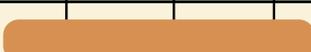
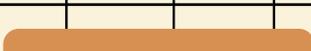
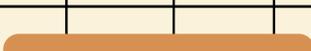
Es importante abordar estas barreras dentro de la hoja de ruta (Figura 38) para garantizar que el proceso de introducción de autobuses eléctricos en el sistema de transporte público sea implementado con éxito y se logren las metas definidas al 2030.



## Hoja de ruta al 2030 para la introducción de electromovilidad en el Ecuador

Componente	Barrera	Iniciativa
<b>Político - Reglamentario</b> 	Rotación de personal directivo y autoridades involucradas en la toma de decisiones clave	Procesos y procedimientos para asegurar el cumplimiento de proyectos orientados a movilidad sostenible
	Leyes y reglamentos actuales orientados a la electromovilidad en el transporte urbano con un bajo nivel de difusión y socialización	Plan de socialización y concienciación de reglamentos y leyes que soportan la electromovilidad
	Inversión inicial elevada para la adquisición de buses eléctricos	Desarrollar políticas públicas orientadas en generar inversión y financiamiento para la introducción de autobuses eléctricos en la ciudad
	El desinterés de los actores clave puede dificultar la introducción de la electromovilidad en Ecuador	Construcción de un plan de concientización que involucre a los actores clave y exponga los beneficios de la electromovilidad
<b>Sociodemográfico</b> 	Incremento en la demanda del transporte público sin considerar la sostenibilidad del sector	Plan de integración progresiva de autobuses eléctricos dentro del parque automotor que brinda el servicio de transporte público urbano
	Las rutas de transporte urbano no se encuentran establecidas formalmente	Plan para formalizar rutas de transporte público urbano y su infraestructura dentro del cantón
	La demanda de transporte público puede sobrepasar los escenarios evaluados	Evaluación a mediano y largo plazo de la demanda del transporte eléctrico en función del crecimiento poblacional
<b>Infraestructura Vial Sistema Transporte</b> 	Mínima interconexión en la red de transporte público	Estudio para reorganización de las rutas de transporte. Implementación de paradas intermodal en base al desarrollo demográfico
	Espacios limitados para albergar las facilidades requeridas por buses eléctricos	Desarrollar un estudio de viabilidad para el aprovechamiento de espacios
<b>Tecnología sistema de transporte</b> 	Repositorio de información técnica referente a requerimientos y especificaciones técnicas de autobuses eléctricos	Implementar un repositorio de acceso público que permita validar la información técnica a detalle de los autobuses eléctricos ofertados en el mercado local
	Rutas de transporte público actuales de la ciudad no son completamente idóneas para la aplicación de autobuses eléctricos	Estudio técnico para la evaluación de rutas actuales y caracterización de las rutas futuras
	Heterogeneidad a largo plazo respecto a las tecnologías de transporte empleadas dentro de la ciudad	Desarrollo o adopción de estándares para la gestión de transporte sostenible
	Obsolescencia por cambios disruptivos en evolución de tecnología aplicada para autobuses eléctricos	Integración de especialistas para asegurar la continuidad de la electromovilidad.
	Escasa oferta académica para formación de personal especializado en sistemas propulsión eléctrica	Alianzas para formación técnica de mano de obra local enfocada en mantener la flota de autobuses eléctricos
<b>Actores</b> 	Reducida cooperación interinstitucional	Crear una coordinación orientada a la gestión de proyectos de electromovilidad
	No existe un seguimiento proactivo de las propuestas establecidas en el plan de movilidad sostenible	Fortalecer la continuidad de las propuestas obtenidas por cooperación internacional
	No existe un seguimiento proactivo de los resultados obtenidos por cooperación internacional	Fortalecer la continuidad de resultados obtenidos por cooperación internacional
<b>Infraestructura Demanda Energética</b> 	Red eléctrica convencional no es la apropiada para gestionar la energía requerida para la introducción de autobuses eléctricos	Plan de robustecimiento de infraestructura eléctrica, que considere la demanda pronosticada por las facilidades requeridas para operar una flota de autobuses eléctricos
	Emplazamiento idóneo de estaciones de carga de autobuses eléctricos dentro de la ciudad	Estudio para el desarrollo de un método para la definición y establecimiento de estaciones de carga de autobuses eléctricos en la ciudad
	Mínima interconexión en la red de transporte público	Estudio para reorganización de las rutas de transporte e Implementación de paradas intermodal en base al desarrollo demográfico
	El modelo energético tradicional puede volverse obsoleto considerando la nueva demanda	Estudio para la implementación de modelos energéticos distribuidos

**Figura 38:** Hoja de Ruta 2030.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Meta	Prioridad	Entre 1 y 4 años	Entre 5 y 9 años	Más de 10 años
Meta IV	Muy Alta			
Meta IV	Muy Alta			
Meta I	Alta			
Meta IV	Muy Alta			
Meta I	Media			
Meta I	Alta			
Meta I	Media			
Meta IV	Muy Alta			
Meta III	Muy Alta			
Meta I	Media			
Meta I	Alta			
Meta I	Alta			
Meta I	Alta			
Meta IV	Media			
Meta IV	Muy Alta			
Meta IV	Alta			
Meta IV	Alta			
Meta II	Muy Alta			
Meta III	Muy Alta			
Meta IV	Muy Alta			
Meta II	Muy Alta			





## 6. Conclusiones

Mediante la ejecución y desarrollo del proyecto “Estudio de análisis y prospectiva de la electro-movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030”, se ha generado una línea base de la demanda energética actual, escenarios de la demanda futura para la electro-movilidad y una hoja de ruta para la incorporación de vehículos eléctricos al transporte público en Ecuador con proyecciones al año 2030.

Es fundamental mantener un balance adecuado entre factores sociales, ambientales y económicos para determinar el tipo de tecnología más apropiada para el país. El sector transporte debe ser analizado desde una perspectiva social e identificar los beneficios para la población, como por ejemplo, reducir la necesidad de viajes, etiquetado vehicular y promover un cambio a movilidad más limpia.

Ecuador presenta condiciones favorables para la generación de energía con una matriz limpia en términos de emisiones utilizando fuentes de energías renovables (hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa), esto ofrece una oportunidad para la reducción de GEI al implementar movilidad eléctrica. Sin embargo, es necesario una regulación de la eficiencia energética vehicular, desarrollo de modelos energéticos para la distribución eléctrica (autogeneración, autoconsumo), eliminación de subsidios a los combustibles apalancado con herramientas de financiamiento para mejorar competitividad de los vehículos eléctricos frente a los vehículos de combustión interna y, con ello, cerrar la brecha de costos entre ambas tecnologías.

El debate sobre los vehículos eléctricos no se debe centrar solamente en el recambio tecnológico como único eje. Es decir, que la implementación de tecnología de vehículos eléctricos en transporte público no puede ser el cambio de unidad por unidad, si no que requiere ir atado a debates profundos sobre cobertura de transporte público, accesibilidad, pobreza del transporte, seguridad, salud, desarrollo urbano y calidad del aire. Por lo tanto, la implementación de sistemas eléctricos en el transporte público requiere análisis integrales con nuevas narrativas y buenas prácticas de gestión del transporte público.

La movilidad eléctrica es una gran oportunidad para el transporte público en Ecuador, posee potencial

para ser la punta de lanza de la movilidad eléctrica ya que existen leyes para su introducción, siendo necesario el desarrollo de redes de recarga que es aún deficiente. La tecnología está disponible, existen múltiples oportunidades de desarrollo e innovación asociadas.

Utilizando herramientas de prospectiva energética y sistemas dinámicos se desarrollaron tres escenarios para la introducción de movilidad eléctrica al sistema de transporte público. Un escenario tendencial que sirve como línea base para la comparación con alternativas de transición energética y que se caracteriza por estar basado en intensidades energéticas derivadas de tendencias históricas. Un escenario conservador que presenta medidas orientadas hacia un esfuerzo de transición energética; una de las principales características de este escenario es el reemplazo de tecnologías alimentadas por combustibles fósiles con otras que son impulsadas por energía eléctrica; y, un escenario de máximo esfuerzo con metas de eficiencia energética y reemplazo tecnológico más ambiciosas que en el escenario conservador.

Una hoja de ruta muestra el camino a seguir a través de acciones e iniciativas que permiten una adecuada transición a la movilidad eléctrica generando las condiciones óptimas para la masificación de esta tecnología tanto en el ámbito público como privado.

La política de movilidad eléctrica debe plantear la generación de condiciones necesarias para la introducción del vehículo 100 % eléctrico en el parque vehicular ecuatoriano, sustituyendo de modo progresivo al vehículo de combustión interna para proveer un escenario seguro para el desarrollo de nuevas industrias con participación de socios estratégicos. El principal objetivo de la movilidad eléctrica es la sostenibilidad y modernización del sector transporte. Es necesaria la voluntad política, liderazgo en la gestión del transporte, coordinación, diálogo y articulación entre el sector público y el sector privado para implementar iniciativas de movilidad eléctrica en Ecuador; además, la vinculación con la academia para impulsar la generación de conocimiento, innovación y formación técnica.

## 7. Trabajos citados

- [1] Banco Mundial, «Desarrollo Urbano,» 06 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>. [Último acceso: 25 Mayo 2023].
- [2] Banco Mundial, «Transporte,» 29 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview#1>. [Último acceso: 05 05 2025].
- [3] OECD, «Decarbonising Urban Mobility with Land Use and Transport Policies: The Case of Auckland,» OECD, París, 2022.
- [4] Banco Interamericano de Desarrollo, «Electromovilidad: la promesa de descarbonización del transporte para América Latina y el Caribe.,» 28 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://blogs.iadb.org/transporte/es/electromovilidad-la-promesa-de-descarbonizacion-del-transporte-para-america-latina-y-el-caribe%EF%BF%BC/>. [Último acceso: 10 05 2023].
- [5] A. B. B. A. J. M. Ardila-Gomez, «DECARBONIZING CITIES BY IMPROVING PUBLIC TRANSPORT AND MANAGING LAND USE AND TRAFFIC,» World Bank Group, Washintong DC, 2021.
- [6] Naciones Unidas, «Acuerdo de París,» Naciones Unidas, París, 2015.
- [7] INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY, «From Santiago to Shenzhen HOW ELECTRIC BUSES ARE MOVING CITIES,» ITDP, New York, 2020.
- [8] Banco Interamericano de Desarrollo, «Hechos estilizados de transporte urbano en América Latina y el Caribe,» IADB, 2019.
- [9] M. Brander, «Electricity-specific emission factors for grid electricity,» Econometrica, Reino Unido, 2011.
- [10] Pérez Daniel, Gutiérrez Maria Clara, Mix Vidal Richard, «ELECTROMOVILIDAD PANORAMA ACTUAL EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE Versión Infográfica,» Abril 2019. [En línea]. Available: [https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Electromovilidad\\_panorama\\_actual\\_en\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe.\\_Versi%C3%B3n\\_infogr%C3%A1fica\\_es\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Electromovilidad_panorama_actual_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe._Versi%C3%B3n_infogr%C3%A1fica_es_es.pdf). [Último acceso: Mayo 2023].
- [11] E-BUS RADAR, «Buses eléctrico en América Latina,» Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.ebusradar.org/es/>. [Último acceso: 01 Mayo 2023].
- [12] Fondo de Población de las Naciones Unidas, «El potencial y los desafíos de Ecuador,» Fondo de Población de las Naciones Unidas. [En línea]. [Último acceso: 10 Mayo 2023].
- [13] INEC, «Anuario de Estadísticas de Transporte 2021,» Septiembre 2022. [En línea]. Available: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA\\_2021/2021\\_ESTRA\\_PPT.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA_2021/2021_ESTRA_PPT.pdf). [Último acceso: Mayo 2023].
- [14] INRIX, «Global Traffic Scorecard,» [En línea]. Available: <https://inrix.com/scorecard/>. [Último acceso: 10 Mayo 2023].
- [15] Ministerio de Energía y Minas, «Balance Energético Nacional,» MEM, Quito, 2021.
- [16] Asamblea Nacional del Ecuador, «Ley Orgánica de Eficiencia Energética,» Registro Oficial, Quito, 2019.
- [17] Republica del Ecuador, «PRIMERA CONTRIBUCIÓN DETERMINADA A NIVEL NACIONAL PARA EL ACUERDO DE PARÍS BAJO LA CONVENCIÓN MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO,» Quito, 2019.
- [18] J. P. A. L. J. O. P. R. A. R. Benoit Lefevre, «Los buses eléctricos en Guayaquil muestran el potencial de la implementación local de las NDCs para apoyar la recuperación sostenible,» Banco Interamericano de Desarrollo, 16 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/los-buses-electricos-en-gua>



- yaquil-muestran-el-potencial-de-la-implementacion-local-de-las-ndcs-para-apoyar-la-recuperacion-sostenible/. [Último acceso: 02 Mayo 2023].
- [19] VARUS, «Nuestros buses eléctricos operan más de 2 años sin problema,» [En línea]. Available: <https://varusecuador.com/nuestros-buses-electricos-operan-mas-de-2-anos-sin-problema/>. [Último acceso: 10 Mayo 2023].
- [20] Primicias, «Metro de Quito: 10 cosas que debe saber sobre su funcionamiento,» Primicias, 01 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/metro-quito-precio-paradas-estacionamientos/>. [Último acceso: 10 Mayo 2023].
- [21] Primicias, «Cuenca necesita una fórmula para reducir las pérdidas del tranvía,» Primicias, 03 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/cuenca-perdidas-tranvia/>. [Último acceso: 10 Mayo 2023].
- [22] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, «Galápagos cuenta con el primer bus 100% eléctrico,» Ministerio de Transporte y Obras Públicas, [En línea]. Available: <https://www.obras-publicas.gob.ec/galapagos-cuenta-con-el-primero-bus-100-electrico/>. [Último acceso: 05 Mayo 2023].
- [23] Varus, «El Grupo Entregas reemplazará toda su flota con vehículos eléctricos,» Varus, [En línea]. Available: <https://varusecuador.com/grupo-entregas-reemplazara-toda-su-flota-con-vehiculos-electricos/>. [Último acceso: 10 Mayo 2023].
- [24] Varus, «El 90% de nuestra flota será eléctrica,» Varus, [En línea]. Available: <https://varusecuador.com/el-90-de-nuestra-flota-sera-electrica/>. [Último acceso: 10 Mayo 2023].
- [25] INER, Estudio de optimización energética de cadenas lógicas de transporte de carga pesada en el Ecuador. Quito -Ecuador, Quito, 2017.
- [26] United Cities and Local Governments, «Documento Marco de CGLU para Ciudades Intermedias,» Universidad de Lleida, 2016.
- [27] UCLG, «Cuarto Informe Mundial sobre la Decentralización y la Democracia Local,» UCLG, Barcelona, 2016.
- [28] L. M Bellet, «Ciudades intermedias y urbanización mundial,» Ciudades intermedias. Urbanización y sostenibilidad, Actas de la VII Semana de Estudios Urbanos en Lleida, vol. 4, 2000.
- [29] B. M. I. R. V. F. B. JOSEP MARIA LLOP, «Las ciudades intermedias: concepto y dimensiones,» Ciudades, vol. 22, pp. 23-43, 2019.
- [30] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Base de Datos-Censo de Población y Vivienda 2010,» INEC, 2010. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>. [Último acceso: 20 05 2023].
- [31] SENPLADES, «Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021,» 2017.
- [32] A. E. Lattes, Población urbana y urbanización en América Latina, Quito: FLACSO, 2001.
- [33] IMG, [En línea]. Available: <https://www.geoportalmgm.gob.ec/geoinformacion/index-alt7.html>. [Último acceso: 20 05 2023].
- [34] Municipio Cayambe, «GADIP CAYAMBE,» [En línea]. Available: <https://municipiocayambe.gob.ec/>. [Último acceso: 10 05 2023].
- [35] A. Lozano y J. Holguín-Veras, Estudios Iberoamericanos en Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística, 2020.
- [36] G. López y S. Galarza, Movilidad eléctrica, oportunidades para latinoamérica, 2017.
- [37] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE, Anuario 2022, 2022.
- [38] CANFAC Camara Nacional de Fabricantes de Carrocerías, Carroceros de Tungurahua preocupados por la llegada de buses eléctricos, 2019.
- [39] F. G. Alvarado Arias, Los trolebuses y la electro-movilidad en la Ciudad de México: ¿evolución o involución?, 2020.
- [40] Portal movilidad, «Fabricantes reclaman a tecnólogos y Gobiernos estandarizar los cargadores de buses eléctricos - Portal Movilidad: Noticias sobre vehículos eléctricos,» Portal movilidad, 2020. [En línea]. Available: <https://portalmovilidad.com/fabricantes-reclaman-a-tecnologos-y-gobiernos-estandarizar-los-cargadores-de-buses-electricos/>.
- [41] ETRAMBUS, «Autobuses eléctricos: Características y modelos,» 2020. [En línea]. Available: ht-

- tps://etrambus.es/autobuses-electricos/.
- [42] Bloomberg Finance L.P, Electric Buses in Cities : Driving Towards Cleaner Air and Lower CO 2 Electric Buses in Cities., 2018.
- [43] Das, H. S., Rahman, M. M., Li, S. y Tan, C. W., «Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020.
- [44] N. Schill, «GEOTAB,» Una guía simple para la carga de vehículos eléctricos, 2 09 2020. [En línea]. Available: <https://www.geotab.com/es/blog/guia-simple-para-la-carga-de-vehiculos-electricos/>.
- [45] Ministerio de Energía - Gobierno de Chile, «Plataforma de Electromovilidad, Cargadores para buses eléctricos,» 2020. [En línea]. Available: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/>.
- [46] Electromovilidad - Movilidad Eléctrica. Transporte Sostenible, «electromovilidad.net,» 2021. [En línea]. Available: <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>.
- [47] C. Seguí Peidro, Todo sobre baterías y almacenamiento de energía, 2018.
- [48] VARUS, Tipo de Baterías que usa un Vehículo Eléctrico, 2021.
- [49] VARUS, Catálogo de vehículos eléctricos de carga y transporte público en Ecuador, 2022.
- [50] Kelleher Environmental, «Research study on reuse and recycling of batteries employed in electric vehicles: The Technical, Environmental, Economic, Energy and Cost Implications of Reusing and Recycling EV Batteries,» p. 206, 2019.
- [51] J. C. Muñoz, L. Guzmán, E. Vasconcellos, J. Arellana, I. Tiznado-Aitken y G. Vecchio, «Transporte y equidad: abordando la accesibilidad en los márgenes urbanos,» 2021.
- [52] V. Bernal, V. Montoya Robledo y L. Montes, «Transporte público y bienestar social con perspectiva de género en tiempos del COVID-19,» Banco Interamericano de Desarrollo - Moviliblog, 2020.
- [53] C. Mojica y B. Lefevre, «Los autobuses eléctricos pueden transformar el transporte público de América Latina,» Banco Interamericano de Desarrollo - Moviliblog, 2018.
- [54] V. R. I. A. R. & R. J. Arias, «Distributed generation: Regulatory and commercial aspects. 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, TDC'06, 1-4,» 2006. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1109/TDCLA.2006.311379>.
- [55] C. B. N. P. C. M. G. M. M. L. & R. Navntoft, «Introducción a la generación distribuida de energías renovables. In Pearson Educacion.,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/introduccion-a-la-gene>.
- [56] C. B. N. P. C. M. G. M. M. L. & R. D. Navntoft, «Introducción a la generación distribuida de energías renovables. In Pearson Educacion.,» (2019). [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/introduccion-a-la-gene>.
- [57] D. TREBOLLE, La generación distribuida en España, 2006.
- [58] B. & D. P. K. Singh, Distributed power generation planning for distribution, 2022.
- [59] Z. Z. C. L. M. Ban, «Optimal scheduling fo electric vehicle battery swapping-charging system based on nanogrids,» *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 130, 2021.
- [60] J. F. J. M.-H. L. J. M. M. M. Vicente Sebastian Espinoza, «Analysis of energy future pathways for Ecuador facing the prospects of oil availability using a system dynamics model. Is degrowth inevitable?,» *Energy*, 2022.







## 8. Índice abreviaturas

**AC:** Corriente alterna.

**AEADE:** Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.

**ALC:** América Latina y el Caribe.

**ANT:** Agencia Nacional de Tránsito.

**BAU:** Business As Usual.

**BEN:** Balance Energético Nacional.

**BEP:** Barriles Equivalente de Petróleo.

**BMZ:** Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (Alemania).

**CEET:** Esfuerzo Conservador de Transición Energética.

**CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

**CGLU:** Ciudades y Gobiernos Locales Unidos.

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono.

**DC:** Corriente Directa.

**EEASA:** Empresa Eléctrica de Ambato Sociedad Anónima.

**ENEE:** Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador.

**ESMAP:** Atlas Solar Mundial.

**GAD:** Gobierno Autónomo Descentralizado.

**GD:** Generación Distribuida.

**GEI:** Gases de Efecto Invernadero.

**GIZ:** Sociedad Alemana de Cooperación Internacional.

**ha:** Hectáreas.

**IEE:** Instituto de Estudios Ecuatorianos.

**IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

**IIGE:** Instituto de Investigación Geológico y Energético.

**INEC:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

**INER:** Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.

**kBEP:** Kilo Barriles Equivalente de Petróleo.

**kT:** Kilo Toneladas.

**LFP:** Litio Hierro Fosfato.

**LOEE:** Ley Orgánica de Eficiencia Energética.

**m.s.n.m:** Metros Sobre el Nivel del Mar.

**MCI:** Motor de Combustión Interna.

**MEET:** Máximo Esfuerzo de Transición Energética.

**MIDUVI:** Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

**NFPA:** Asociación Nacional de Protección contra Incendios.

**NDC:** Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional.

**ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**PERC:** Emisor Pasivo Célula Reflectante.

**PID:** Degradación Potencial Inducida.

**PIB:** Producto Interno Bruto.

**PLANEE:** Plan Nacional de Eficiencia Energética.

**PNV:** Plan Nacional del Buen Vivir.

**PMS:** Plan de Movilidad Sostenible.

**SEP:** Sistema Eléctrico de Potencia.

**SENPLADES:** Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

**UL:** Underwriters Laboratories.

**VA:** Voltio Amperio.

**VAB:** Valor Agregado Bruto.

**VE:** Vehículos Eléctricos.

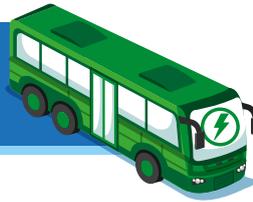








Estudio de análisis y prospectiva  
de la electro-movilidad en Ecuador  
y el mix energético al 2030



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementada por

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Instituto de Investigación Geológico y Energético



República  
del Ecuador

**Gobierno  
del Ecuador**

**GUILLERMO LASSO  
PRESIDENTE**



ISBN: 978-9942-8905-5-9



9 789942 890559



@IIGEEcuador



@ige\_ecuador



@IIGE\_Ec

Instituto de Investigación Geológico y Energético



República  
del Ecuador

  
**Gobierno  
del Ecuador**

**GUILLERMO LASSO  
PRESIDENTE**