

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Comparación del uso de buses con motor eléctrico, motor diésel y motor híbrido para el transporte público

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA:

Carla Fernanda Ponce de León EcheGARAY

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, noviembre del 2020

RESUMEN

El transporte público es una necesidad fundamental para cualquier sociedad a nivel mundial. Es parte esencial de las ciudades por lo que su adecuada aplicación es clave para fomentar el desarrollo integral de una sociedad. Por lo tanto, una ciudad debería de proporcionar las condiciones necesarias para que sus ciudadanos puedan movilizarse de manera óptima y eficaz. No obstante, el crecimiento poblacional ha ocasionado que la frecuencia e intensidad de los desplazamientos urbanos crezca exponencialmente y por ende sus efectos sobre su entorno. El presente trabajo se produjo en respuesta a la necesidad de buscar nuevas fuentes alternativas capaces de suplir las necesidades de movilidad de la población, pero reduciendo su grado de contaminación.

Esta tesis tiene como objetivo comparar el uso de buses con motor eléctrico con buses de motor diésel y de motor híbrido para el transporte público; como una alternativa de transporte con energía renovable. Se utilizó una metodología de tipo documental que permite formar una base teórica para el desarrollo conceptual y/o metodológico de la investigación. Esto permitió realizar una comparación entre realidades y/o variables las cuales, en el caso del presente trabajo, vendrían a ser los modelos de vehículos de estudio.

La revisión de la literatura contempló los aspectos más importantes referentes a la implementación y uso de los buses que se utilizan en el transporte público: buses con motor diésel, buses eléctricos y buses híbridos. Con la información recopilada se buscó conocer la situación actual de las tecnologías que constituyen los componentes principales de los sistemas de transporte público eléctrico, de motor diésel e híbrido. Posteriormente, se determinó y comparó bajo los enfoques económico, social y ambiental a los sistemas de transporte público de estudio; determinando de este modo sus principales ventajas y desventajas. Adicionalmente, este trabajo contempló una breve revisión de la literatura sobre la implementación de vehículos eléctricos en otros países, la normativa internacional y el estado del arte del transporte público eléctrico en el Perú.

Finalmente, tras realizar la comparación de los buses con motor eléctrico, diésel e híbrido bajo los enfoques previamente mencionados, se determinó que el uso de buses eléctricos es la alternativa más aceptable desde el punto de vista económico, social y ambiental debido a las buenas proyecciones a futuro que presenta. No obstante, también se evaluó que para que el sistema de transporte público con buses de motor eléctrico sea implementado adecuadamente, esta elección debe de estar acompañada de mejores políticas orientadas a una buena movilidad.

A Dios

Por haberme permitido en su infinita bondad y amor llegar hasta este punto y haberme dado salud, fuerza y voluntad para lograr mis objetivos

A mis padres Fernando y Gladis.

Por sus enseñanzas, por su ejemplo de perseverancia, constancia y por su amor y apoyo incondicional en todos mis proyectos en cada etapa de mi vida.
Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

A mi hermano Fernando.

Por ser mi guía, mi mejor amigo y mi constante motivación para alcanzar mis sueños.

A mi asesor Félix Cabrera,

Por su constante aporte y apoyo, por brindarme su tiempo y sus muy valiosos consejos a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis. ¡Muchas gracias a todos ustedes!

ÍNDICE

RESUMEN	ii
ÍNDICE	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE ECUACIONES	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES	4
2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	5
2.1 ESTRATEGIA METODOLÓGICA	5
2.2. FUENTES DE INFORMACIÓN	5
2.3 ENFOQUES DE EVALUACIÓN	6
2.3.1 Enfoque económico	6
2.3.2 Enfoque social	7
2.3.3 Enfoque ambiental	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRANSPORTE PÚBLICO	8
3.1.1 Energía renovable	8
3.1.2 Movilidad y Transporte	11
3.1.2.1 Transporte público urbano	13
3.1.3 Transporte público en ciudades Latinoamericanas	16
3.1.3.1 Ejemplos de Implementación del sistema de transporte público	20
3.1.3.2 Normativa internacional	21
3.1.4 Transporte Público en Perú	22
3.1.4.1 Rol del estado en la provisión de transporte público	23
3.1.4.2 Transporte público en Lima Metropolitana	25
3.1.4.3 Primer bus eléctrico en Perú	26
3.2 VEHÍCULOS DE ESTUDIO	28
3.2.1 Vehículo de combustión interna	28
3.2.1.1 Bus con motor diésel	30
3.2.2 Vehículos eléctricos	31
3.2.2.1 Bus eléctrico	33
3.2.3 Vehículos híbridos	34
3.2.3.1 Bus híbrido	36
4. FACTORES DE EVALUACIÓN	38
4.1 ENFOQUE ECONÓMICO	39
4.1.1. Análisis DOFA	39
4.1.2. Estudio de prefactibilidad	40
4.1.2.1. Estudio de mercado	41
4.1.2.2. Estudio tecnológico, administrativo y de producción	46
4.1.2.3. Estudio financiero	50
4.2. ENFOQUE SOCIAL	56
4.3. ENFOQUE AMBIENTAL	59
4.3.1 Evaluación ambiental relacionada al uso de transporte público	59
4.3.1.1 Impactos ambientales relacionados al transporte	60

4.3.1.2 Normativa relacionada con la contaminación vehicular	68
4.3.1.3 Opciones de mitigación de contaminación vehicular	71
4.3.2 Transporte eléctrico	74
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1 CONCLUSIONES.....	84
5.1.1 Objetivo 1	84
5.1.2 Objetivo 2	87
5.2. RECOMENDACIONES	91
5.2.1 Objetivo 1	91
5.2.2 Objetivo 2	92
6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	93
7. ANEXOS	102



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Temperatura global y dióxido de carbono.....	1
Figura 2: Modelo Ford-T	2
Figura 3: Secuencia de obtención de información de tesis documental.....	5
Figura 4: Capacidad instalada de generación con tecnologías de RER (GW), 2015	10
Figura 5: Evolución de la potencia instalada de las centrales RER	10
Figura 6: Crecimiento anual del transporte en relación con el crecimiento económico	15
Figura 7: Reparto Modal de viajes Cotidianos.....	17
Figura 8: Bus Eléctrico Piloto en Chile	21
Figura 9: Distribución del transporte en Perú 2015-2019.....	23
Figura 10: ¿Cómo se moviliza para ir a su trabajo, oficina o centro de estudios?	25
Figura 11: Inauguración primer bus eléctrico del Perú.....	27
Figura 12: Descripción gráfica del funcionamiento de los motores de combustión interna	28
Figura 13: Gráfica de composición de los gases de escape para motores: izquierda motor Otto (gasolina), derecha motor diésel.....	30
Figura 14: Gráfica de Línea convencional de bus con diésel. Incluye cochera y abastecimiento de combustible.....	31
Figura 15: Gráfica de funcionamiento de vehículo eléctrico (EV).....	32
Figura 16: De arriba hacia abajo: Recarga del vehículo al inicio de los paraderos, recarga del vehículo en cada paradero y recarga del vehículo en el garaje.....	34
Figura 17: Gráfica de configuración de funcionamiento vehículos HEV.....	35
Figura 18: Gráfica de configuración de funcionamiento vehículos PHEV.....	35
Figura 19: Representación gráfica de motor de bus híbrido con configuración en serie	36
Figura 20: Representación gráfica de motor de bus híbrido con configuración en paralelo.....	37
Figura 21: Recarga eléctrica y de combustible para un bus híbrido en paralelo.....	37
Figura 22: Ventas mundiales de EV, incluyendo automóviles, buses y motocicletas	42
Figura 23: Ventas globales de vehículos BEV/PHEV+EREV periodo 2015-2018.....	42
Figura 24: Stock global proyectado de EV bajo políticas existentes y anunciadas	43
Figura 25: Distribución mundial de unidades de buses híbridos y/o eléctricos en el año 2010..	43
Figura 26: Proyección ventas mundiales de buses año 2012-2020.....	44
Figura 27: Modelo de Bus de la flota de San Isidro.....	46
Figura 28: Modelo de Bus que se importará para el programa piloto.....	46
Figura 29: Gráfico porcentual de costos administrativos para línea de buses en Guayaquil	47
Figura 30: Gráfico de costos totales por km recorrido para línea de buses eléctricos y de motor diésel en Guayaquil.....	48
Figura 31: Comparación de precios de venta de combustible y electricidad del año 2016	52
Figura 32: Comparación de diferencia de TCO para buses de motor de combustión (ICE) y buses eléctricos con batería para valores de 1.4\$/L y 0.9\$/L	55
Figura 33: Comparación de precios de venta de combustible y electricidad del año 2016	56
Figura 34: Calificación de los usuarios de los problemas que influyen en la calidad de vida de Lima.....	57
Figura 35: Calificación de los usuarios a diversos medios de transporte público.....	58
Figura 36: Calificación de los usuarios a los problemas ambientales más graves.....	58
Figura 37: Cambios en las emisiones de CO ₂ a nivel mundial y transporte, entre el año 2019-2020.....	62
Figura 38: Emisiones de CO ₂ relacionadas con el transporte.....	62
Figura 39: Aporte de CO ₂ según el medio de transporte en el Reino Unido en g de CO ₂ ep por Km.....	63
Figura 40: Emisiones de gases de efecto invernadero, transporte por carretera y total, Reino Unido 1990 a 2017	64

Figura 41: Distribución de las medidas de mitigación de acuerdo con los sectores de emisiones de GEI.....	72
Figura 42: Sectores de emisiones y sus componentes.....	73
Figura 43: Variación del potencial de reducción de emisiones de GEI de las medidas de mitigación de la iNDC a la NDC.....	73
Figura 44: Emisiones de CO ₂ por km	75
Figura 45: Emisiones totales de GEI consideradas para los diferentes escenarios de movilidad en la ciudad de Lima en el período 2015-2030 con base en diferentes niveles de penetración del transporte público y vehículos eléctricos (VE) en el sistema de transporte.....	76
Figura 46: Comparación de emisiones de bus híbrido y diésel de (12 y 18m) en gr de CO ₂ /km	78
Figura 47: Comparación de emisiones de bus eléctrico, híbrido de diésel y diésel de 12m en gr de fCO ₂ /km	78
Figura 48: Esquema del ACV de la primera vida de una batería del litio para un EV	80
Figura 49: Capacidad instalada en GW por sector para Perú.....	82



LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Criterios para la evaluación de un proyecto.....	6
Tabla 2: Estructura de energía primaria.....	9
Tabla 3: Clasificación por tipo de servicio del transporte urbano.....	13
Tabla 4: Normas del reglamento internacional para infraestructura de recarga.....	21
Tabla 5: Instituciones con jurisdicción en el ámbito del transporte público.....	24
Tabla 6: Elementos del análisis de matriz DOFA.....	39
Tabla 7: Proyección de Costos de viaje, compra y cliente para mercados mundiales.....	44
Tabla 8: Proyección de inversión para bus diésel, híbrido y eléctrico.....	45
Tabla 9: Características modelo de bus eléctrico para la ciudad de Guayaquil.....	47
Tabla 10: Gastos administrativos para funcionamiento de línea de bus en Guayaquil.....	47
Tabla 11: Cuadro comparativo de costos totales por km recorrido para sistema de transporte de buses de motor diésel y eléctricos en Guayaquil.....	48
Tabla 12: Características recorrido de prototipo bus eléctrico.....	49
Tabla 13: Tabla resumen de las características y costos del recorrido de prototipo bus eléctrico.....	50
Tabla 14: Comparación de precios de venta entre vehículos EV e ICEV sin impuestos ventas del año 2016.....	51
Tabla 15: Análisis comparativo de condiciones de vehículos eléctricos en Latinoamérica.....	52
Tabla 16: Tabla resumen de las características de sistema de buses en Bogotá.....	53
Tabla 17: Tabla resumen de las características de sistema de buses en Shenzhen.....	53
Tabla 18: Tabla resumen de las características de sistema de buses en Zhengzhou.....	54
Tabla 19: Emisiones de GEI provenientes del parque automotor 2000-2025.....	65
Tabla 20: Normativa peruana relacionada con la contaminación vehicular.....	69
Tabla 21: Límites de emisiones por contaminante en la Unión Europea en g/km.....	70
Tabla 22: Tabla comparativa de categorías establecidas por la Dirección General de Tráfico de España (DGT).....	70
Tabla 23: LMP para vehículos en circulación a nivel nacional para su aplicación inmediata....	71
Tabla 24: Rendimientos reportados de Buses Híbridos.....	77
Tabla 25: Características del EV genérico de estudio.....	80
Tabla 26: Modelaje de los impactos ambientales de una batería de litio de un EV.....	80
Tabla 27: Resultados de las características más resaltantes de la situación actual de los 3 modelos de estudio.....	86
Tabla 28: Resultados de las características más resaltantes de la situación actual de los 3 modelos de estudio.....	89
Tabla A1: Matriz DOFA bus con motor diésel.....	102
Tabla A2: Matriz DOFA bus con motor eléctrico.....	103
Tabla A3: Matriz DOFA bus con motor híbrido.....	104
Tabla A4: Características modelo prototipo de bus eléctrico.....	105
Tabla A5: Sistema de propulsión prototipo de bus eléctrico.....	105
Tabla A6: Características sistema de transmisión de prototipo bus eléctrico.....	105
Tabla A7: Características sistema de almacenamiento de energía de prototipo bus eléctrico.....	105
Tabla A8: Tabla comparativa de inversión y costo anualizado para bus diésel e híbrido-diésel en Bogotá.....	106
Tabla A9: Tabla comparativa de inversión y costo anualizado para bus diésel, híbrido-diésel e híbrido-diésel plug-in en Zhengzhou.....	106
Tabla A10: Tabla comparativa parámetros para bus diésel y bus eléctrico en Shenzhen y Zhengzhou.....	106
Tabla A11: Comparación del desempeño, disponibilidad de combustible y emisión de las diferentes tecnologías de transporte urbano (Adaptado de Civitas, 2020).....	107

Tabla A12: Rendimiento bus híbrido y convencional de 12m categoría Euro V en Bogotá	108
Tabla A13: Parámetros para terminar las Emisiones de GEI según IPCC e IEA	108
Tabla A14: Emisiones de GEI Bus de 12m Euro V en Bogotá en gCO ₂ /km.....	108
Tabla A15: Rendimiento Bus Híbrido y convencional en Zhengzhou (.....	108
Tabla A16: Parámetros para Determinar Emisiones de GEI	108
Tabla A17: Rendimiento Bus eléctrico y convencional de 12m en Zhengzhou	108
Tabla A18: Factor CM de Producción de Electricidad de algunos países	108
Tabla A19: Datos utilizados para modelar los impactos ambientales.....	109
Tabla A20: Proyecciones del sector eléctrico peruano	109
Tabla A21: Oportunidades financieras por Fondos de Cambio Climático	109



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	44
Ecuación 2.....	48
Ecuación 3.....	49
Ecuación 4.....	50
Ecuación 5.....	55
Ecuación 6.....	81



LISTA DE ABREVIATURAS

AATE	Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico
AC	Aire Acondicionado
AEE	Área Económica Europea
AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
BAU	<i>Business as Usual</i>
BBC	<i>British Broadcasting Corporation</i>
BNEF	<i>Bloomberg New Energy Finance</i>
BRT	Bus de Tránsito Rápido
BYD	<i>Building Your Dreams</i>
CAF	Corporación Andina de Fomento
CAGR	Tasa de Crecimiento Anual Compuesta
CH ₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COSAC	Corredor Segregado de Alta Capacidad
COP21	Conferencia sobre el Clima de París
COV	Compuesto Orgánicos Volátiles
CREAF	<i>Consorti Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals</i>
DGT	Dirección General de Tráfico
DOFA	Debilidades, Oportunidades, Fuerzas y Amenazas
ECA	Estándares nacionales de Calidad Ambiental del aire
EMAPE	Empresa Administradora de Peajes de Lima
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FCV	Vehículos de Celda de Combustible
GDP	<i>Gross Domestic Product</i>
GEI	Gas de Efecto Invernadero
GNC	Gas Natural Comprimido
GNL	Gas Natural Licuado

GTU	Gerencia de Transporte Urbano
HC	Hidrocarburos no quemados
H _n C _m	Hidrocarburos
HEV	Vehículos Híbridos Eléctricos
ITDP	<i>Institute for Transportation and Development</i>
ICCT	<i>International Council on Clean Transportation</i>
ICE	Motor de combustión
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IMP	Instituto Metropolitano de Planificación
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático
IVA	Impuesto sobre el Valor Agregado
ISC	Impuesto Selectivo al Consumo
JICA	<i>Japanese International Cooperation Agency</i>
KPP	Kilómetro Por Pasajero
LAC	Latinoamérica y Caribe
LCV	Lima Cómo Vamos
LMP	Límites Máximos Posibles
MCI	Motor de Combustión Interna
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAN	Ministerio del Ambiente
MML	Municipalidad Metropolitana de Lima
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
MTEP	Millón de toneladas de equivalente de petróleo
NAMA	<i>Nationally Appropriate Mitigation Actions</i>
NCV	Valor Calorífico Neto
NO _x	Óxido de nitrógeno
N ₂ O	Dióxido de nitrógeno
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
OMU	Observatorio de Movilidad Urbana
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSITRAN	Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público
O ₃	Ozono

PBI	Producto Bruto Interno
PHEV	Vehículos Híbridos Eléctricos Enchufables
PKM	Pasajero-kilómetro
PM	Partículas de materia
PNP	Policía Nacional del Perú
PPM	Partículas Por Millón
RER	Recursos de Energía Renovable
SAT	Superintendencia de Administración Tributaria
SECTRA	Secretaría de Planificación de Transporte (Santiago de Chile)
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SITP	Servicio Integrado De Transporte Público (Bogotá)
SO _x	Óxidos de Azufre
SO ₂	Dióxido de Azufre
STI	Sistemas de Transporte Inteligentes
SUTRAN	Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas. Carga y Mercancías
TCO	Costo total de propiedad
TDL	Pérdidas por transmisión y distribución
TRANSMET	Comité de Transporte Metropolitano de Lima
TTW	<i>Tank to Wheel</i>
UNECE	Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa
VE	Vehículos Eléctricos

1. INTRODUCCIÓN

Debido a sus elevados índices de consumo de combustibles fósiles, el sector transporte es uno de los principales contribuyentes al problema del cambio climático (*Chan, 2014*). Como consecuencia, la atmósfera recibe periódicamente elevados volúmenes de gases de efecto invernadero que aceleran el proceso de calentamiento global y generan problemas para la salud de sus habitantes (ver Figura 1). Este hecho, sumado con la futura escasez de petróleo que se avecina (*Rystad Energy, 2018*), hace que el uso de vehículos diésel se convierta en una opción cada vez menos viable. En la búsqueda de alternativas que nos permitan reducir los altos índices de contaminación sin perjudicar las necesidades de la sociedad, el transporte eléctrico presenta un gran potencial y una posible solución.

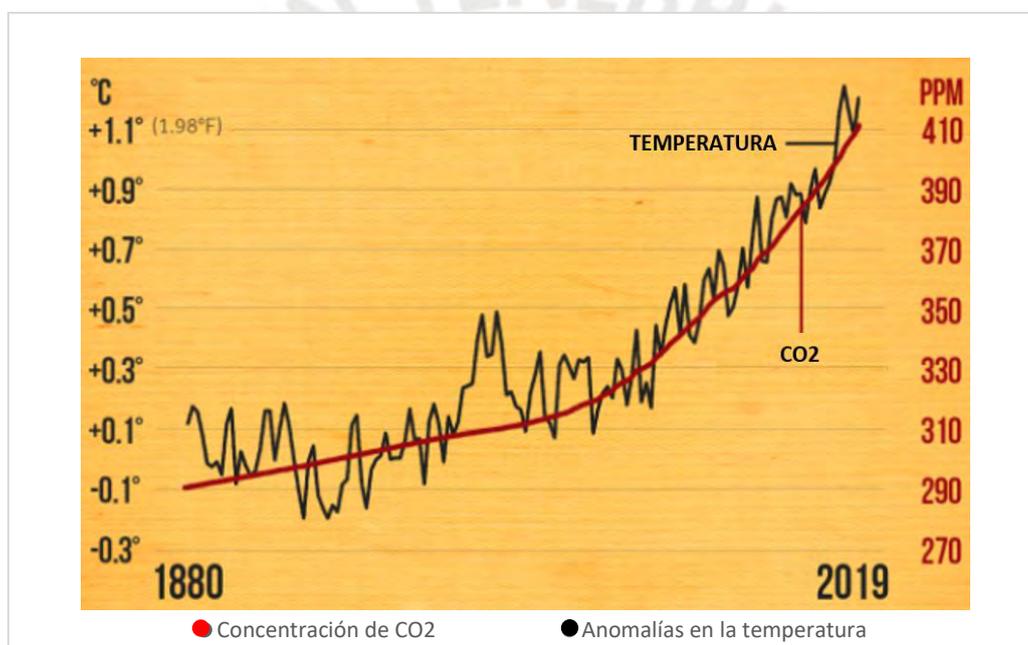


Figura 1: Temperatura global y dióxido de carbono (Adaptado de Climate Central, 2020)

Históricamente, el primer modelo de auto que se fabricó fue el automóvil eléctrico. Los primeros autos eléctricos experimentales surgieron a mediados del siglo XIX en Europa cuando Alessandro Volta y Michael Faraday desarrollaron los primeros conceptos del electromagnetismo (*Gómez, 2016*). Posteriormente en Inglaterra, alrededor de 1830, R. Davison construyó el primer modelo comercial eléctrico. Los usos principales de este modelo se utilizaron como taxis en ciudades como Londres, París y Nueva York; esta última llegó a tener unas 1500 unidades recorriendo la ciudad (*Uribe, 2011*). Sin embargo, como la electricidad era todavía una novedad poco difundida y gracias a la invención del motor de combustión interna, el uso de vehículos eléctricos se dejó de lado por muchos años.

En Estados Unidos, el señor Ford impulsó la fabricación masiva de vehículos diésel de bajo costo. Su modelo “Ford-T” llegó a desplazar a los vehículos eléctricos gracias a sus obvios beneficios en cuanto a costo de fabricación, velocidad y recorrido. Este hecho ocasionó que para fines de los años veinte, alrededor de veinte millones de vehículos fueran vendidos; mientras que los autos eléctricos habían desaparecido casi completamente del mercado. Desde entonces, el crecimiento de la producción de vehículos diésel no ha disminuido (*Gómez, 2016*).

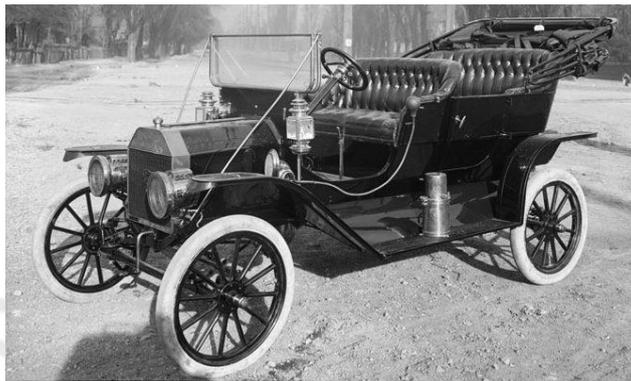


Figura 2: Modelo Ford-T (Davis, 2003)

Adicionalmente, numerosos estudios prueban que el crecimiento económico de las ciudades fue directamente responsable por el crecimiento del número de vehículos del sector transporte; llegando hasta la situación actual (*Izquierdo & Monnet, 2013*). No obstante, debido a la sobreexplotación de recursos y a los altos grados de contaminación, la solución parece radicar en volver a utilizar vehículos eléctricos.

Inicialmente, los vehículos eléctricos presentaban una solución a la dependencia del petróleo para el transporte; puesto que no todos los países poseían dicho recurso, contaban con reservas propias o no eran capaces de adquirirlo fácilmente. Se generaron muchas guerras a raíz de asegurarse el suministro y abastecimiento de esta materia, por lo que cualquier inestabilidad en las zonas productoras significaba la intervención directa de los interesados. Las guerras en la zona, provocadas por los intereses de Occidente en su mayoría, ocasionaron el genocidio de miles de personas, desastres ecológicos terribles y deportaciones en masa (*CREAF, 2018*). Como ejemplo podemos mencionar la invasión de Irak a Kuwait, un país con grandes reservas petroleras, con la eventual participación antagónica de Estados Unidos y sus aliados para retomar el control del recurso (*BBC, 2015*). Debido a los conflictos militares que este recurso generaba y sigue generando, es preferible optar por otras opciones menos complicadas de conseguir (*Sanz, 2015*).

Actualmente el renovado interés en esta tecnología se basa en tratar de reducir los niveles de contaminación atmosférica; por lo que casi todas las empresas de automóviles ya tienen su modelo eléctrico. De hecho, hay compañías como Volvo que están descontinuando varios modelos de producción de vehículos diésel, centrándose exclusivamente en vehículos con motores híbridos o totalmente eléctricos (*Volvo, 2017*). A partir de este contexto, el presente tema de tesis se enfocó en comparar el sistema de buses con motor eléctrico con los buses de motor diésel e híbrido a fin de identificar sus principales ventajas y desventajas para determinar cuál sistema representa la opción más viable.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo consiste en comparar el uso de buses con motor eléctrico, motor diésel y motor híbrido para el transporte público.

Adicionalmente, los objetivos específicos que se consideraron fueron los siguientes:

- Conocer la situación actual de las tecnologías de los principales componentes de los buses con motor eléctrico, diésel e híbrido para el transporte público.
- Determinar y comparar las principales ventajas y desventajas bajo los enfoques económico, social y ambiental de los buses con motor diésel, eléctrico e híbrido para el transporte público.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La importancia del uso de vehículos eléctricos para el transporte público radica en su potencial para disminuir los índices de generación de gases de efecto invernadero y su bajo riesgo para afectar la salud de las personas. Esta alternativa surge ante la necesidad de implementar medidas para contrarrestar los efectos contaminantes de las fuentes actuales y reemplazarlas por alternativas ambientalmente sostenibles.

La presente investigación se enfocó en estudiar el uso de vehículos con motor eléctrico para el transporte público. Además, se buscó realizar una comparación con los sistemas de buses con motor diésel y con motor híbrido para poder determinar si constituye una mejor alternativa para el transporte público con energía renovable. Para ello, se buscó determinar la factibilidad bajo los enfoques económico, social y ambiental para determinar las principales ventajas y desventajas de cada modelo. El presente estudio busca fomentar el desarrollo de este sistema

que tiene tan buenas proyecciones y que podría ser mejorado llegando a implementarse en países como el nuestro.

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Para la elaboración del presente trabajo, además de una revisión del estado del arte, se analizó el uso de buses de motor diésel, eléctrico e híbrido bajo esquemas de ámbito económico, social y ambiental con el fin de determinar las ventajas y desventajas de cada sistema.

No se abarcó el sistema de transporte público con gas natural, debido a que se busca realizar una comparación entre los nuevos modelos que están saliendo al mercado automotriz; los cuales están basados principalmente en un mecanismo eléctrico. Adicionalmente, se podría identificar si la iniciativa del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú de implementar una flota de buses eléctricos representaría una buena inversión a largo plazo. Se realizó la comparación entre los sistemas que más se asemejan al objeto de estudio, que son el de motor diésel y el eléctrico; y se consideró un punto intermedio de ambos que vendría a ser el sistema de transporte híbrido.

Debido a que el sistema es relativamente nuevo en nuestro país, se utilizaron los resultados obtenidos en otros países que cuentan con los datos suficientes para poder aplicar los tipos de análisis a cada sistema de estudio. En otras palabras, los resultados del modelo poseen un mayor impacto comparativo que cuantitativo.

2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La presente tesis es de carácter documental argumentativo puesto que se centra en la recopilación de datos existentes en forma documental de diferentes fuentes como libros, artículos científicos, informes etc. De esta manera, se obtuvieron los antecedentes necesarios para poder determinar las ventajas y desventajas de los sistemas de transporte público de buses con motor eléctrico, motor híbrido y motor diésel y realizar una comparación. Finalmente, se busca determinar los tipos de análisis que se pueden aplicar como método de comparación entre los sistemas de estudio.

2.1. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Este trabajo sigue la secuencia de obtención de información característica del modelo documental argumentativo (ver Figura 3). Este modelo permite formar una base teórica para el desarrollo conceptual y/o metodológico de una investigación (*Torres, 2018*). Una tesis documental permite realizar una comparación entre realidades y/o variables las cuales, en el caso del presente trabajo, vendrían a ser los buses con diferentes tipos de motor.

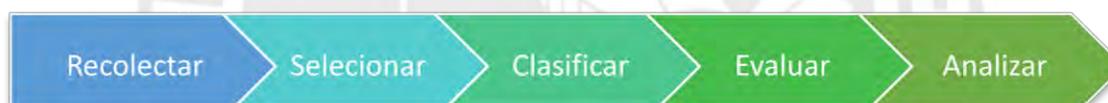


Figura 3: Secuencia de obtención de información de tesis documental (Adaptado de Torres, 2018)

Se utilizó el método analítico-sintético para realizar la revisión de la literatura y determinación del estado del arte de los sistemas de transporte público de estudio. De los documentos e información consultados, solo se utilizaron los datos pertenecientes a resultados con coherencia obtenidos por procedimientos lógicos y mentales. Posteriormente, se analizó el contenido recopilado para determinar las ventajas y desventajas de los sistemas de buses de motor eléctrico, motor diésel y motor híbrido. Finalmente, se utilizaron los resultados obtenidos para realizar la comparación entre los diferentes vehículos de estudio bajo los enfoques económico, social y ambiental.

2.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Dentro de la revisión de la literatura necesaria, las fuentes más consultadas fueron informes de instituciones públicas y/o privadas y la normativa legal de los últimos 10 años. Se utilizaron las publicaciones y datos de varias instituciones consideradas en el ámbito del transporte

público como: el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la asociación Lima Cómo Vamos, el Instituto Metropolitano Pro-transporte de Lima, el Ayuntamiento de Barcelona, entre otros. Por otro lado, debido a la escasez de normativa, únicamente se pudieron considerar leyes y normas legales referentes al transporte público eléctrico pertenecientes principalmente a países europeos y que se encuentran en vigencia.

Finalmente, se utilizó la información proporcionada por estudios aplicados en otros países como Ecuador, China, Colombia, etc. En los cuales los sistemas de transporte de objeto de estudio se encuentran funcionando por un periodo mayor a 5 años. Esta característica es necesaria para realizar una comparación entre modelos bajo condiciones similares.

2.3. ENFOQUES DE EVALUACIÓN

Dentro de los objetivos del presente trabajo se busca comparar los buses de transporte público con motor diésel, eléctrico e híbrido. Para analizar los vehículos de estudio, se utilizaron tres enfoques principales: enfoque económico, enfoque social y enfoque ambiental.

2.3.1. Enfoque económico

El enfoque económico se utiliza previo a la implementación de un proyecto para determinar las ventajas y desventajas que implicaría su inversión (*Sabalza, 2006*). Para elaborar el análisis económico se ponderan los costos y beneficios globales. La principal deficiencia de este enfoque es que solo nos permite analizar variables susceptibles de cuantificación.

Dentro de los criterios que considera para la evaluación de un proyecto/elemento se tienen: costes directos, indirectos, valorizados y de oportunidad (ver Tabla 1). Para este enfoque se identificaron las características de cada modelo mediante un análisis DOFA y se realizó un estudio de prefactibilidad determinando aspectos legales, factores que afectarían positiva o negativamente a cada uno, disponibilidad de recursos, posibilidades de adaptación a la región de estudio, mercado actual y proyecciones (ver Capítulo 4.1).

Tabla 1: Criterios para la evaluación de un proyecto (Adaptado de Sabalza, 2006)

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Costes directos	Gastos de inversión, personal, formación
Costes indirectos	Gastos de administración o de funcionamiento
Costes valorizados	Actividades o servicios sin contraprestación monetaria
Costes de oportunidad	Costo por seleccionar una alternativa sobre las demás

2.3.2. Enfoque social

La evaluación social de un proyecto identifica, mide y valoriza sus variables y costos mediante el enfoque del Bienestar Social (*Contreras, E 2004*). Bajo esta óptica, busca maximizar el bienestar colectivo utilizando los precios sociales, midiendo el aporte al ingreso nacional y analizando la relación costo/beneficio para la sociedad.

La evaluación social define también la situación del país, estado o zona de análisis con la ejecución de la inversión a realizar. De ese modo determina los costos y beneficios que deben de generarse para el bien comunitario, mejorar la calidad de vida de los usuarios y/o ante problemáticas complejas. Para el caso de comparación entre los tipos de buses, se utilizó como principal indicador el nivel de satisfacción de la población con respecto a la situación actual del transporte (ver Capítulo 4.2).

2.3.3. Enfoque ambiental

La evaluación del impacto ambiental (EIA) es un proceso de identificación, predicción y evaluación para reducir y/o mitigar impactos negativos ambientales, socioeconómicos y culturales de una actividad. Es decir, una EIA nos permite recopilar información para delimitar y/o cuantificar riesgos, impactos y medidas de mitigación del ciclo de vida de un proyecto (*IISD, 2019*). De esta forma, se considera toda consecuencia ambiental para el diseño y evaluación de un proyecto. Se utiliza para asegurar que los recursos invertidos darán al proyecto sostenibilidad a largo plazo. Los efectos que considera como criterios de evaluación de un proyecto se basan en los componentes bióticos, abióticos, bienes materiales y/o patrimonio cultural. Finalmente se evalúa el comportamiento entre los factores antes mencionados (*Murcia, 2018*).

La mayor parte de los estudios utilizados se basaron en la primera generación de buses híbridos; puesto que eran los únicos que tenían la suficiente información para realizar un análisis comparativo. También se determinaron las emisiones directas causadas por el vehículo “*tank to wheel*”, y se evaluó el desempeño ambiental de buses eléctricos o híbridos frente a las de motor diésel en ciudades que han utilizado este sistema por un período mínimo de 5 años.

3. MARCO TEÓRICO

El marco teórico involucró una revisión de conceptos directamente relacionados con el transporte público que ayudaron a tener un mejor entendimiento del tema a tratar. Se realizó una revisión de los modelos de transporte con por lo menos 5 años de antigüedad que se utilizan en ciudades europeas (Barcelona y Londres principalmente), asiáticas (Zhengzhou y Shenzhen) y de América Latina (Bogotá); y se realizó una comparación con el sistema de transporte actual de Lima.

Además, se revisó la normativa actual acerca del sistema de transporte eléctrico y de sus componentes. Posteriormente, se realizó la descripción de las características principales de los modelos de buses bajo estudio. Finalmente, según la información obtenida se determinó y analizó la viabilidad de los sistemas de transporte público bajo los enfoques ambiental, económico y social a modo de determinar el sistema óptimo para el transporte público.

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Previo al análisis de los modelos de buses con motor diésel, eléctrico e híbrido para el transporte público fue necesario definir algunos conceptos para un mejor entendimiento de la problemática a tratar. Para ello, fue necesario conocer y diferenciar los enfoques previos de transporte y tránsito con respecto a los desplazamientos efectuados en una ciudad.

3.1.1. Energía renovable y transporte

Los recursos renovables incluyen la energía solar, el viento, la caída de agua, el calor de la tierra (geotermia), los materiales vegetales (biomasa), las olas, las corrientes oceánicas, las diferencias de temperatura en los océanos y la energía de las mareas. Las tecnologías de energía renovable producen energía, calor o energía mecánica al convertir esos recursos en electricidad o en fuerza motriz, e incluyen la energía hidroeléctrica, la energía solar, los combustibles derivados de la biomasa, la energía eólica y la energía geotérmica (**Lund, 2014**).

A inicios del siglo XIX se utilizaba casi por completo fuentes renovables para producir energía (viento, agua, etc.). Lamentablemente, poco a poco se fue dependiendo menos de las mismas por la presencia de fuentes de energía más económicas pero contaminantes (**Fouquet, 2009**). No obstante, debido a la escasez de dichas fuentes y a los niveles altos de contaminación actual muchos países industrializados han optado por volver a invertir en mejoras para la proporción

de energías renovables. De esta manera, se espera disminuir la dependencia energética, creación de nuevas fuentes de empleo y desarrollo tecnológico (ver Tabla 2). Dentro de los principales rubros abarcados por la producción de energía renovable tenemos: generación de electricidad, generación de calor/refrigeración, transporte y generación de energía para áreas rurales o de difícil acceso (*André, 2016*).

Tabla 2: Estructura de energía primaria (Adaptado de Anuario Estadístico Energético REPSOL, 2019)

MUNDO (MILLONES TEP)	2015	2016	2017	2018	PESO EN 2018 (%)
Demanda de energía primaria por fuente	13.675,1	13.767,6	14.069,7	14.390,9	100.0
Petróleo	4.355,8	4.400,9	4.495,9	4.547,6	31,6
Gas	2.941,1	3.032,4	3.141,0	3.295,3	22,9
Carbón	3.848,1	3.729,7	3.757,6	3.798,5	26,4
Nuclear	669,8	679,1	686,3	701,4	4,9
Hidroeléctrica	334,7	348,4	351,0	362,4	2,5
Biomasa	1.311,4	1.342,8	1.369,7	1.385,3	9,6
Otras renovables	94,4	111,4	136,8	160,4	1,1
Balanza comercial de electricidad (Incluyendo calor)	119,3	122,9	131,4	140,1	1,0

A nivel mundial, se calcula que durante el año 2015 la energía renovable disponible tenía la capacidad de abastecer el 23.7% de la electricidad mundial. Sin embargo, durante ese año se desarrollaron 147 GW de capacidad de generación eléctrica basada en energía renovable convencional y no convencional, de los cuales la energía solar creció 25% (50 GW), mientras que la tecnología eólica añadió 63 GW (*Osinergmin, 2017*).

Según un reciente informe de estado global de las energías renovables, la proporción de energía renovable del consumo total de energía final a nivel mundial se ha estimado en un 18,1% en 2017. En términos de producción de energía, a partir del 2018, la energía renovable representó aproximadamente el 26,2% de la producción mundial de electricidad. La energía hidroeléctrica representó el 15,8%, mientras que la participación de la energía eólica fue del 5,5%, la energía solar fotovoltaica el 2,4%, la bioenergía el 2,2% y la geotermia, la energía solar concentrada y la energía marina representaron el 0,46% de la electricidad generada, por lo que, la participación total de energía renovable en la capacidad energética global alcanzó aproximadamente el 33% en 2018 (*REN21, 2019*).

En el caso de Perú, la matriz de generación eléctrica era considerada casi limpia. La evolución de la producción de electricidad en nuestro país se incrementó de 12,170 GWh (1997) a 50,817GWh (2018), representando una tasa de crecimiento anual de 7,04%. No obstante, a

partir del Decreto Legislativo N°1002 (2008), aparecieron las energías renovables no convencionales (Osinermin, 2019). A continuación se describe la capacidad instalada de generación con tecnologías de recursos de energía renovable (RER) para el año 2015:

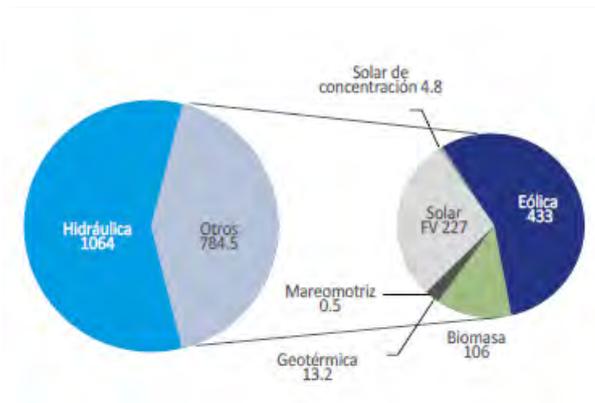


Figura 4: Capacidad instalada de generación con tecnologías de RER (GW), 2015 (Adaptado de Osinermin, 2017)

Según los resultados obtenidos, se observa que la tecnología hidráulica representa el 58% de la capacidad total de generación en base a fuentes renovables (ver Figura 4). En Perú, se tiene un considerable potencial para generar electricidad a partir de energías renovables: hidráulica en los Andes, eólica en la costa, solar térmica de alta temperatura en todo el territorio, solar fotovoltaica y solar térmica en la costa y sierra (Horn, 2010). En abril de 2016, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) señaló que el potencial eólico aprovechable del Perú era de 22 452 MW de los cuales solo se aprovechó 239 MW en centrales de generación eléctrica, es decir 1% del potencial total (Osinermin, 2017). Desde entonces, la potencia instalada de centrales RER se ha duplicado por el ingreso de 11 nuevas centrales (ver Figura 5). Así tenemos que, en comparación del 2017, la potencia de las centrales solares creció un 196,9% y las minihidráulicas en 58,8% (Osinermin, 2019).



Figura 5: Evolución de la potencia instalada de las centrales RER (Adaptado de Osinermin, 2019)

En América Latina, la eficiencia energética y las energías renovables ofrecen un gran potencial para reducir los efectos negativos de las crecientes tasas de consumo de energía asociadas con el crecimiento económico y el paso hacia modelos sociales más intensivos en energía (*Jannuzz, 2017*). En este contexto, se debe promover la implementación de tecnologías limpias a través del desarrollo de estímulos técnicos económicos que apalanquen el interés comercial de las energías renovables. Así mismo, el desarrollo de estudios que muestran los beneficios ambientales, económicos y sociales indica que en los últimos años a través de la implementación de las tecnologías de recursos energéticos renovables (RER) en base al inicio de operaciones de centrales eólicas y solares, se ha logrado reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), mitigando así los efectos del cambio climático, y mejorando los niveles de seguridad energética del país.

El cambio de combustible de uso final es un factor determinante para la descarbonización del sector transporte. Algunos ejemplos de biocombustibles son el biodiésel, el bioetanol de primera y segunda generación, el biohidrógeno, el biometano y el biodimetiléter (bio-DME) (*Srivastava, Shetti, Reddy, & Aminabhavi, 2020*). Otro ejemplo de descarbonización del sector que corresponde al despliegue de energía renovable son los vehículos eléctricos (*Michalski, Poltrum, & Bünger, 2019*).

Finalmente, a través de un método de evaluación del ciclo de vida estratégico desarrollado con nuevos principios de sostenibilidad, en comparación con otros buses, los buses eléctricos tienen impactos de sostenibilidad significativamente menores en especial si la electricidad para la propulsión proviene de fuentes renovables.

3.1.2. Movilidad y Transporte

La movilidad y el transporte son dos conceptos que a menudo se confunden como uno mismo debido a la gran similitud que parecen tener; aunque realmente tienen enfoques diferentes. Por ejemplo, en las ciudades la movilidad cotidiana depende mayormente del transporte tanto público como privado por las grandes distancias que sus habitantes recorren diariamente para poder realizar sus actividades (*Hernández, 2012*). Por lo tanto, para entender como estos dos conceptos trabajan entre sí, se requiere conocer y diferenciar los enfoques previos de movilidad y transporte bajo el ámbito de los desplazamientos efectuados en una ciudad.

Basándonos en el concepto estipulado por la Real Academia Española (2020), la movilidad se refiere a la capacidad de moverse o de recibir movimiento. Si extrapolamos este concepto al ámbito urbano, la movilidad se refiere a la capacidad de moverse dentro de una ciudad. Bajo este enfoque, la movilidad se convierte en una necesidad principal de las personas la cual debe ser satisfecha para no afectar su calidad de vida. En términos de Ascher (2005), “hoy la movilidad es una condición clave de acceso al mercado laboral, a una vivienda, a la educación, a la cultura y el ocio, a la familia”. Por lo tanto, podríamos decir que existe una relación causal entre la movilidad y el acceso a bienes y oportunidades que genera un impacto indirecto en la calidad de vida de las personas (Hernández, 2012).

El transporte se enfoca en el estudio de la circulación de vehículos motorizados y en los elementos requeridos para el desplazamiento de personas (Obra Social de Madrid, 2010). Es decir, se centra en la provisión y análisis de la infraestructura requerida para la circulación de vehículos motorizados (Swisscontact, 2012). Según las palabras de Black (1996) para que el transporte de una ciudad sea considerado como eficiente, “El transporte debe satisfacer las necesidades de transporte y movilidad actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer estas necesidades”. Por otro lado, si nos referimos a un transporte sostenible, según Lee Schipper (1996) “El transporte sostenible será aquel donde los beneficiarios paguen el costo social total, incluidos los que pagarían las futuras generaciones”.

El sistema de transporte se compone principalmente de tres elementos físicos: el vehículo, la infraestructura (derecho de vías, sistemas de control y suministro de energía) y la red de transporte (las rutas y líneas). Además, como podemos observar en la Tabla 3, dentro de sus muchas clasificaciones el transporte urbano se puede clasificar según el tipo de servicios que presta o por el volumen de viajes que maneja (Pastor, 2017). Dentro de la primera clasificación tendríamos el transporte privado (automóvil, bicicleta, peatón), el transporte de alquiler y el transporte público. Estas dos últimas modalidades son las que integran el transporte público urbano. La mayor parte de la población en cualquier país debe hacer uso del transporte de servicio público, lo cual lo constituye como un factor de primera magnitud.

Tabla 3: Clasificación por tipo de servicio del transporte urbano (Adaptado de Pastor, G. 2017)

CARACTERÍSTICAS	TIPO DE SERVICIO			
	Privado	De alquiler	Público	
Disponibilidad	Propietario	Público	Público	
Provisor	Usuario	Conductor	Transportista	
Definición del trayecto	Usuario (flexible)	Usuario-conductor	Fijo (Estado)	
Horario del servicio	Usuario (flexible)	Usuario-conductor	Fijo (Estado)	
Precio y costo	Usuario	Tarifa fija	Fijo	
Por volumen	Individual	Grupo		
	Automóvil	Taxi compartido	Respuesta a Demanda	
	Auto compartido	Remis	Colectivo	Minibús
	Bicicleta	Uber	Autobús escolar	Autobús
	Motocicleta		Autobús de alquiler	Trolebús
	Peatón			Tranvía
				Metro
				Tren ligero
				Tren regional
				Transporte especializado (funicular, teleférico)

Finalmente, en cuanto a la relación de la movilidad y transporte se puede concluir que afecta directamente a la población. Un transporte ineficiente y/o que no logre abastecer las necesidades de movilidad de la población generará un aumento progresivo del parque automotriz, del transporte informal, de los tiempos de recorrido, etc. **(Gómez y Zárate 2019)**. A escala mundial, la actividad de transporte de pasajeros está creciendo rápidamente y se espera que se duplique para 2050 **(Nesheli, Ceder, Ghavamirad, & Thacker, 2017)**. A nivel internacional, se ha prestado mayor atención al transporte ecológico a medida que los gobiernos se enfrentan a la aparición del cambio climático. Los impactos ambientales de los sistemas de transporte son considerables y representan entre el 20% y el 25% del consumo energético mundial al año **(Moriarty & Honnery, 2016)**. El uso de energía en el sector del transporte (es decir, gasolina, diésel o gas licuado de petróleo), ha hecho una contribución importante al deterioro de la calidad del aire urbano y es responsable de una cantidad significativa del efecto invernadero **(EPA, 2019)**.

3.1.2.1. Transporte público urbano

El transporte urbano consiste en una familia de modos, que van desde caminar y andar en bicicleta hasta autopistas urbanas, metro y sistemas ferroviarios regionales **(Vuchic, 2010)**. La clasificación básica de estos modos, basada en el tipo de operación y uso, se divide en tres categorías:

a) El transporte privado consiste en vehículos de propiedad privada operados por propietarios para su uso personal, generalmente en la vía pública. Los modos más comunes son peatón, bicicleta y automóvil privado.

b) El transporte de paratransito o de alquiler es el transporte proporcionado por los operadores y disponible para las partes que los contratan para viajes individuales o múltiples. Taxi, dial-a-bus son los modos más comunes.

c) El tránsito urbano, tránsito masivo o transporte público incluye sistemas que están disponibles para uso de todas las personas que pagan la tarifa establecida. Estos modos, que operan en rutas fijas y con horarios fijos, incluyen buses, trenes ligeros, metro, trenes regionales y varios otros sistemas.

El transporte público se refiere al conjunto de medios de transporte de uso generalizado requeridos para satisfacer la necesidad de los peatones de desplazarse de un punto a otro (*Izquierdo & Monnet, 2003*). Como el transporte es un derecho social que es necesario preservar y garantizar de manera igualitaria, el transporte público juega un rol importante a la hora de suplir esta necesidad (*Alegre, 2016*). Según Valladolid (*2005*), “todos los seres humanos sin excepción tienen derecho a que se establezcan las condiciones necesarias para que el espacio urbano e interurbano sea apto y equitativo para la movilidad interna de todos los habitantes de un territorio”.

La relación entre transporte y desarrollo económico es difícil de establecer formalmente y se ha debatido durante muchos años. En algunas circunstancias, las inversiones en transporte parecen ser un catalizador del crecimiento económico, mientras que en otras, el crecimiento económico ejerce presión sobre las infraestructuras de transporte existentes e incita a inversiones adicionales (*Achour & Belloumi, 2016*). Los mercados de transporte y las redes de infraestructura de transporte relacionadas son motores clave en la promoción de un desarrollo más equilibrado y sostenible, en particular mejorando la accesibilidad y las oportunidades de las regiones menos desarrolladas o grupos sociales desfavorecidos (*Youngson, 2013*). En la Figura 6, se observa los resultados obtenidos de la relación entre el PIB y los kilómetros consumidos por pasajeros en el área económica europea (AEE):

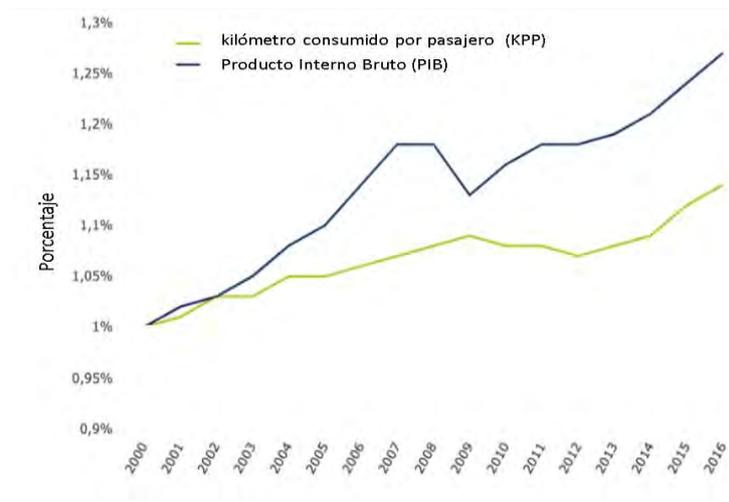


Figura 6: Crecimiento anual del transporte en relación con el crecimiento económico (Adaptado de Azaa & Escribano, 2019)

En este contexto, se observa que la importancia del sector transporte en la economía, en términos de productividad y crecimiento económico (PIB), se debe a la envergadura de sus dos componentes fundamentales: los servicios de transporte de mercancías y pasajeros y las infraestructuras (Azaa & Escribano, 2019).

Asimismo, el transporte también contribuye al desarrollo económico mediante la creación de empleo y sus actividades económicas derivadas. En consecuencia, muchos empleos directos (cargueros, administradores, expedidores) e indirectos (seguros, finanzas, embalaje, manipulación, agencias de viajes, operadores de tránsito) están asociados con el transporte (Cigu, Tatiana, Gavrilut, & Toade, 2019). Los productores y consumidores toman decisiones económicas sobre productos, mercados, costos, ubicación, precios, que a su vez se basan en los servicios de transporte, su disponibilidad, costos, capacidad y confiabilidad. Además, el transporte vincula los factores de producción en una compleja red de relaciones entre productores y consumidores, por lo que, el crecimiento económico está cada vez más vinculado con la evolución del transporte, es decir, las infraestructuras, pero también con la experiencia en gestión, que es crucial para la logística (Rodríguez, 2020).

Mientras tanto, la construcción excesiva de infraestructura podría ejercer una enorme presión sobre el entorno natural y ecológico a la hora de satisfacer la necesidad de desarrollo económico y mejora social (Muller, Biswas, Martin, & Tortajada, 2015). La infraestructura de transporte proporciona las condiciones fundamentales para las actividades económicas, mientras que algunos efectos secundarios se producen de forma concomitante (Laurance, y otros, 2014), como las emisiones de CO₂ generadas, la destrucción ecológica debido a la fragmentación del

hábitat biológico y el cambio de flujo de agua y disminución de la calidad del agua (*Wang, Xue, Zhao, & Wang, 2018*). Desde la perspectiva del medio ambiente, los efectos de la infraestructura de transporte son casi todos negativos, por lo que minimizar el impacto ambiental ha sido el principal tema de investigación.

En este contexto, los desarrollos tecnológicos, como los vehículos de bajo consumo de combustible y las fuentes de energía alternativas, proporcionan un medio para reducir los efectos ambientales asociados al transporte, aunque los esfuerzos actuales no logran contrarrestar los impactos de este crecimiento (*Rode & Burdett, 2013*). Las relaciones entre el transporte y el medio ambiente también se complican por dos observaciones:

- Nivel de contribución. Las actividades de transporte contribuyen, entre otras causas antropogénicas y naturales, directa, indirecta y acumulativamente a los problemas ambientales. En algunos casos, pueden ser un factor dominante, mientras que en otros, su papel es marginal y difícil de establecer (*Rodrigue, 2020*).
- Escala de impacto. Las actividades de transporte contribuyen a diferentes escalas geográficas a los problemas ambientales, que van desde los locales (ruido y emisiones de CO) hasta los globales (cambio climático), sin olvidar los problemas continentales / nacionales / regionales (smog y lluvia ácida) (*Rodrigue, 2020*).

Por tanto, es deseable ofrecer a los viajeros una alternativa viable y amigable con el ambiente, la cual sin duda, tiene que estar asociada al uso del transporte público urbano. Dado que es responsable de una fracción de las emisiones totales además del desarrollo económico de los países, el servicio de transporte tiene un gran potencial de mejora en cuanto al uso de sus recursos.

3.1.3. Transporte público en ciudades Latinoamericanas

Una de las consecuencias del proceso continuo de desarrollo a nivel global es el aumento de las áreas urbanas. Esta expansión implica una mayor demanda de diferentes infraestructuras de índole social, entre ellas las de transporte. Cuando esta necesidad es identificada y remediada a tiempo, se puede observar una mejoría en la infraestructura de transporte, lo cual permite un flujo continuo de movilización para las personas. No obstante, no en todas las ciudades se afronta de la misma forma esta problemática.

Para países no desarrollados el principal inconveniente radica en que no se proporciona un sistema competente que pueda suplir las necesidades de los usuarios, lo cual ocasiona que estos opten por vehículos privados. Esta preferencia obstaculiza el correcto funcionamiento del sistema público al dársele prioridad. De esta manera, al haber menos usuarios el sistema no puede sustentarse económicamente y se deteriora, empeorando aún más el problema original. La solución radicaría en darle prioridad al sistema público, principalmente a la infraestructura, a diferencia de lo que se hace en la actualidad.

Con el fin de analizar más a fondo esta problemática, el Observatorio de Movilidad Urbana (*OMU, 2016*) comparó variables de población, tarifas y oferta de infraestructura; para analizar la evolución histórica del transporte público en diferentes países (ver Figura 7).

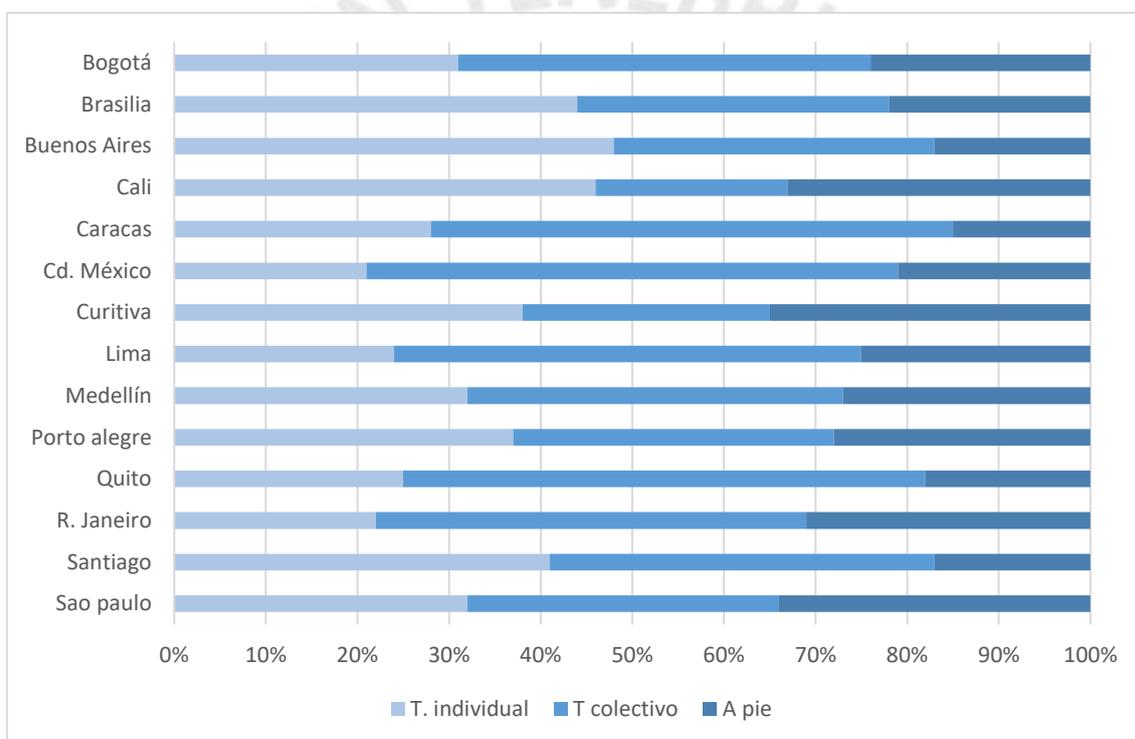


Figura 7: Reparto Modal de viajes Cotidianos (Adaptado de OMU, 2016)

Cabe mencionar que los resultados obtenidos por el OMU (2016) se refieren a grandes áreas metropolitanas, con sistemas de transporte de regular a baja calidad, con tarifas diferenciadas según el tipo de usuario y generalmente administradas por entidades gubernamentales. Adicionalmente, se sabe que el transporte colectivo está compuesto por taxis, buses, ferrocarriles y metros; cuya infraestructura aún no es suficiente para cubrir los requisitos de movilidad. Finalmente, debido a que la gestión de tránsito es muy limitada y deficiente en algunos casos, la infraestructura vial existente no puede ser reemplazada por elementos que inviertan la actual pirámide de movilidad.

Se analizaron las principales características de los sistemas de transporte público de algunas ciudades de Latinoamérica para tenerlas como marco de referencia, entre las cuales tenemos las siguientes:

- **Buenos Aires**

Dentro del área metropolitana de Buenos Aires, el transporte colectivo está compuesto por tranvías, metro, tren suburbano y autotransporte. En cuanto a porcentajes del global de desplazamientos, se tiene que el 53% Transporte Público Pasajeros, 27% a través de la movilidad Activa y 19% Transporte Motorizado Privado (*Dmuchowsky & Velazquez, 2019*). Los principales problemas del área metropolitana de Buenos Aires incluyen una deficiente gestión y planificación del transporte, congestión, efectos en las condiciones ambientales y altos índices de accidentes (*Banco Interamericano de Finanzas, 2015*).

En Argentina, desde mayo de 2017, existen incentivos a la importación de vehículos eléctricos, la cual está asociada a una política de implementación de fuentes renovables (solar y eólica). No obstante, con relación al transporte público, no existen proyectos sobre electromovilidad. En el año 2016 se realizó una procura para la adquisición de 50 buses eléctricos pero no se hizo efectivo por problemas con el proceso de compra, tampoco se dispone de un marco legal para la incorporación de esta tecnología (*CAF, 2019*).

- **Curitiba**

Actualmente es una de las ciudades líderes en cuanto a transporte se refiere. La distribución de viajes presenta la siguiente forma: el 37% por transporte individual (bicicleta, moto, auto y/o taxi), 35% a pie, y el 28% mediante transporte colectivo (OMU, 2011). Además, dentro del transporte colectivo casi la mitad de los desplazamientos son abarcados por el transporte público. En el país, se ha considerado en relación con el transporte público en los próximos 10 años, un crecimiento en el consumo de biodiésel y etanol en tecnología flex-fuel, considerando residual la opción del transporte eléctrico. Se han desarrollado e implantado varios proyectos relacionados con esta tecnología (bus eléctrico biarticulado con baterías y un bus eléctrico de la empresa china Building Your Dreams (BYD)), se concluyó que se obtuvieron beneficios desde la perspectiva ambiental pero no desde la económica (*CAF, 2019*).

- **Santiago**

Santiago es una de las ciudades en las cuales la movilidad se ha mejorado en los últimos años. El transporte público urbano en Chile abarca diferentes medios: buses y taxis colectivos, líneas de trenes subterráneos (el denominado Metro), trenes de cercanía y bicicleta. En cuanto a la partición modal, la Encuesta Origen Destino de Viajes 2012 de Santiago muestra que el 29,1% de los viajes diarios que se realizan en la Región Metropolitana, son en transporte público (Bip!, taxi colectivo, bus urbano no integrado, bus interurbano o rural, tren), muy similar al 28% de viajes que se realiza en transporte privado (auto, taxi básico y moto). Por otro lado, los viajes a pie y en bicicleta representan un 38,5% del total, siendo la caminata (viaje realizado enteramente a pie) el modo más usado (34,5%), seguido del automóvil (25,7%) y el modo bip! (25% al incluir combinaciones) (*SECTRA, 2015*). Además, Santiago sigue mejorando su sistema de transporte mediante inversiones de prioridad vial y de seguridad (semaforización) así como en la implementación de líneas de transporte público con vehículos eléctricos e híbridos.

En Chile, se han desarrollado varias propuestas relacionadas con la electromovilidad y la eficiencia energética y subsidios para transporte eléctrico. En la actualidad, se encuentra un proyecto en desarrollo que se sustenta en el uso de buses eléctricos y se plantea la renovación de la flota de Transantiago para 2025 (*CAF, 2019*). La Estrategia de Electromovilidad define como metas de desarrollo, que en el año 2050, el 40% de los vehículos particulares deben ser eléctricos, y la totalidad del transporte público urbano en un 100%, lo cual debe convertir a Chile en el líder regional (*Hartmann, 2018*). Asimismo, desde el año 2016, ya se encuentran operativos dos buses eléctricos, en el año 2019 se incorporaron 100 buses dentro de esta categoría y durante el año 2020 se incorporaron 150 nuevas unidades fabricadas por la empresa china BYD; por lo que en la actualidad se encuentran disponibles 455 buses (*World Energy Trade, 2020*).

- **Bogotá**

En base a los resultados de la encuesta Bogotá Como Vamos del año 2019, se obtuvo: el principal medio de transporte que utilizan los ciudadanos es el TransMilenio (37%), seguido del uso de vehículos particulares (14%), sistema integrado de transporte público (SITP) (13%), bicicleta (11%), Bus/Buseta/Micro Ejecutivo/Colectivo (7%), Moto (6%), a pie (6%), taxi

(3%) y plataformas digitales (2%). Obteniendo una mejora en la percepción de los ciudadanos con respecto a la prestación de los servicios del TransMilenio y el SITP (*Bogotá Cómo Vamos, 2019*). Sin embargo, se han presentado fallas como consecuencia del avance económico de la ciudad, en el ámbito de la gestión del tránsito y el transporte (deterioro de infraestructura, el incremento de vehículos y habitantes).

Con relación a la electromovilidad, Colombia ha desarrollado una política nacional y local que incentiva la implementación de esta tecnología a través de la reducción del IVA (Impuesto sobre el Valor Agregado) en vehículos híbridos y eléctricos. Asimismo, en el año 2015 en Bogotá, se implementó un proyecto de buses eléctricos e híbridos, lográndose la sustitución de 430 unidades (*CAF, 2019*). El país realizó una adjudicación de 379 buses eléctricos, que empezarían a operar en septiembre del 2020 y en el que se ha considerado una segunda licitación que incorporaría al menos 2,185 buses de tecnologías con cero o bajas emisiones, y con la posibilidad de ofertar buses eléctricos; con lo que se espera que Bogotá tenga la más grande flota eléctrica, desplazando a Santiago de Chile (*Lefevre, Galarza, Camós, Edwards, & Ascencio, 2019*).

3.1.3.1. Ejemplos de Implementación del transporte público eléctrico

La mayor parte de las ciudades que han afrontado adecuadamente su problema de transporte presentaron los mismos desafíos. Para las ciudades en Asia, Europa y América, la clave del éxito radicó en la integración del transporte público en los aspectos físico, tarifario y de planificación. Por lo tanto, para un transporte público exitoso, se deducen las siguientes principales características: un solo boleto, altos estándares de seguridad y reducción de la congestión (*Alegre, M. 2016*).

Cuando se generaliza el boleto del usuario para los diferentes tipos de transporte público, se fomenta al usuario a preferir estos medios antes que el privado por el ahorro en tiempo y costos. Esta estrategia debe estar complementada con transiciones entre elementos de manera segura, ordenada, rápida y fluida. Si se emplea adecuadamente lo anteriormente mencionado, será posible contar con un sistema público ordenado lo cual disminuirá los niveles de congestión y fomentará la creación y mejora de espacios públicos cercanos; lo cual se traduce en una mejor seguridad ciudadana (*Alegre, M. 2016*).

Barcelona fue una de las primeras ciudades en invertir en infraestructura para transporte público eléctrico. Según lo reportó la alcaldía de la ciudad, en setiembre de 2013 se adquirió el primer bus eléctrico por un periodo de prueba de aproximadamente 2 años, con el fin de determinar costos unitarios. La idea consistía en probar que los buses eléctricos generarían un menor costo monetario y/o ambiental. Actualmente, dicho sistema se encuentra en funcionamiento y pese a algunos problemas iniciales, parece estar funcionando según lo esperado.

Mientras que en Chile se utilizó un vehículo piloto eléctrico modelo BYD K9 (ver Figura 8) para realizar un recorrido entre Ciudad Empresarial, Huechuraba y Escuela Militar, Las Condes. Los resultados de este vehículo aún están siendo analizados, pero por el momento se consideran como satisfactorios.



Figura 8: Bus Eléctrico Piloto en Chile (Mujica, J. 2014)

3.1.3.2. Normativa internacional

Debido a que este sistema ha sido impulsado recientemente, la normativa que rige el funcionamiento de los vehículos es muy escasa. Sin embargo, existe ya definida una norma para la implementación de los componentes de la infraestructura de este sistema. Dentro del reglamento internacional para la infraestructura de recarga tenemos:

Tabla 4: Normas del reglamento internacional para infraestructura de recarga (Adaptado de Tamayo, 2010).

NORMA O LEY	CARACTERÍSTICA
Normativa UNE-EN 61851-1	Se refiere a la conexión del vehículo a la red de CA
Normativa UNE-EN 61851-22	Se refiere al sistema conductiva para la carga de vehículos eléctricos
Normativa UNE-EN 50438.	Comprende los requerimientos para la conexión de micro generados en paralelo con redes generales de distribución de baja tensión
ITC-BT-18.	Se refiere a las instalaciones de puesta a tierra
ITC-BT-23	Se refiere a las instalaciones interiores o receptoras y la protección contra sobretensiones

3.1.4. Transporte Público en Perú

El transporte público en Perú corresponde al medio de transporte más utilizado por la población. Según los resultados obtenidos en la Encuesta de Recolección de Información Básica de Transporte Urbano en el Área Metropolitana de Lima y Callao (JICA, 2013) se obtuvo: el 51% de los viajes son con transporte público, estos resultados son concordantes con los hallazgos obtenidos en la Encuesta Lima Cómo Vamos en la que se comparó los resultados obtenidos desde el 2015 al 2019 (ver Figura 9), y se obtuvo que en el año 2015 el 75,6% de los viajes en Lima se realizaron en transporte público, mientras que para el año 2019, este porcentaje se redujo a 65,3%; el transporte privado paso de 15,5% en el año 2015 a 12,7%, observándose un incremento de usuarios en el transporte sostenible (caminata y bicicleta) como resultado de las políticas gubernamentales que tuvieron como objetivo apalancar este tipo de movilidad, detectándose un aumento de ciudadanos que caminan o van a pie, dado que en el año 2019 se obtuvo dentro de esta categoría el 12,9% de los viajes en comparación con el año 2015 en el que solo el 6,9% de los habitantes de Lima se transportaba de esta forma.

Este aumento en el uso del transporte sostenible puede estar asociado a una mayor conciencia ciudadana de los impactos ambientales generados por el transporte, dado que los resultados de Lima Como Vamos del 2019 muestran que el 72,3% de los ciudadanos encuestados consideran que la contaminación por vehículos corresponde al problema ambiental de mayor gravedad en la ciudad.

En relación con la electromovilidad, en Perú en el año 2017 en el contexto de Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés), se propuso desarrollar un plan piloto para el uso de esta tecnología en el transporte público, en el que se incluía la implementación de incentivos financieros. Sin embargo, no se ha desarrollado un marco normativo que incentive formalmente la movilidad eléctrica. Asimismo, es importante destacar que en la actualidad en Lima se encuentra operativa la línea 1 del metro eléctrico y en construcción las líneas 2 y 4 (CAF, 2019).

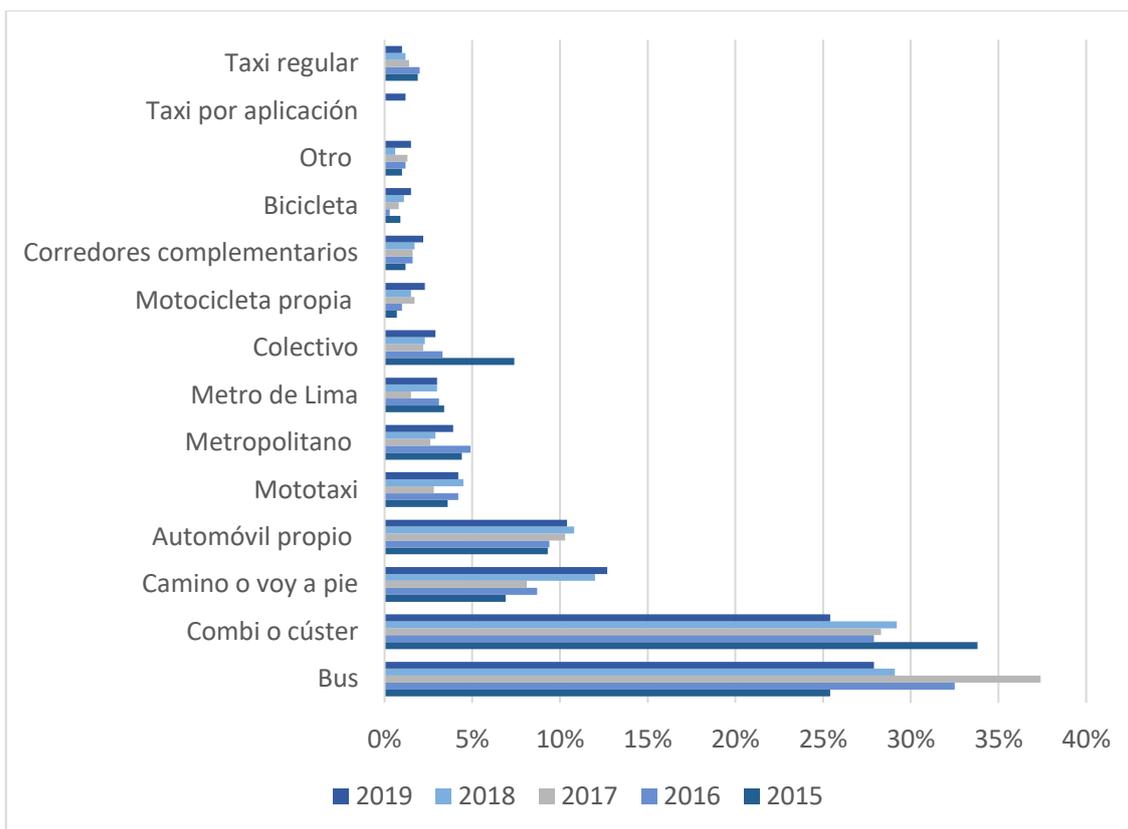


Figura 9: Distribución del transporte en Perú 2015-2019 (Adaptado de la Encuesta Lima Como Vamos, 2019)

3.1.4.1. Rol del estado en la provisión de transporte público

El Estado es un modo de organización social, con un gobierno y normas de convivencia humana (*General, E. 2014*). Por lo tanto, es su deber como ente regulador el velar por el bien común y, subsecuentemente, generar una adecuada provisión de los servicios públicos.

Según el artículo 10 de nuestra constitución, los servicios públicos deben estar sujetos a regulación gubernamental para la protección del interés público, funcionando continua y regularmente. Asimismo, el fin principal del servicio público no está orientado al económico, por lo que se debe anteponer el bienestar de la población.

Dentro de dichos servicios, uno de los principales es el Transporte Público. Debido a que el Transporte público implica una gran cantidad de individuos que deben de adaptarse a horarios y rutas preestablecidas, dependen en gran medida de la intervención regulatoria del Estado. De este modo, el transporte público urbano puede ser otorgado a consorcios o empresas las cuales mediante el cobro de pasajes buscaría recobrar su inversión inicial y generar ganancias. Actualmente existen en nuestro país instituciones que tienen jurisdicción en cuanto al ámbito del transporte público, las cuales se organizan por importancia como se describe en la Tabla 5.

Tabla 5: Instituciones con jurisdicción en el ámbito del transporte público (Elaboración propia)

INSTITUCIONES CON JURISDICCIÓN EN EL TRANSPORTE PÚBLICO	ROL
El Ministerio de Transporte y Comunicaciones	Responsable del desarrollo de los sistemas de transporte y de la infraestructura de las comunicaciones y las telecomunicaciones del país.
La Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN)	Supervisa los servicios de transporte terrestre de personas, carga y mercancías en los ámbitos nacional e internacional, el cumplimiento de las normas de tránsito y del reglamento nacional de vehículos, así como la actividad de las entidades que brindan servicios complementarios vinculados al transporte y tránsito terrestre como: centros de inspección técnica vehicular, escuelas de conductores, etc.
El Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN)	Supervisar, regular, normar, fiscalizar, sancionar, solucionar controversias y atender reclamos, respecto de actividades o servicios que involucran la explotación de la infraestructura de transporte de uso público como carreteras, aeropuertos, puertos, vías férreas – incluida la prestación de servicios públicos de transporte ferroviario de pasajeros en las líneas del Metro de Lima y Callao – así como la Hidrovía Amazónica.
La Superintendencia de Administración Tributaria (SAT)	Organizar, administrar, fiscalizar y recaudar todos los ingresos tributarios; así como, recaudar ingresos por conceptos no tributarios de la Municipalidad Metropolitana de Lima.
La División de Tránsito de la Policía Nacional del Perú (PNP)	Garantizar y controlar la libre circulación vehicular y peatonal en la vía pública y en las carreteras, asegurar el transporte automotor y ferroviario, investigar y denunciar los accidentes de tránsito, así como llevar los registros del parque automotor con fines policiales, en coordinación con la autoridad competente.
La Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) El Comité de Transporte Metropolitano de Lima (TRANSMET) La Gerencia de Transporte Urbano (GTU) La Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE) El Instituto Metropolitano de Planificación (IMP) Empresa Administradora de Peajes de Lima (EMAPE)	Formular, evaluar, ejecutar, conducir y supervisar los procesos de regulación de la movilidad urbana, de tránsito, transporte de carga, vehículos menores y uso especial de las vías y otras infraestructuras que permitan el desarrollo de la movilidad en el ámbito de la provincia de Lima, dentro del marco de los dispositivos legales aplicables.
Las Municipalidades distritales	Normar y regular el transporte público y otorgar las correspondientes licencias o concesiones de rutas para el transporte de pasajeros, así como regular el transporte de carga e identificar las vías y rutas establecidas para tal objeto.

3.1.4.2. Transporte público en Lima Metropolitana

El principal problema que enfrentan las ciudades de nuestro país es el deficiente sistema de transporte que poseen. Esto se debe a que, durante mucho tiempo, la gestión del transporte fue orientada a favor del transporte privado y no se presentaron propuestas que promuevan la movilidad sostenible. Esto ocasionó el desarrollo de transporte de mala calidad, sin integración física y con una deficiente organización y manejo de flujos viales y peatonales (*Alegre, M. 2016*). Donde más se observa esta situación es en la ciudad de Lima por presentar la mayor expansión urbana de nuestro país.

Si analizamos la situación actual del transporte en Lima encontraremos una menor productividad de la aceptable debido a los largos lapsos de tiempo requeridos para transportarse y numerosos transbordos para llegar a otro punto. De este modo, usuarios que no viven en la proximidad de sus áreas de trabajo o estudio, sufren de una notable disminución de calidad de vida. Asimismo, se produce un mayor impacto ambiental por las elevadas emisiones del parque automotriz de gases de efecto invernadero y problemas de salud de la población (*Lima como Vamos, 2019*).

En años recientes, se crearon asociaciones cuyo principal interés era identificar las deficiencias de la ciudad de modo que se pudiera hacer acupuntura urbana y tratar de mejorar la ciudad. De esta manera, se buscaba ayudar a desarrollaron sistemas de transporte públicos y privados que permitan mejorar la calidad y seguridad del transporte en Lima. Según la última encuesta de Lima Cómo Vamos 2019 (LCV) respecto a su modo de transporte prioritario para ir a trabajar o estudiar, se obtuvo que el transporte público sigue siendo el modo fundamental para viajes dentro de la capital.

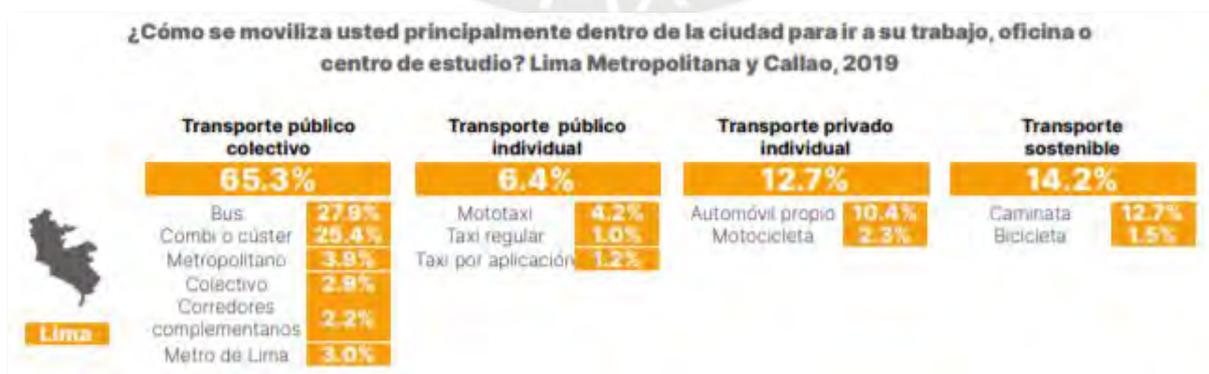


Figura 10: ¿Cómo se moviliza para ir a su trabajo, oficina o centro de estudios? (Adaptado de Lima Cómo Vamos, 2019)

Según estudios en Lima Metropolitana se determinó que el 65,3% de limeños utiliza para movilizarse al trabajo, oficina o centro de estudio algún modo de transporte público colectivo (bus, combi, colectivos, metropolitano, metro y/o corredores), el 14,2% transporte sostenible (bicicleta y/o a pie), el 12,7% transporte individual (auto y motocicleta), el 6,4% transporte público individual (taxi y mototaxi) y el 1,4% restante utiliza otros medios. Del porcentaje de viajes de transporte público colectivo, el modo preferido es el bus con un 27,9%, seguido de las combis con 25,4%, metropolitano 3,9%, metro de lima 3%, colectivos 2,9% y corredores 2,2% (ver Figura 10).

El Sistema Metropolitano de Transporte consiste en un conglomerado de buses articulados conocidos como buses de tránsito rápido (BRT) que se desplazan por líneas exclusivas para el transporte público. Es el primer transporte público, urbano y masivo de Lima con 700 mil viajes diarios en promedio. Su recorrido total cubre una ruta que atraviesa 18 distritos con un total de 35 estaciones y varias rutas alimentadoras desde Chorrillos hasta Comas (*Metropolitano, 2019*)

El sistema de buses es actualmente el favorito de los usuarios por ser más económico y abarcar mayores rutas. Sin embargo, se ve perjudicado por la presencia de combis y micros informales quienes suelen obstruir sus líneas de paso y generan congestión vehicular. Bajo los lineamientos de la Municipalidad de Lima, las rutas de transporte urbano funcionan en promedio entre las 06:00 am y las 23:00 horas. Sin embargo, debido al constante y prolongado uso de estos vehículos, muchas unidades no cuentan con las disposiciones necesarias y/o incumplen algunos requisitos fundamentales para permitir su desplazamiento (*LCV, 2019*).

El metro, llamado también Linea1, está compuesto por una línea de ferrocarriles metropolitanos que abarcan 11 distritos desde la estación Villa el Salvador hasta la estación Bayóvar en San Juan de Lurigancho. Cuenta con 44 trenes utilizados en un horario desde las 6:00 hasta las 23:00 horas por más de 550,000 pasajeros diarios (*Línea1, 2019*).

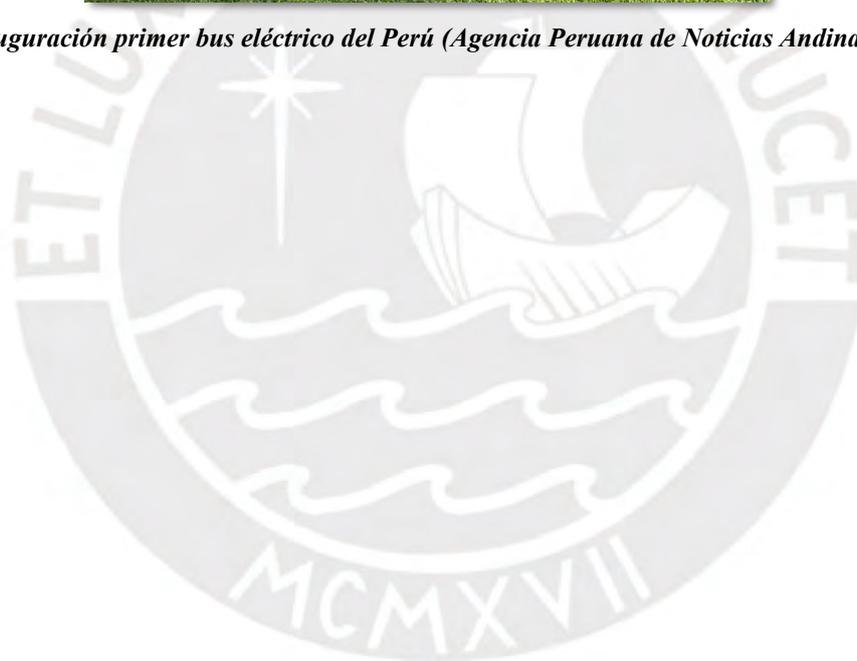
3.1.4.3. Primer bus eléctrico en Perú

El Perú cuenta ya con un bus eléctrico para transporte público. Esta unidad fue presentada el 9 de marzo del 2018 por la ministra del Ambiente, Elsa Galarza. Actualmente, recorre el tramo desde San Martín de Porres hacia Surco (ver Figura 11). Dentro de las características de la unidad se sabe que no produce ruido (esta característica debería de regularse para que no se

convierta en un peligro para las personas), sus baterías son 100% reciclables, presenta un menor porcentaje de gases de efecto invernadero y es más eficiente que un vehículo que emplea combustible y de características similares (*El Comercio, 2018*). El funcionamiento de este vehículo se explicará más adelante como parte de los vehículos de estudio (Ver capítulo 3.2.2).



Figura 11: Inauguración primer bus eléctrico del Perú (Agencia Peruana de Noticias Andina, 2018)



3.2. VEHÍCULOS DE ESTUDIO

Aunque en la actualidad existen varias alternativas para el transporte público, para el presente trabajo se tomaron como objeto de estudio los sistemas de buses con motor eléctrico, diésel e híbrido para el transporte público. Se realizó un análisis básico del funcionamiento de cada sistema, así como también de sus ventajas y desventajas.

3.2.1. Vehículos de combustión interna

El motor de combustión interna es aquel que obtiene trabajo mediante la combustión de combustible en su interior. Se puede clasificar en dos grandes grupos: motores diésel y motores de gasolina. Ambos motores tienen un funcionamiento parecido con la diferencia que solo los motores a gasolina producen chispas de ignición dentro de su mecanismo (*Sevilla, 2017*).

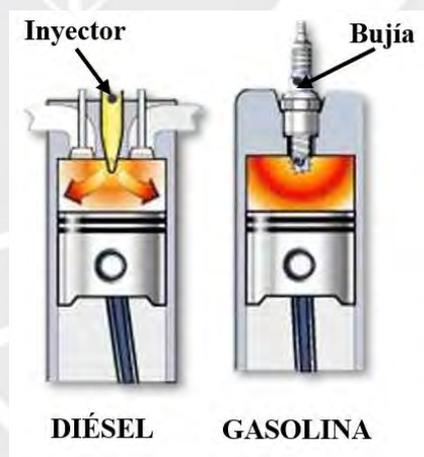


Figura 12: Descripción gráfica del funcionamiento de los motores de combustión interna (Adaptado de Sevilla, 2017)

Como se puede observar en la imagen anterior (ver Figura 12), el motor diésel genera dentro de sus cilindros aire comprimido bajo presión y grandes temperaturas que luego se combinan con combustible pulverizado (también inyectado a presión), generando la combustión de la mezcla. Gracias a este proceso, los motores diésel también son conocidos como motores de ignición por compresión (*Sevilla, 2017*). Debido a que dentro del motor se generan grandes fuerzas de compresión y calor se requiere de elementos más resistentes que los de un motor de gasolina.

Adicionalmente, dependiendo del uso y/o usuario se puede utilizar una cámara de inyección directa o de inyección indirecta. En el primer caso, el nivel de turbulencia es bajo lo que genera altos valores de compresión y casi no libera calor al exterior. En el segundo caso, la cámara de turbulencia comprende una gran parte de la cámara de combustión, lo cual ayuda a pulverizar el combustible y genera una menor presión (*Tamayo, 2014*). De este modo, se obtiene un motor más suave y con menor desgaste de sus partes.

Los vehículos con motor diésel son la opción más difundida en el mercado. Esta preferencia se debe a que su motor trabaja con el proceso de compresión de aire permitiendo un mayor rendimiento de kilometraje en comparación del motor de gasolina. Este tipo de motor permite que el mecanismo de funcionamiento sea sencillo; por lo que puede prescindir de elementos adicionales como rotores, distribuidores, etc. Su rendimiento alcanza más del doble de distancia que un motor a gasolina con la misma cantidad de combustible. El sistema de estos motores genera un torque lo suficientemente grande como para ser usado para cargar grandes pesos sin mucho esfuerzo. Además, el peligro de incendio de los motores diésel es mucho menor que los motores a gasolina, lo que a su vez facilita su almacenamiento (*Álvarez, 2017*).

Sin embargo, el motor diésel presenta características que lo hacen una opción no viable a largo plazo debido a su mayor costo de mantenimiento. Los vehículos con motor diésel no son muy buenos alcanzando grandes velocidades. El funcionamiento de estos motores requiere de un monitoreo constante de los filtros de agua, aceite y aire. Asimismo, debido a que el petróleo en estado bruto no logra ser completamente librado de impurezas, el sistema de filtrado es esencial para el buen funcionamiento de este tipo de motores. Por ejemplo, un cartucho filtrante bajo condiciones normales de uso debería cambiarse cada 15.000 km aproximadamente (*Sevilla, 2017*).

Debido a su funcionamiento, los motores diésel producen una mayor contaminación acústica y emiten gases de efecto invernadero, acelerando el proceso de calentamiento global y generando problemas para la salud. Como se puede observar en la Figura 13, los motores diésel producen mayor volumen de partícula de materia (PM) y de óxido de nitrógeno (NO_x) en comparación con los motores de gasolina. No obstante, estos últimos debido a su baja eficiencia de combustión, producen elevados índices de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos (*NGK, 2017*).

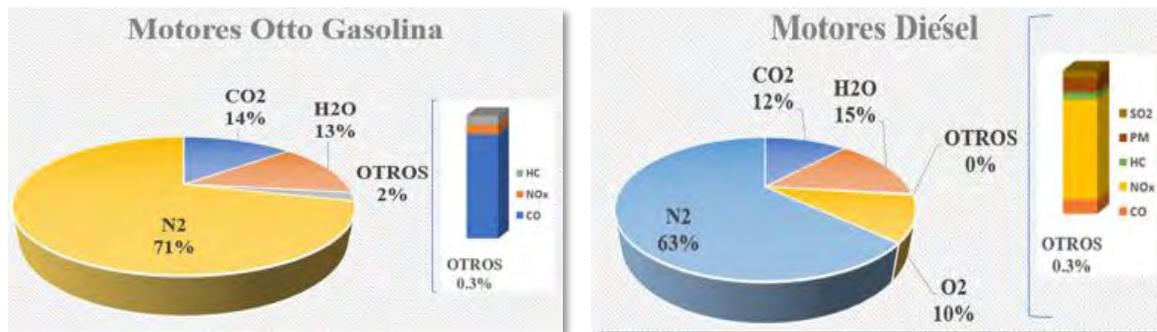


Figura 13: Gráfica de composición de los gases de escape para motores: izquierda motor Otto (gasolina), derecha motor diésel. (Adaptado de NGK, 2017).

3.2.1.1. Bus con motor diésel

Desde su creación en 1900 por los hermanos Mack, los buses utilizaban el motor diésel debido a la gran capacidad de este modelo de soportar cargas. El primer modelo de bus con motor diésel era capaz de transportar a 20 personas con una capacidad de 40 CV (Tixce, C. 2016).

No obstante, el sistema está cayendo en desuso debido a las altas exigencias de entidades como la Unión Europea acerca del control de las emisiones de este tipo de motores (ver Figura 13). Adicionalmente, un motor diésel produce en promedio entre 85 a 90 decibeles y representa una fuente de calor de 100° para un radio de 1 m, lo cual se considera como perjudicial para la salud de las personas (sobre todo para los conductores).

En cuanto al abastecimiento de este sistema, generalmente los buses con motor diésel se abastecen una vez al día, ya sea antes del inicio del servicio o en horarios nocturnos. Como podemos ver en la Figura 14, los vehículos siguen tramos ya predeterminados cuyo origen o fin, estará relacionado con el suministro de combustible del sistema.

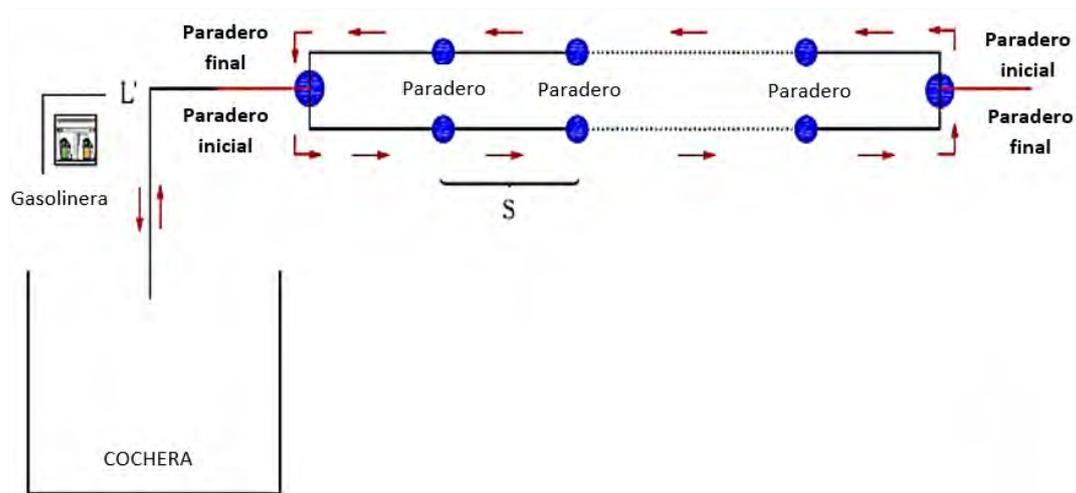


Figura 14: Gráfica de Línea convencional de bus con diésel. Incluye cochera y abastecimiento de combustible. (Adaptado de Delzo, 2014)

3.2.2. Vehículos eléctricos

Pese a ser el primer modelo de vehículo en aparecer, el interés por desarrollar sistemas con vehículos eléctricos para el transporte público es reciente. Surgió como una alternativa ante la necesidad de atenuar los valores de contaminación ambiental que se genera anualmente por el sector transporte.

A diferencia de los motores diésel, el motor eléctrico genera energía mecánica a partir de energía eléctrica para producir movimiento del vehículo. Esta energía proviene de la fuente que esté instalada en el vehículo (baterías, pilas de combustibles o placas solares). El sistema está compuesto principalmente por dispositivos de almacenamiento de energía, fuentes generadoras estáticas de energía (celdas de combustible), convertidores de tensión (Corriente alterna-alterna, corriente alterna-continua, corriente continua-continua y corriente continua-alterna) y sistemas de control de la energía (Alegre, 2017).

Los vehículos con motor eléctrico han ido ganando popularidad, sobre todo por sus características eco-amigables. Actualmente, en el mercado podemos encontrar principalmente dos tipos de vehículos eléctricos viables: Vehículos Eléctricos (EV), Vehículos de Celda de Combustible (FCV) (Zúñiga, 2014) y Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV) (Ver capítulo 3.2.3).

- **Vehículos Eléctricos (EV)**

Este tipo de vehículos eléctricos utilizan entre uno a cuatro motores para generar la energía equivalente de un motor de combustión interna (ver Figura 15). Se le considera como un vehículo de cero emisiones (no genera contaminación durante su circulación) puesto que utiliza como fuente de alimentación baterías o la red eléctrica (grifos de electricidad). Sin embargo, estos vehículos aún se consideran de utilidad limitada por su autonomía y tiempo de recarga (*Alegre, 2017*).



Figura 15: Gráfica de funcionamiento de vehículo eléctrico (EV) (Adaptado de Alegre, 2017)

- **Vehículos de Celda de Combustible (FCV)**

Este vehículo también utiliza la energía proveniente de baterías o capacitores para impulsar su motor eléctrico. Luego, la fuente de poder (baterías o súper capacitores) se recargan utilizando celdas de combustible (*Alegre, 2017*).

Para ambos tipos de vehículos, las principales ventajas que representa este sistema de transporte son que no necesitan de combustible para funcionar, por lo que no emiten gases tóxicos y la contaminación acústica generada es mucho menor que la de otros motores. Este tipo de motores tienen mayor eficiencia (cercana al 90%) en función con los tradicionales (alrededor del 30%). Como no requiere de una caja de cambios el motor eléctrico puede colocarse en las llantas del vehículo, eliminando la necesidad de una parte delantera tan voluminosa. Además, en términos de costo, un motor eléctrico es más rentable puesto que supone una menor inversión (*Alegre, 2017*).

No obstante, debido a que los vehículos con motor eléctrico están en una etapa de desarrollo, presentan ciertas desventajas en autonomía, potencia, recarga, precio y mantenimiento. La poca autonomía se debe a que el tamaño de sus baterías solo permite que se desplacen distancias

cortas sin recarga. Asimismo, la poca potencia no les permite alcanzar grandes velocidades, sobre todo en cuestas o rutas muy empinadas. La red de recarga necesaria para la alimentación de este sistema es casi nula y sus baterías aún tienen un precio alto debido a que no son del todo reciclables (*Zúñiga, 2014*).

A pesar de que un vehículo eléctrico no libera emisiones perjudiciales para el ambiente, al momento de su fabricación sí se genera un porcentaje considerable de contaminación. Además, actualmente la mano de obra capaz de darle mantenimiento a este tipo de vehículos es escasa y por lo tanto costosa.

3.2.2.1. Bus eléctrico

Los buses eléctricos utilizan baterías o condensadores para almacenar energía necesaria para el movimiento del vehículo (*Delzo, 2014*). Se caracteriza por tener un funcionamiento completamente eléctrico. Se clasifican como: trolebús si usan una fuente de alimentación eléctrica (catenarias) y dos cables para realizar su recorrido, y los de recarga eléctrica que almacenan su energía en baterías.

A diferencia de los buses con motor diésel el proceso de alimentación debe realizarse de manera frecuente; puesto que la eficiencia de las baterías actuales aún no es muy alta (ver Figura 16). Para el trolebús la alimentación es más fácil ya que posee autonomía infinita. Por otro lado, los buses de recarga eléctrica pueden ser recargados al inicio de los puntos de parada, en los diferentes puntos de paradas del recorrido y/o en el lugar de almacenamiento (*Delzo, 2014*).

Los buses eléctricos suelen, por lo general, llevar baterías extras para poder recorrer tramos más largos. Si bien en términos de autonomía esto es beneficioso, resulta en la pérdida adicional de espacio. Por este motivo algunos fabricantes prefieren retirar las baterías descargadas y reemplazarlas con baterías totalmente cargadas. En paralelo a los buses con “baterías adicionales”, este método permite tener una mayor duración de recorrido; pero involucra una pérdida del tiempo de vida de las baterías por los ciclos de descarga/recarga (*Zúñiga, 2014*).

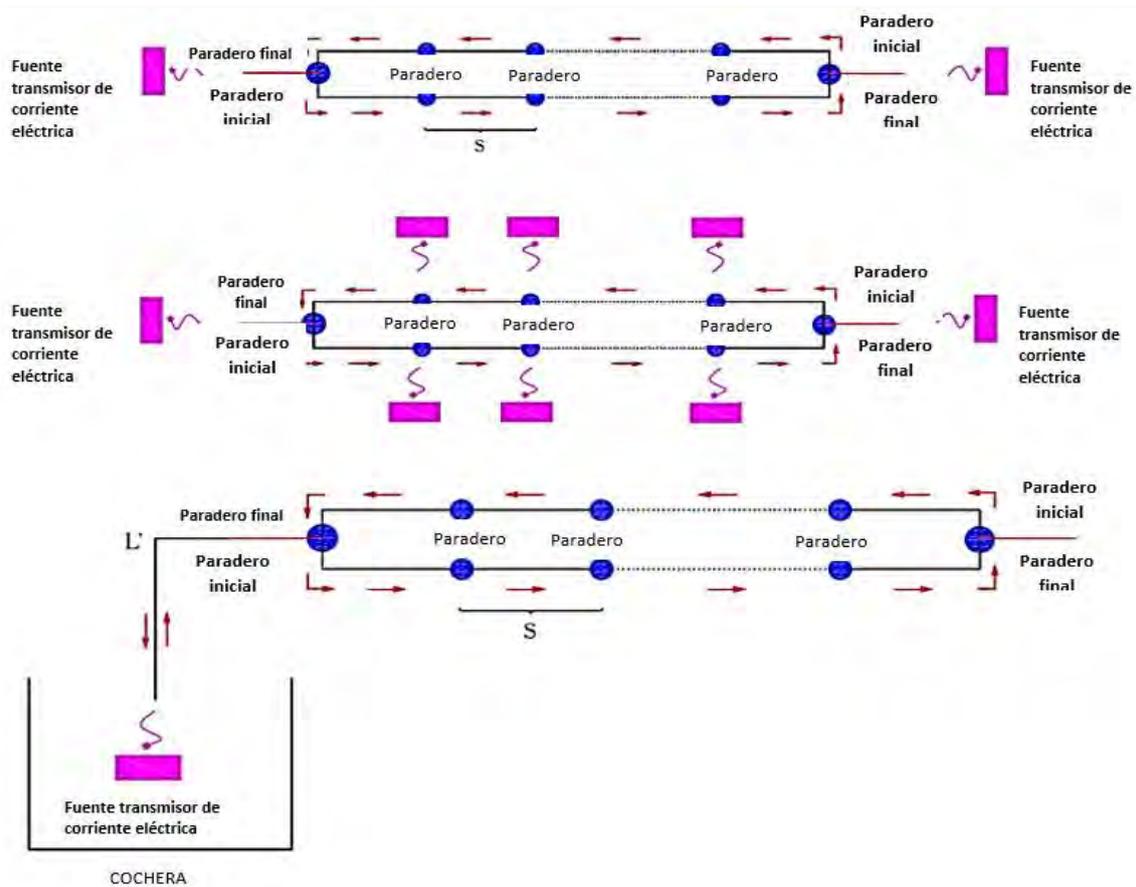


Figura 16: De arriba hacia abajo: Recarga del vehículo al inicio de los paraderos, recarga del vehículo en cada paradero y recarga del vehículo en el garaje (Adaptado de Delzo, 2014)

3.2.3. Vehículos híbridos

Un vehículo híbrido es aquel que usa dos sistemas para poder generar movimiento. Se tienen dos formas de hibridación las cuales son: hibridación del sistema de propulsión o hibridación del sistema de alimentación. Para el primer caso, el vehículo puede utilizar el motor eléctrico o el térmico para propulsarse; mientras que para el segundo caso el vehículo utiliza el motor térmico para recargar las baterías. Para nuestro caso de estudio, se consideró un modelo de vehículo híbrido con motor diésel y eléctrico. Actualmente en el mercado se cuentan con Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV) (Alegre, 2017).

- **Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV)**

Tienen dos o más fuentes de energía para impulsarse. Ahorran energía y tienen un bajo nivel de emisiones, en comparación con un vehículo con motor de combustión interna (ver Figura 17). Utiliza el motor de combustión interna para recorrer largas distancias, mientras que el motor eléctrico almacena el exceso de energía que se genera en exceso y la usa para propulsar

el vehículo. Los vehículos híbridos eléctricos se clasifican según su funcionamiento: serie, paralelo y mixto (*Alegre, 2017*).

- **Vehículos Híbridos Eléctricos Enchufables (PHEV)**

Presentan un funcionamiento similar al de los vehículos híbridos eléctricos pero sus baterías tienen densidad de energía alta, lo que les permite un mayor recorrido que los HEV (ver Figura 18). Además, las baterías en los PHEV pueden ser cargadas por el motor de combustión interna (MCI) o al conectar el vehículo a una toma de corriente de la red eléctrica (*Alegre, 2017*). Debido a su funcionamiento logra desplazarse distancias cortas sin necesidad de utilizar el MCI (aproximadamente 60 km).



Figura 17: Gráfica de configuración de funcionamiento vehículos HEV (Adaptado de Alegre, 2017)



Figura 18: Gráfica de configuración de funcionamiento vehículos PHEV (Adaptado de Alegre, 2017)

Cuando comparamos ambos sistemas con uno de motor de combustión interna, encontramos: una menor emisión de gases contaminantes (minimiza el efecto invernadero), consumo más eficaz del combustible fósil, su propulsor eléctrico no emite sonido y es más autónomo que un vehículo eléctrico simple. Su tiempo de recarga es menor que la de un vehículo eléctrico simple, tiene un motor eficiente, de respuesta rápida y mayor potencia y las baterías no se descargan si se deja conectado. Solo necesita del motor eléctricos para tramos pequeños y para los tramos mayores se recarga solo, aprovechando la energía cinética que produce el vehículo al frenar. Finalmente, debido a que ostenta beneficios en algunas ciudades por protocolos de contaminación, presenta considerables reducciones fiscales por impuestos de circulación (*Alegre, 2017*).

No obstante, a comparación de un vehículo convencional, estos vehículos son más pesados y tienen un mayor costo de adquisición y mantenimiento porque utilizan materiales escasos

obtenibles de procesos químicos (son más difíciles de reparar y/o revisar). De hecho, por el momento las baterías que utiliza son tóxicas y presentan muchos ciclos de carga/descarga que afectan su vida útil; por lo que aún no son aptos para todos los conductores (altos costos que supondría exponerlo a autopistas largas o carreteras) (*Alegre, 2017*).

3.2.3.1. Bus híbrido

Un bus híbrido al igual que otros vehículos híbridos requiere de 2 motores para desplazarse (motor de combustión interna y motor eléctrico) y almacena la energía que se pierde mediante la generación de calor en el motor de propulsión de las baterías. Dependiendo de su funcionamiento, existen tres tipos de buses híbridos: buses de motor con funcionamiento en serie, con funcionamiento en paralelo y los buses de funcionamiento paralelo-serie que combinan ambos sistemas.

En un motor en serie se utiliza un generador eléctrico, el cual obtiene su energía del motor térmico para impulsar al vehículo. De la energía total del sistema una parte se utiliza para acelerar; mientras la otra sirve para recargar las baterías en régimen estacionario (ver Figura 19). El motor eléctrico de este sistema se utilizaría en zonas sensibles a impactos ambientales. Para estos sistemas se deben de evitar trayectos con pendientes muy pronunciadas ya que se generarán problemas por falta de potencia. (*Delzo, 2014*).

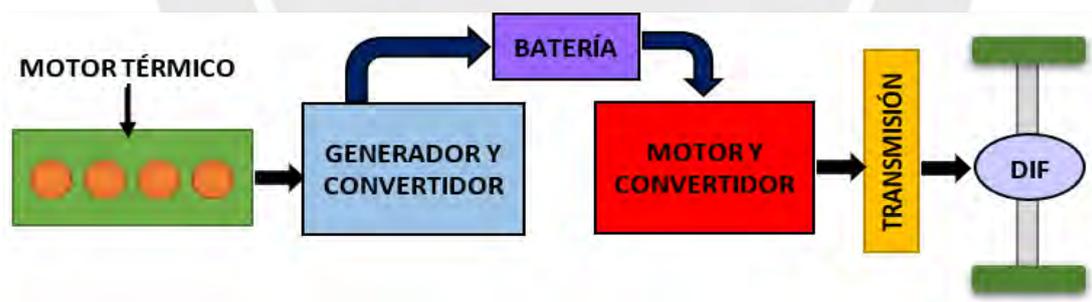


Figura 19: Representación gráfica de motor de bus híbrido con configuración en serie (Adaptado de Lope, 2010)

A diferencia del sistema anterior, un bus con recarga eléctrica (plug-in) es más complejo y tiene varias fuentes generadoras de energía de potencia; por lo que presenta menores pérdidas energéticas al momento de convertir la energía mecánica en eléctrica (ver Figura 20). Muestra una configuración en paralelo para combinar la energía del motor térmico y el motor eléctrico (*Delzo, 2014*).

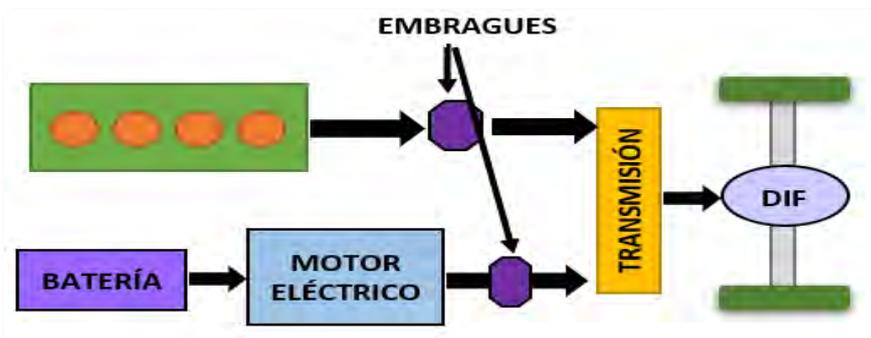


Figura 20: Representación gráfica de motor de bus híbrido con configuración en paralelo (Adaptado de Lope, 2010)

Por otro lado, para el abastecimiento de energía un bus híbrido en serie utiliza solo diésel mientras que un híbrido en paralelo requiere también de energía eléctrica (Delzo, 2014). Para los buses en serie, el abastecimiento será similar al de un bus con motor diésel (ver Figura 14); mientras que para el sistema en paralelo el recorrido deberá de incluir un proceso de recarga de combustible y de recarga de corriente (ver Figura 21).

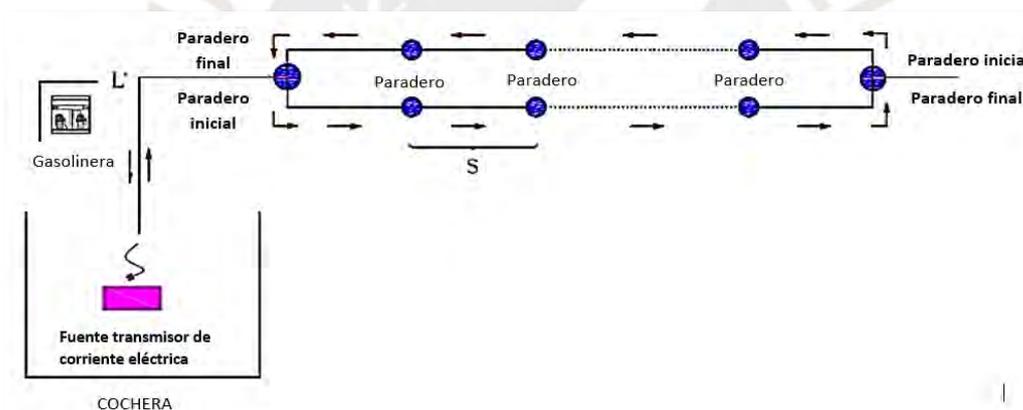


Figura 21: Recarga eléctrica y de combustible para un bus híbrido en paralelo (Delzo, 2014)

Análogamente a la fabricación de buses híbridos con motor diésel, se han fabricado buses híbridos (principalmente en China) que operan usando Gas Natural Licuado (GNL) y/o Gas Natural Comprimido (GNC). Presentan un funcionamiento similar al de los vehículos híbridos diésel-eléctricos.

4. FACTORES DE EVALUACIÓN

En ocasiones, se suele confundir los términos factibilidad y viabilidad debido a que ambos términos parecen referirse a lo mismo. Si nos apegamos a lo que dice la RAE (2020) tendremos que el término factible alude a aquello que es posible hacer. Este adjetivo, por lo tanto, califica a lo que se puede realizar. Mientras que viable es el término aplicable a algo con características favorables para que se realice. Según lo anteriormente expuesto tenemos que un proyecto factible es un proyecto que se puede realizar; mientras que uno viable es un proyecto que además de ser factible debe ser sostenible y rentable económicamente.

Por lo tanto, para poder analizar un proyecto, primero se debe de demostrar si es factible, y luego se debe demostrar que es viable. En el presente trabajo se analiza la factibilidad del uso de vehículos eléctricos en el transporte público para que posteriormente se puedan realizar análisis que determinen la viabilidad a largo plazo de dicho proyecto.

La factibilidad se refiere a la posibilidad de cumplir las metas establecidas previamente, haciendo un balance entre la cantidad de recursos actuales y necesarios para su implementación. Según la información presentada en los capítulos anteriores, se observa que los vehículos eléctricos tienen una alta probabilidad de ser una iniciativa factible. Para corroborar esta hipótesis, es importante realizar un estudio de factibilidad.

Un estudio de factibilidad es una herramienta importante de la toma de decisiones, puesto que nos permite determinar si un proyecto será viable a lo largo de tiempo (*Miranda, 2005*). Se basa en un proceso de aproximaciones sucesivas que utiliza supuestos, pronósticos y estimaciones con un grado adecuado de confiabilidad. De esta manera, obtenemos información que nos permite calificar las posibilidades de éxito en caso se requiera una inversión para su implementación. Se busca elaborar un plan de producción y/o comercialización, así como reforzar sus puntos débiles; siempre y cuando se haya determinado que el proyecto generará ganancias. Dentro del estudio de factibilidad tenemos los estudios de mercado, técnico financiero y legal ambiental.

4.1. ENFOQUE ECONÓMICO

Uno de los factores más determinantes de un estudio de factibilidad es el enfoque económico. El enfoque económico compara la relación entre los costos/beneficios de un proyecto permitiéndonos decidir si es conveniente su ejecución; es decir, evalúa la rentabilidad del proyecto. Se realiza para poder contar con mayores alternativas de inversión puesto que, cuánto más rentable sea el proyecto, mayor será su demanda de posibles inversionistas (*Thompson, 2009*).

Dentro de este enfoque tenemos varias herramientas que nos permiten identificar las características más importantes de nuestro proyecto.

4.1.1. Análisis DOFA

El análisis DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) es un método de planificación estadounidense, popular por su simplicidad, que permite determinar los puntos débiles y fuertes de un proyecto. (ver Tabla 6) De esta manera, nos permite buscar soluciones que mitiguen sus deficiencias, logrando así la mejoría progresiva del mismo. Debido a su forma simple, es común que se utilice para todo tipo de proyectos (*Herman, 2017*).

Tabla 6: Elementos del análisis de matriz DOFA (Adaptado de Herman, 2017)

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none"> - Puntos fuertes - Elementos internos que benefician al proyecto - Factores claves del éxito
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos internos que atentan contra el proyecto - Se encuentran bajo nuestro control - Dificultan alcanzar las metas propuestas
OPORTUNIDADES	<ul style="list-style-type: none"> - Escenario externo - Eventos que eventualmente pueden afectar positivamente un proyecto
AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none"> - Origen externo - Situaciones que dificultan la realización de un proyecto

Por medio del uso de esta herramienta de análisis se pretende examinar las características particulares de cada tipo de vehículo de estudio.

- **Matriz DOFA Bus con motor diésel**

Entre los 3 sistemas de análisis, los vehículos diésel son la principal tecnología actual de los sistemas de transporte masivo. Al momento de determinar sus fortalezas y oportunidades, se tomó en cuenta que es un sistema que se encuentra actualmente en uso y que probablemente presente una transición lenta, sobre todo para países con un deficiente sistema de transporte público (*Tamayo, 2014*). Finalmente, sus debilidades y amenazas se basaron principalmente en temas ambientales y futuras políticas a adoptarse (ver en anexos Tabla A1).

- **Matriz DOFA Bus con motor eléctrico**

El sistema de buses con motor eléctrico representa al más prometedor de los sistemas de análisis. Esto se debería a que dentro de sus fortalezas y oportunidades se encuentra la gran promoción que le están dando entidades estatales e internacionales por sus beneficios ambientales a largo plazo. Por consecuencia, la gran promoción de esta tecnología está logrando abaratar los costos de producción lo cual fomentaría aún más el uso de este tipo de vehículos (*Sevilla, 2014*). No obstante, aún se debe de considerar que esta es una tecnología incompleta; puesto que aún no se ha alcanzado un rendimiento óptimo de las baterías/ fuentes alimentadoras; así como lograr un eficiente reciclaje de las baterías (ver en anexos Tabla A2).

- **Matriz DOFA Bus con motor híbrido**

El sistema de vehículos híbridos diésel/eléctricos presenta una combinación de los sistemas expuestos anteriormente. Comparte casi las mismas debilidades de un sistema de motor diésel por su dependencia de los hidrocarburos y sus respectivas consecuencias, así como las debilidades de un vehículo eléctrico en cuanto a términos de costo y rendimiento. No obstante, dentro de sus principales oportunidades tenemos la gran popularidad del sistema que ha ganado hasta el momento varias competencias internacionales. Además, representaría un proceso de transición mucho más ordenado del sistema diésel al eléctrico. (ver en anexos Tabla A3).

4.1.2. Estudio de prefactibilidad

Un estudio de prefactibilidad representa la etapa inicial detallada del estudio y análisis comparativo de un proyecto de inversión. Se determinan aspectos legales, los posibles factores que afectarían positiva o negativamente al proyecto, disponibilidad de recursos y las posibilidades de adaptar dicho proyecto a la región de estudio. (*Thompson, 2009*).

En cuanto al estudio de prefactibilidad, se basa en los campos del estudio de mercado, estudio financiero, estudio tecnológico, provisión de suministros, estudio administrativo e impacto ambiental (este último se analizará en el capítulo 4.3).

4.1.2.1. Estudio de mercado

Se realiza para predecir la demanda, potencial de mercado, proyección de ventas, cantidad de usuarios, competencia, etc. (*Thompson, 2009*). Para el presente trabajo se consideró el comportamiento histórico de la demanda, costos de operación y fluctuaciones de mercado de ciudades que cuentan con por lo menos dos de los tres sistemas de estudio por un periodo cercano a los 10 años.

- **Mercado actual y proyecciones**

En el mercado actual podemos encontrar en circulación los 3 tipos de vehículos de estudio. No obstante, sus tasas de crecimiento/decrecimiento no son las mismas. Analicemos primero el mercado de vehículos diésel. Si bien es cierto este fue uno de los modelos predominantes en ventas tanto en transporte privado como público, en la actualidad su margen de ventas ha decaído considerablemente y se espera que el número de vehículos ICE de gasolina o diésel vendidos al año comience a disminuir a mediados del 2020 (*Bloomberg New Energy Finance, 2018*).

Uno de los principales factores de este rezago fue el escándalo Volkswagen en 2015, donde dicha compañía había trucado 11 millones de vehículos diésel para engañar a las agencias medioambientales sobre las emisiones de sus vehículos. Desde entonces, la credibilidad e imagen de este tipo de vehículos perdieron imagen y la confianza de los consumidores y reguladores.

Por otro lado, los vehículos híbridos y eléctricos muestran mejores proyecciones. Las ventas a nivel mundial de los autos eléctricos han incrementado exponencialmente llegando a superar los 3 millones en 2017 (ver Figura 22) y se proyecta una venta de 60 millones de vehículos eléctricos para el 2040.

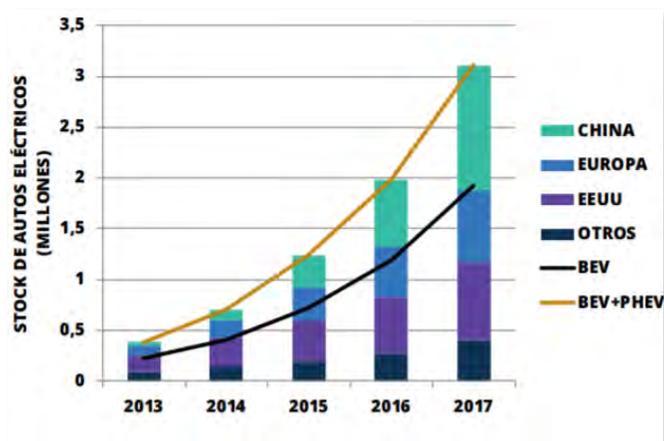


Figura 22: Ventas mundiales de EV, incluyendo automóviles, buses y motocicletas (IEA, 2018)

China encabezará la lista de ventas representando casi el 50% del mercado mundial de vehículos eléctricos en 2025 y 39% para el 2030 (BNEF, 2018). Además, podemos observar un comportamiento de ventas adecuado a lo largo de los últimos 3 años (ver Figura 23).

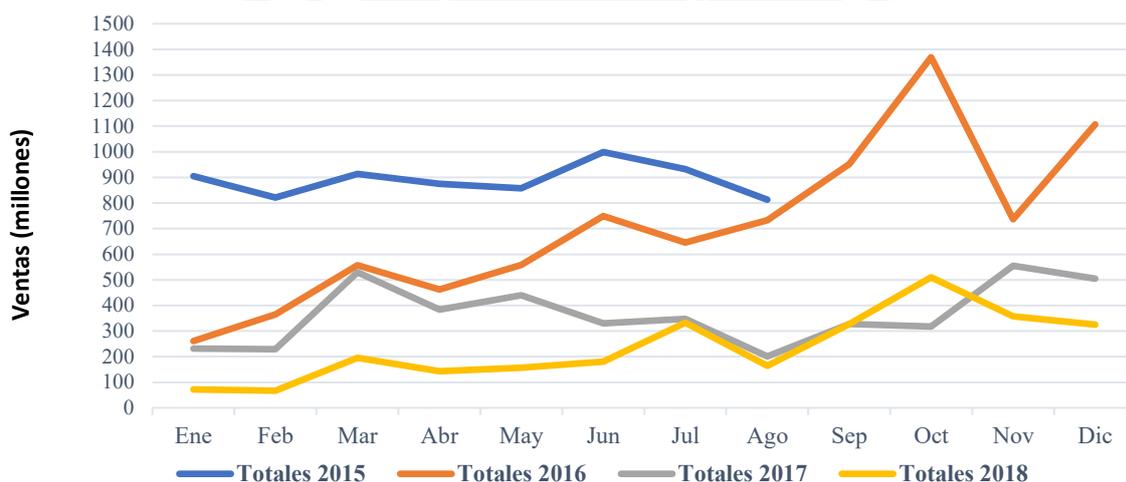


Figura 23: Ventas globales de vehículos BEV/PHEV+EREV del 2015-2018 (Adaptado de Sánchez, 2018)

Adicionalmente, según proyecciones, para la segunda mitad del 2020, las ventas de buses eléctricos aumentarían un 84% (ver Figura 24) en sus respectivos mercados por la disminución del costo de fabricación de las baterías (BNEF, 2018).

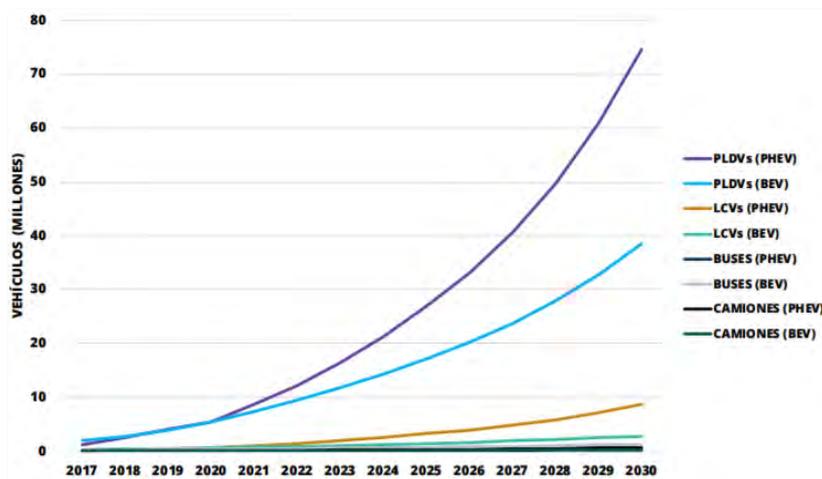


Figura 24: Stock global proyectado de EV bajo políticas existentes y anunciadas (IEA, 2018)

En lo referente al sistema de buses, analizando los datos de años pasados se sabe que en el año 2010 la cantidad de buses en operación era de aproximadamente 16 millones de unidades donde China y Corea poseían los mayores porcentajes de buses (ver Figura 25).

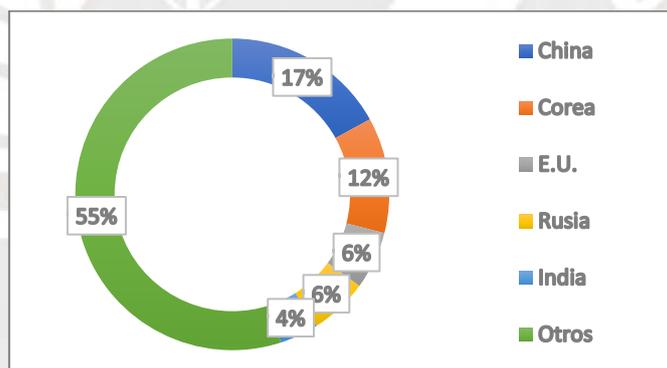


Figura 25: Distribución mundial de unidades de buses híbridos y/o eléctricos en el año 2010 (Adaptado de ICCT, 2012)

Asimismo, las proyecciones de ventas en el periodo de 2012-2020 mostraban que se tendría alrededor de 278,000 unidades fabricadas (ver Figura 24). La tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) (Ver Ecuación 1), la cual es la tasa de rendimiento que se requeriría para que una inversión crezca desde su saldo inicial hasta su saldo, se proyectó en un 6.4% (ver Figura 26).

$$CAGR(t_0, t_n) = \left(\frac{V(t_n)}{V(t_0)}\right)^{\frac{1}{t_n-t_0}} - \dots \dots \dots \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

V(t₀): Valor inicial

V(t_n): Valor final

t_n-t₀: N° de años



Figura 26: Proyección ventas mundiales de buses año 2012-2020 (Frost & Sullivan, 2012)

Bajo este contexto, también se determinó el costo promedio del recorrido, el precio de compra de los buses, el encargado/cliente que operaría las líneas de bus (ver Tabla 7).

Tabla 7: Proyección de Costos de viaje, compra y cliente para mercados mundiales (Adaptado de Frost & Sullivan 2012)

MERCADO	COSTO VIAJE (\$)	COSTO BUS 12M (\$)	CLIENTE
Latinoamérica	0.75 – 1.00	200000 – 225000	Operarios privados
China	2.50 – 3.00	60000 – 90000	Público (adquirido por el estado y alquilado)
India	0.20	100000 – 125000	Público (operado por el estado)
Norte América	1.00 – 5.00	300000 – 400000	Público (organismo de tránsito local)
Europa	1.50 – 4.00	250000 – 350000	Público (organismo de tránsito local)
Rusia	0.75 – 0.83	130000 – 180000	Público (organismo de tránsito local)
Otros	0.50 – 10.00	100000 – 350000	Público/Privado

Así mismo, se analizó la inversión para un bus urbano de 12 metros obteniéndose una gran variación en cuanto a costos de inversión por la escasez de fuentes de producción de buses (ver Tabla 8).

Tabla 8: Proyección de inversión para bus diésel, híbrido y eléctrico (Frost & Sullivan 2012)

MERCADO	DIESEL CONVENCIONAL (\$)	HÍBRIDO (\$)	ELÉCTRICO (\$)	COSTO ADICIONAL HÍBRIDO (%)	COSTO ADICIONAL ELÉCTRICO (%)
China	60,000 -90,000	125,000 -200,000	280,000 – 350,000	115	420
India	75,000 – 110,000	175,000 – 255,000	325,000 – 410,000	130	300
Rusia	130,000 – 180,000	245,000 – 325,000	400,000 – 500,000	85	190
América Latina	200,000 – 225,000	280,000 – 340,000	410,000 – 500,000	45	115
Resto del Mundo	100,000 – 350,000	195,000 – 500,000	300,000 – 700,000	55	120
Europa	250,000 – 350,000	420,000 – 510,000	575,000 – 680,000	55	110
Norte América	300,000 – 400,000	485,000 – 540,000	595,000 – 690,000	45	85
Promedio	200,000	330,000	480,000	65	140

Por las tendencias mostradas en los gráficos anteriores se determina un enorme potencial de mercado para la compra de buses nuevos. Se espera que los buses híbridos y eléctricos tendrán una cuota de mercado de alrededor del 15% en el año 2020, lo que significa una tasa de crecimiento anual compuesto de casi el 20% en comparación con el año 2012, esta tasa de crecimiento es muy superior a la tasa de crecimiento de buses en total que se sitúa alrededor del 6% (*Frost & Sullivan*).

Si analizamos el mercado actual en nuestro país, vemos que hay una predilección por los vehículos híbridos. En el año 2018, hubo una reducción favorable en el Impuesto Selectivo al Consumo (ISC) para las categorías a gas, eléctricos e híbridos; por lo que se esperaba que la venta de autos híbridos incrementase en más del doble (*Simon, 2018*). En cuanto al transporte público, se implementó un bus eléctrico para la Municipalidad de San Isidro. El servicio de transporte es actualmente gratuito y forma parte del programa "Mi Bus" utilizado por vecinos y visitantes del distrito (ver Figura 27). Este servicio opera desde 2014 y cuenta ahora con 3 buses en total: 2 de combustible diésel y 1 eléctrico.

Adicionalmente, recientemente se firmó un convenio para incorporar en un programa piloto de 2 años un bus eléctrico (ver Figura 28), con el fin de recopilar información suficiente de la ruta del Corredor Rojo (Javier Prado – La Marina – Faucett). El objetivo final sería abarcar eventualmente la totalidad de la línea amarilla y poder masificar el servicio a nivel nacional (*El Comercio, 2018*).



Figura 27: Modelo de Bus de la flota de San Isidro (El Comercio, 2018)



Figura 28: Modelo de Bus que se importará para el programa piloto (El Comercio, 2018)

Finalmente, para el año 2019 se esperaba la llegada de cinco buses eléctricos de la empresa BYD; donde tres serán para el transporte urbano y dos para el transporte privado (*Gestión, 2018*).

4.1.2.2. Estudio tecnológico, administrativo y de producción

El estudio tecnológico provee información para cuantificar montos y costos de operación e inversión del elemento de estudio para determinar si será sustentable, viable y/o rentables en el tiempo. En esta etapa se determinan los costos de implementación (ubicación, equipos, instalaciones, tecnologías, etc.) y producción (*González, 2010*). Para la determinación se incluyen estimados de posibles ventas, costos e inversiones, estudios de mercado, análisis de la demanda, gastos laborales, costo de financiamiento, estructura impositiva, etc. (*Federico, 2018*). Por otro lado, en el estudio de producción se contemplan los insumos necesarios para el proceso, mano de obra y otros gastos indirectos de producción. En nuestro país aún no se ha implementado la cantidad necesaria como para poder considerar costos; no obstante, podemos basarnos en la aplicación de este sistema en otros países y/o en modelos de estudio:

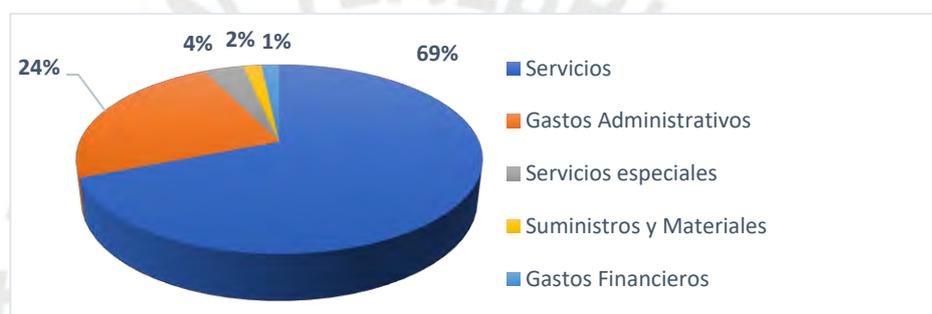
- **Ecuador (Guayaquil)**

En el caso de Guayaquil, aún no se ha implementado una red de transporte público con vehículos eléctricos; sin embargo, se han hecho estudios al respecto. Para dicho estudio se tuvieron las siguientes consideraciones:

Tabla 9: Características modelo de bus eléctrico para la ciudad de Guayaquil (Adaptado de Tamayo, 2014)

CARACTERÍSTICAS	VALOR
N° diario de recorridos	4
Total de recorrido unitaria	22.6 km
Recorrido total	90.4 km
Duración del recorrido	3 horas
Días de funcionamiento mensual	20 días
Velocidad promedio	30 km/h
Pendientes	<1%
Kilometraje por mes	1808 km

Adicionalmente, también se determinaron los costos de operación para ambos tipos de vehículos. Debido a que la ruta de estudio es la misma, se consideró que los gastos administrativos serían los mismos tanto para el sistema de buses eléctricos y de motor diésel.

**Figura 29: Gráfico porcentual de costos administrativos para línea de buses en Guayaquil (Elaboración propia)**

Posteriormente, se evalúan costos adicionales como de servicio, suministros y materiales, financieros y por servicios especiales para determinar el costo administrativo fijo (ver Tabla 10).

Tabla 10: Gastos administrativos para funcionamiento de línea de bus en Guayaquil (Adaptado de Tamayo, 2014)

ITEM	COSTO (\$)
Gastos Administrativos	6281.34
Servicios	18220.00
Suministros y materiales	460.00
Gastos financieros	450.00
Servicios especiales	1000.00
Total costos administrativos fijos	26411.34

Con estos datos y sabiendo que el número de unidades previstas para dicho servicio es de 50 vehículos, se puede estimar el costo por km recorrido.

$$C.A \text{ total en } \$ \times km = \frac{\text{Costo total administrativo}}{\text{N}^\circ \text{ total de km recorridos por flota}} \dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

$$\text{Costo administrativo total en } \$ \times km = \frac{26411.34}{135600} = 0.195$$

Del mismo modo, se determinaron los gastos totales para una flota de buses de motor diésel y una de buses eléctricos y se determinó el costo por km recorrido.

Tabla 11: Cuadro comparativo de costos totales por km recorrido para sistema de transporte de buses de motor diésel y eléctricos en Guayaquil (Adaptado de Tamayo, 2014)

COSTOS (\$ X KM RECORRIDO)	BUS DIÉSEL	BUS ELÉCTRICO
Costos administrativos fijos (\$ × km)	0.195	0.195
Costos administrativos variables (\$ × km)	0.002	0.002
Costos de producción fijos (\$ × km)	0.920	3.359
Costos de producción variables (\$ × km)	0.179	0.179
Costo total recorrido (\$ × km)	1.299	3.734
Costo total recorrido (\$/× km)	4.410	12.680

Los resultados del estudio reflejan lo esperado; puesto que se sabe que actualmente los costos de producción serían mucho más altos (casi 3 veces más) que los de un vehículo tradicional. No obstante, con la masificación de esta tecnología se busca disminuir los costos de producción a niveles aceptables para el mercado.

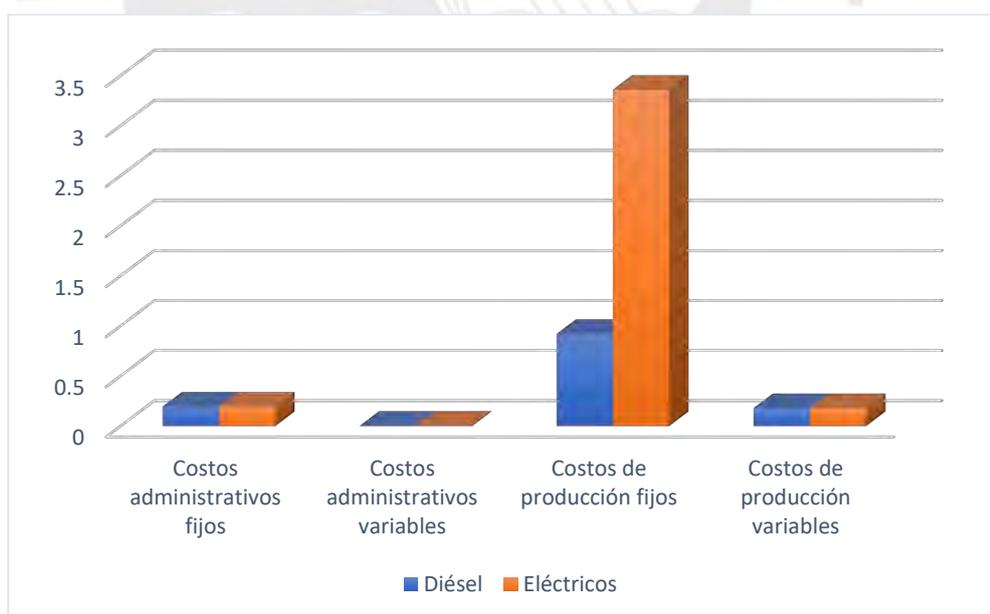


Figura 30: Gráfico de costos totales por km recorrido para línea de buses eléctricos y de motor diésel en Guayaquil (Adaptado de Tamayo, 2014)

- **Perú (Lima)**

Perú también ha decidido optar por la tecnología de vehículos eléctricos en los últimos años. Inició con la exportación de vehículos híbridos privados, pero en los últimos 2 años ha estado invirtiendo en el transporte eléctrico público. No obstante, debido a que el tiempo de implementación aún no es considerable, no contamos con la suficiente cantidad de datos para poder evaluar la factibilidad de este proyecto.

Para el análisis de costos, utilizaremos el modelo de bus eléctrico para el transporte público de Bojórquez. Dicho estudio determinó las principales características de un bus eléctrico de 18 m para cubrir los requerimientos que actualmente presentan los buses articulados a gas natural de la ruta COSAC I. Para poder analizar el modelo desde el enfoque económico, es importante definir las características más relevantes para la correcta operación del vehículo; así como las características necesarias para la selección de los sistemas que se utilizarán (Ver anexos tablas A4).

Adicionalmente, se consideraron las principales características que el recorrido le exigiría al modelo de estudio para poder reemplazar a la actual flota de vehículos articulados a gas (ver Tabla 12).

Tabla 12: Características recorrido de prototipo bus eléctrico (Adaptado de Bojórquez, 2018)

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Recorrido por ciclo	33.9 Km x Ciclos diarios
Recorrido diario	203 km día (aprox 6 ciclos)
Recorrido anual	74175 km (aprox 2190 ciclos)
Ciclos en periodo de análisis	26260 ciclos
Tiempo de vida	2000 ciclos (80% de descarga)
Nº módulos de batería	3 módulos
Tiempo de cambio	Cada 4 años
Consumo de energía	17 kW-h/km
Costo de energía activa	0.218 S/. / kW-h

Con la información del recorrido y los costos de electricidad proporcionados en la fecha de elaboración del estudio, se puede determinar el costo por km que ocasionaría la implementación del modelo.

$$\text{Consumo energético} = \frac{\text{Energía requerida en 1 ciclo}}{\text{Distancia recorrida en 1 ciclo}} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

$$\text{Consumo energético en kW} - \text{h/km} = \frac{51.46}{33.87} = 1.67$$

$$\text{Consumo por km en } \$/\text{km} = \frac{\text{Energía requerida}}{\text{Costo unitario energía eléctrica}} \text{ (Ecuación 4)}$$

$$\text{Consumo por km en } \frac{\$}{\text{km}} = 1.67 = 1.67 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \times 0.07 \frac{\$}{\text{kWh}} = 0.117 \frac{\$}{\text{km}}$$

Finalmente, se determinan los costos parciales y totales para determinar el costo total de todo el modelo (ver Tabla 13).

Tabla 13: Tabla resumen de las características y costos del recorrido de prototipo bus eléctrico (Adaptado de Bojórquez, 2018)

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Tiempo de vida	12 años
Nº ciclos totales	26280
Precio de 2 motores eléctricos Power Phase 950T	\$ 80000
Precio 2 reductores de velocidad	\$4000
Costo de mantenimiento	0.112 \$/km
Costo de energía por km	0.117 \$/km
Adquisición de 1 módulo de batería	\$21120
Tiempo de vida de cada módulo	2000 ciclos
Costo total baterías	274560 ciclos
Costo de sistemas	\$ 358560
Costo de energía	\$ 98994
Costo de mantenimiento	\$ 99692
Costo total periodo de vida	\$ 557246

4.1.2.3. Estudio financiero

El estudio financiero determina el costo de la operación de un proyecto evaluando su rentabilidad. En este ítem se recopila la información de etapas previas para evaluar la rentabilidad del objeto de estudio; utilizando antecedentes, cuadros analíticos, etc. (*Federico, 2018*).

Uno de los factores más determinantes de un estudio de factibilidad es el enfoque económico. El enfoque económico determina si se debería seguir con el proyecto mediante la comparación del costo/beneficios; es decir, si es rentable o no (*Sánchez, 2015*). Se realiza para poder contar con mayores alternativas de inversión puesto que, cuánto más rentable sea el proyecto, mayor será su demanda de posibles inversionistas.

En el caso de los vehículos eléctricos, uno de los principales factores que tiene en contra y que impide en gran medida su expansión es el factor de costo. Como se pudo observar en los análisis de costos de los modelos anteriores, uno de sus elementos más costosos es el de producción

(Ver capítulo 4.1.2.2). Tiene un mayor costo de fabricación de motor y/o batería (ver Figura 29). Como los precios de venta deben de ser capaces de cubrir la inversión inicial de fabricación, es natural que se incremente considerablemente (ver Tabla 14). De la misma manera se produce un recargo de precios para vehículos que requieren mayor potencia y energía como lo son los buses eléctricos.

Tabla 14: Comparación de precios de venta entre vehículos EV e ICEV sin impuestos ventas del año 2016 (Adaptado de Fuel economy, 2016)

CLASE DE EV	VEHÍCULO ELÉCTRICO			VEHÍCULO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA			RECARGO DEL PRECIO (%)
	Fabricante	Modelo	Costo (USD)	Fabricante	Modelo	Costo (USD)	
HEV	Toyota	Avalon Hybrid	36,470	Toyota	Avalon	32,285	12.9
	BMW	Active Hybrid 5	61,650	BMW	528i	49,750	23.9
	Honda	Accord Hybrid	29,155	Honda	Accord	21,955	32.8
PHEV	Chevrolet	Volt	34,170	Chevrolet	Malibú	22,340	52.9
	Honda	Accord Plug-in-Hybrid	39,780	Honda	Accord	21,955	81.2
BEV	Mitsubishi	i-MiEV	22,995	Mitsubishi	Mirage	12,995	76.9
	Chevrolet	Spark EV	26,670	Chevrolet	Spark	12,270	117.3
	Nissan	Leaf	29,010	Nissan	Versa	11,990	141.9

No obstante, con la masificación de esta tecnología se espera una reducción considerable en los costos de fabricación; sobre todo como resultado de la innovación de baterías y el alargue de su vida útil y eficiencia. Bajo este contexto, Latinoamérica tiene una ventaja estratégica al poseer el 50% de los yacimientos mundiales de litio (material necesario para la fabricación de baterías) en el Triángulo del Litio Chile, Bolivia y Argentina (*Frost & Sullivan 2015*). Además, recientemente la minera Macusani Yellowcake descubrió, según sus propias palabras, uno de los mayores yacimientos de litio en Puno y que podría explotarse hacia el 2021 (*RPP, 2018*). Este hecho beneficiaría enormemente a nuestro país y podría ser el catalizador para que se construyeran fábricas de producción de baterías; aminorando aún más los costos a largo plazo.

Otro factor a favor de la reducción de costos de los vehículos eléctricos es la reducción de impuestos y/o incentivos tributarios. Un gran número de países otorgan incentivos para el uso de vehículos eléctricos, que van desde exenciones en las ventas hasta la reducción por impuestos ambientales y de importación. De esta manera se buscaría crear un mercado “incentivo-recompensa” donde se cobrarían impuestos adicionales sobre los automóviles contaminantes y recompensaría a los menos contaminantes. Por ejemplo, en México la estructura tributaria favorece por exención de consumo a los vehículos eléctricos; mientras que en Colombia se reducirían los impuestos por nuevos vehículos (ver Tabla 15).

Tabla 15: Análisis comparativo de condiciones de vehículos eléctricos en Latinoamérica (Edwards, 2018)

	COLOMBIA	MÉXICO	CHILE	BRASIL
GENERACIÓN DE ENERGÍA BAJA EN CARBONO	✓			✓
ESTRATEGIA NACIONAL DE MOVILIDAD ELÉCTRICA			✓	
FALTA DE SUBSIDIOS AL COMBUSTIBLE			✓	✓
INCENTIVOS DE ACCESO POR CARRETERA	✓	✓	✓	✓
POLÍTICAS DE APOYO FINANCIERO Y TRIBUTARIO	✓	✓	✓	
INFRAESTRUCTURA DE CARGA PÚBLICA ADECUADA		✓	✓	
INCENTIVOS DE ELECTRICIDAD		✓		
REGULACIÓN CONSUMO COMBUSTIBLE/EMISIONES DE CO ₂		✓	✓	

Al mismo tiempo, aunque depende de los precios locales, generalmente existe un mayor costo del consumo de combustible que el de electricidad (ver Figura 31). En su mayoría, los vehículos de motor de combustión interna utilizan gasolina, mientras que para los EV se considera que deberían de utilizar la corriente del hogar o trabajo.

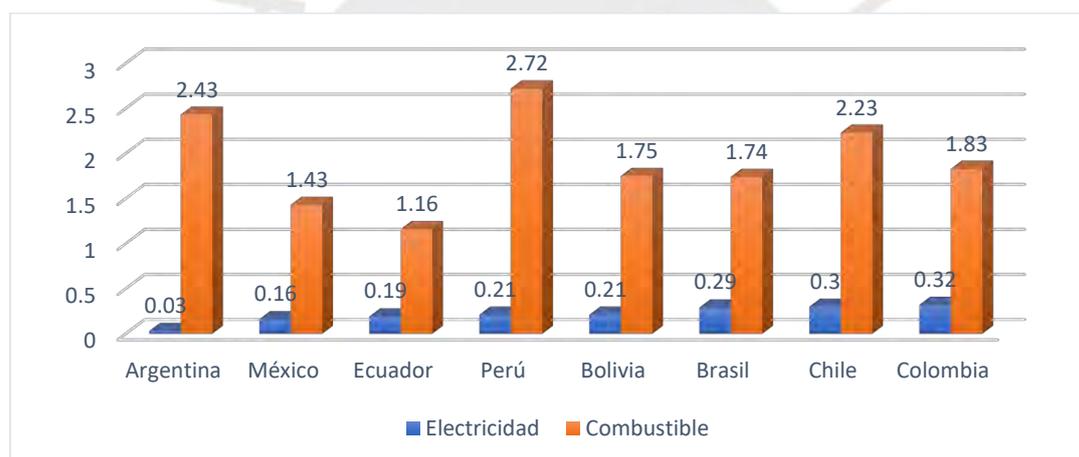


Figura 31: Comparación de precios de venta de combustible y electricidad del año 2016 (Fuel economy, 2016)

En resumen, para impulsar adecuadamente el uso de EV se dependerá en gran medida del apoyo gubernamental para: la implementación de normas de regulación de las emisiones y consumo de combustible y financiamiento para investigación. De esta manera se podría lograr evitar la dependencia energética descarbonando el transporte y cumpliendo con los objetivos establecidos para mitigar el cambio climático (Gómez 2016). En nuestro país aún solo existen proyectos piloto y modelos de estudio; por lo cual basaremos el análisis financiero en 3 ciudades que ya cuentan con la cantidad necesaria de datos:

- **Bogotá (Colombia)**

En la ciudad de Bogotá la municipalidad se encarga de la regulación y control del sistema de Bus de Tránsito Rápido (BRT) llamado Tras-Milenio (ver Tabla 16). El BRT de Bogotá fue el primer proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de transporte registrado a nivel mundial y está monitoreando por sus emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI) desde 2006 (*Grütter, 2014*).

Tabla 16: Tabla resumen de las características de sistema de buses en Bogotá (Adaptado de Grütter, 2014)

BOGOTÁ	
Nº de pasajeros	Aproximadamente 2.3 millones
Nº de buses	4500 unidades
Tamaño de bus	50% medianos (8-11m y de 30-60 pasajeros) 25% estándar (12-14m y de 60-100 pasajeros) 25% articulados (16-18m y de 140-180 pasajeros) 3% biarticulados (24m y de 240-280 pasajeros)
Combustible	Diésel
Normativa europea sobre emisiones (ver capítulo 4.3)	55% Euro II 20% Euro III 3% Euro IV 22% Euro V
Bus alternativo	200 diésel-híbridos estándar (12 m y los híbridos sin plug-in)

- **Shenzhen (China)**

Ubicada al sur de China, la ciudad de Shenzhen cuenta con un sistema de transporte público manejado por City West, City East y Shenzhen Bus Group (*Grütter, 2014*). A partir del año 2018 se decidió cambiar los buses de motor diésel por buses eléctricos y fomentar el uso de energías renovables y lograr reducir hasta 1.35 millones de toneladas de CO₂ anualmente (ver Tabla 17).

Tabla 17: Tabla resumen de las características de sistema de buses en Shenzhen (Adaptado de Grütter, 2014)

SHENZHEN	
Nº de pasajeros	Aproximadamente 6 millones
Nº de buses	Mayor a 10000 unidades
Tamaño de bus	Porcentaje pequeño medianos (8-11m y de 30-60 pasajeros) Mayoría estándar (12-14m y de 60-100 pasajeros)
Combustible	Diésel y Gas Natural Comprimido (GNC)
Normativa europea sobre las emisiones (ver capítulo 4.3)	Euro III Euro IV Euro V Unidades 0 emisión (bus eléctrico)
Bus alternativo	1800 plug-in híbridos estándar (12m) 1300 buses eléctricos

- **Zhengzhou (China)**

La ciudad de Zhengzhou se encuentra ubicada al norte central de China en la provincia de Henan. El transporte público está dirigido por el Gobierno Municipal de Zhengzhou mediante la empresa Zhengzhou Bus el cual monitorea y verifica las emisiones de GEI desde el 2010 (*Grütter, 2014*). Adicionalmente, la ciudad de Zhengzhou alberga a una de las mayores empresas fabricantes de buses eléctricos (ver Tabla 18).

Tabla 18 Tabla resumen de las características de sistema de buses en Zhengzhou (Adaptado de Grütter, 2014)

ZHENGZHOU	
N° de pasajeros	Aproximadamente 3.2 millones
N° de buses	Mayor a 5000 unidades
Tamaño de bus	7% medianos (8-11m y de 30-60 pasajeros) 67% estándar (12-14m y de 60-100 pasajeros) 26% articulados (16-18m y de 140-180 pasajeros)
Combustible	Diésel, GNC y trolebús eléctrico
Normativa europea sobre emisiones (ver capítulo 4.3)	Euro III Euro IV Euro V Unidades 0-emisión
Bus alterno	600 diésel-híbridos estándar 2000 GNC híbridos 200 GNL híbridos 1300 GNC híbridos con plug-in Bus híbrido estándar (12 y 14m) Bus híbrido articulado (18m) 110 bus eléctrico estándar (12m)

Para el análisis y comparación de los buses de motor eléctrico, diésel e híbrido; únicamente se incluyeron los datos correspondientes a los buses híbridos en serie, híbridos en paralelo, híbridos enchufables (plug-in), buses eléctricos con batería recargable. Adicionalmente, el modelo de análisis es un prototipo de bus urbano estándar con un aforo de 80 pasajeros. De dicho análisis se estimó la inversión adicional para la implementación de los sistemas híbrido y eléctrico respecto al sistema de diésel; así como el costo anualizado por km (ver en anexos Tablas A8-A10).

Se analizó la rentabilidad de buses híbridos frente a los buses diésel (Bogotá). Para la comparación se excluyeron los costos de inversión de baterías y se consideró una vida útil de 15 años (ver en anexos Tabla A8). Para la ciudad de Zhengzhou, también se determinó la rentabilidad de los buses híbridos respecto a los de diésel. A diferencia del caso de Bogotá, para esta ciudad se incluyó en el estudio principalmente 2 modelos de bus híbrido: buses híbrido-diésel e híbrido-diésel plug-in (ver en anexos Tabla A9).

Por otro lado, para las ciudades de Shenzhen y Zhengzhou se realizó una comparación entre el modelo de bus eléctrico y el de diésel. Se excluyó a la ciudad de Bogotá debido a que en el momento no contaba con la cantidad suficiente de datos (ver en anexos Tabla A10).

Finalmente, un estudio adicional elaborado por la Agencia Internacional de Energía (IEA) nos muestra la comparación del costo total de propiedad de un bus eléctrico con uno convencional. El estudio se basó en la determinación del costo total de propiedad (Ver Ecuación 5); el cual se refiere a un método de cálculo diseñado para determinar los costes directos e indirectos y beneficios de un producto (*Business Encyclopedia, 2018*).

$$TCO = I + O + M + D + P - RS \dots \dots \dots \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

- I = Costo inicial
- O = Costo de operación
- M = Costo de mantenimiento
- D = Costo de tiempo de inactividad
- P = Costo de producción
- R = Valor restante (tiempo de vida)

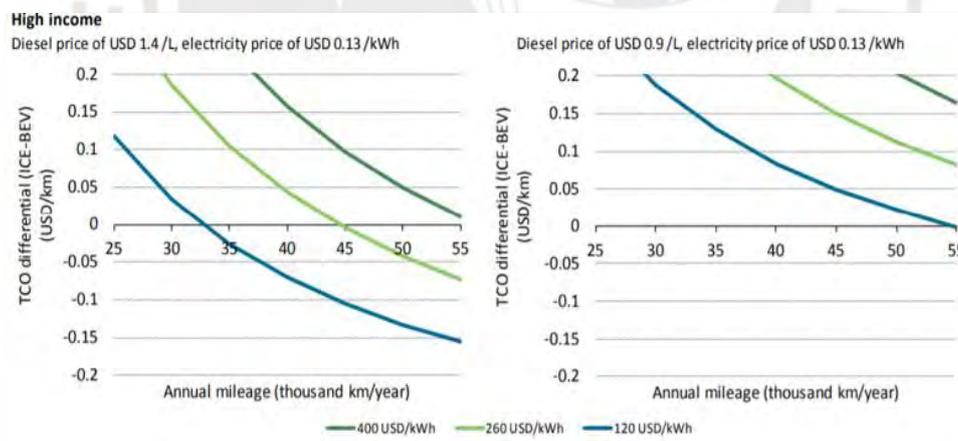


Figura 32: Comparación de diferencia de TCO para buses de motor de combustión (ICE) y buses eléctricos con batería para valores de 1.4\$/L y 0.9\$/L (Global EV Outlook, 2018)

Para el cálculo del TCO consideró una vida útil de diez años, la depreciación de los vehículos (25% por año) y las baterías (35% por año), y una tasa de descuento del 5% para los costos futuros y/o adicionales. Además, se consideraron dos escenarios: ciudades de alto ingreso (ver Figura 32), con un Producto Bruto Interno per cápita (PBI) de \$12,000 o más durante el 2017;

y para ciudades de bajo ingreso (ver Figura 33), con un PBI per cápita de \$995 o menos en el 2017

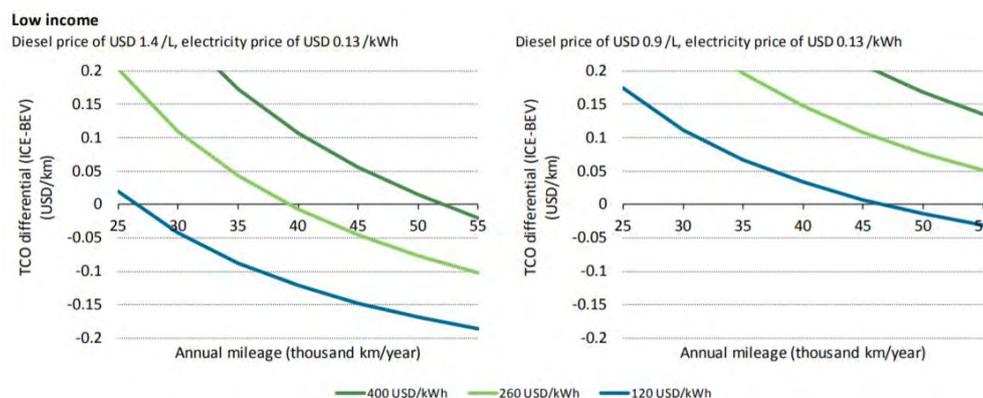


Figura 33: Comparación de precios de venta de combustible y electricidad del año 2016 (Fuel economy, 2016)

4.2. ENFOQUE SOCIAL

La evaluación desde el enfoque social se basa en identificar, medir y valorizar la relación costo/beneficios de un proyecto bajo una óptica social (*Universidad de Chile, 2016*). Es decir, se usa como principal indicador el nivel de satisfacción de una necesidad de la población en análisis; siendo factible si presenta un mayor bienestar en la sociedad comparado con la situación previa (*Uribe, 2016*). Uno de los principales indicadores de satisfacción de la población se basa en el sector transporte.

Los vehículos híbridos y eléctricos incrementan la eficiencia de los sistemas, acercándolos a la meta del transporte sostenible (*Banister, 2007*). Puesto que una de las acciones necesarias consiste en reducir la necesidad de viajar, la inserción de un nuevo modelo de transporte público obligaría a revisar y renovar la infraestructura existente, permitiendo la identificación de errores y posibles mejoras.

Como ya se mencionó en capítulos previos (Ver capítulo 4.1), América Latina podría adoptar políticas que faciliten el ingreso de los vehículos eléctricos sin gastar grandes recursos públicos o privados. El objetivo de dichas políticas es preparar a Latinoamérica para aprovechar los beneficios ofrecidos por estos buses; principalmente porque los costos de fabricación disminuirán en las siguientes décadas (*Gómez, 2016*).

El mayor potencial para expandir la movilidad eléctrica radica en la urbanización; debido a que América Latina es la región más urbanizada del mundo (cerca del 80% de sus ciudadanos

residen en ciudades). La alta tasa de urbanización brinda ventajas para los legisladores que buscan promover el transporte eléctrico, ya que las ciudades necesitarán de nuevas rutas que sean capaces de cubrir su necesidad de transporte (*Gómez, 2016*).

Como se exploró previamente en la determinación de matrices DOFA (ver Capítulo 4.1.1.), otro factor en contra de los vehículos eléctricos es la falta de conciencia social y conocimiento sobre esta nueva tecnología (*Hjorthol, 2013*). Es decir, no se ha difundido lo suficientemente los beneficios; por lo que los usuarios pueden optar por rechazarla ya sea por desconfianza o desconocimiento. La respuesta a este conflicto sería la creación de programas piloto para que los usuarios se familiaricen con su uso.

- **Lima (Perú)**

El transporte público cumple un rol muy importante dentro de las complicaciones que influyen sobre la calidad de vida de una ciudad. De la encuesta realizada por Lima Como Vamos 2019, dentro de los 5 problemas más perjudiciales para la ciudad podemos encontrar en segundo lugar al transporte público y en quinto a la contaminación ambiental (ver Figura 34).

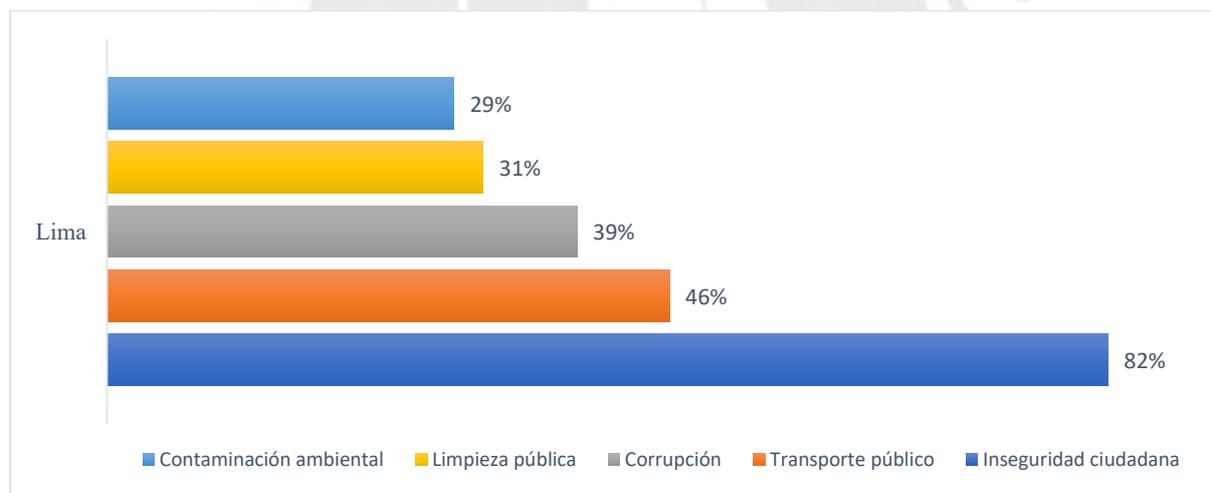


Figura 34: Calificación de los usuarios de los problemas que influyen en la calidad de vida de Lima (Adaptado de Lima Como Vamos, 2019)

El principal modo de movilidad en Lima es el transporte colectivo. Analizando las encuestas de satisfacción de la ciudad encontramos que un gran porcentaje de usuarios califican como ni bueno ni malo el servicio de buses en las regiones de Lima Metropolitana y Callao (ver Figura 35).

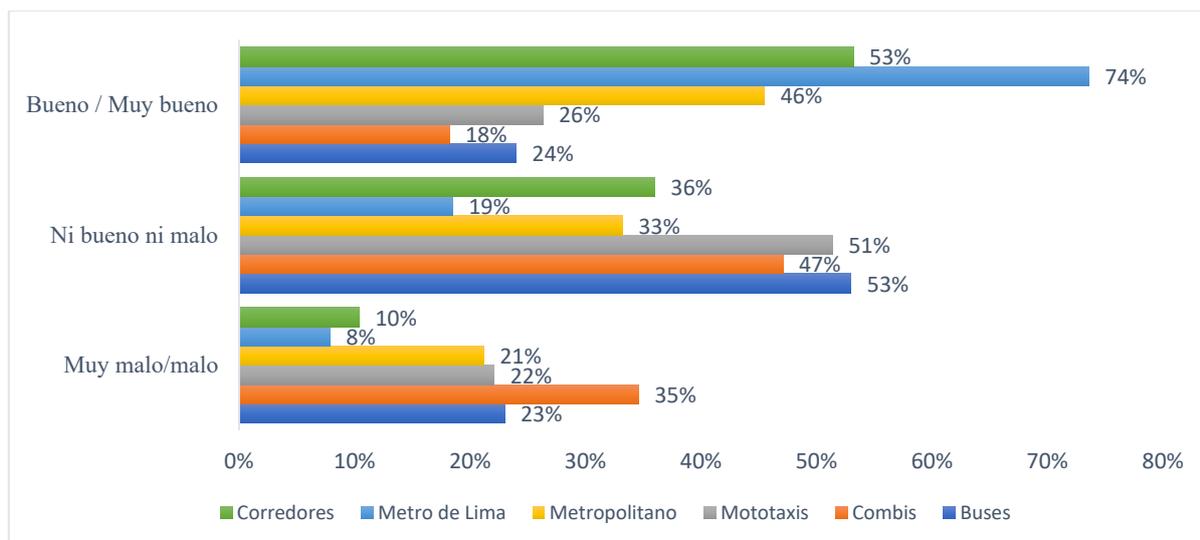


Figura 35: Calificación de los usuarios a diversos medios de transporte público (Adaptado de Lima Como Vamos, 2019)

Por otra parte, analizando la opinión de los usuarios sobre los problemas ambientales de la ciudad, durante el 2019 el 72.3% de los usuarios consideró que el problema más álgido era la contaminación por los vehículos. Como podemos ver en la Figura 36, este problema fue el más relevante desde el 2013 y mantiene la tendencia a través de los años.

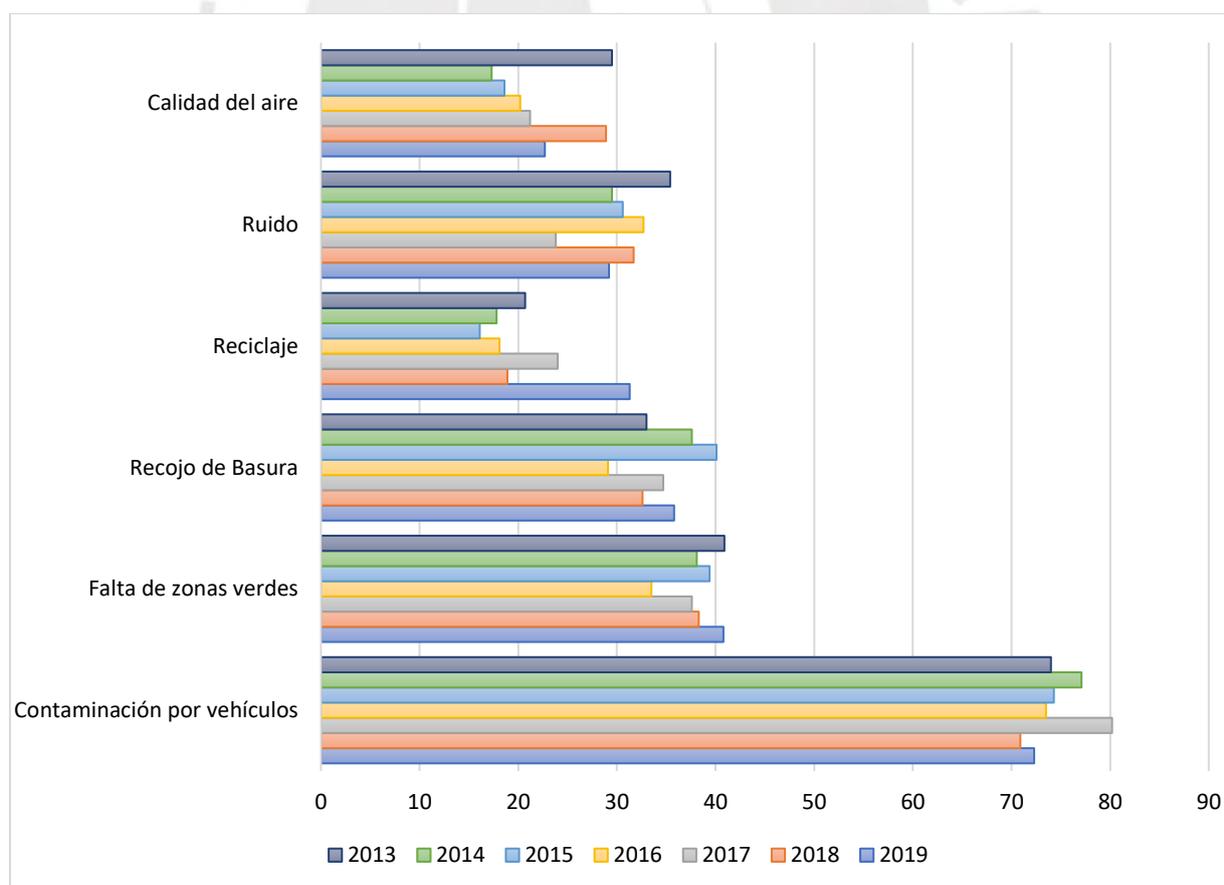


Figura 36: Calificación de los usuarios a los problemas ambientales más graves en porcentaje (Adaptado de Lima Como Vamos, 2019)

Por lo tanto, tomando en consideración el bienestar y opinión de los usuarios, desde el enfoque social el sistema de transporte basado en buses de motor diésel sería el menos adecuado por su alto grado de contaminación (tanto ambiental como acústica); mientras que la implementación de un sistema de buses eléctricos otorgaría un beneficio social en los habitantes al estimular el empleo formal (recolección de tarifas, seguridad, limpieza, servicios de información, mantenimiento, gestión administrativa, etc.) dando lugar a nuevas fuentes de trabajo. Adicionalmente, los nuevos modelos de buses están diseñados para la inclusión de todo tipo de usuario, sobre todo para personas con discapacidad. Los nuevos buses cuentan con un espacio libre con cinturón de seguridad especial para la silla de ruedas y rampas de fácil acceso al bus.

4.3. ENFOQUE AMBIENTAL

Las actividades de transporte respaldan la creciente demanda de movilidad de pasajeros y mercancías, especialmente en las zonas urbanas; por lo que se han traducido en niveles crecientes de motorización y congestión. Como resultado, el sector transporte está cada vez más vinculado a los problemas ambientales.

4.3.1. Evaluación ambiental relacionada al uso de transporte público

La evaluación ambiental es un medio para evaluar un proceso, mediante la identificación y descripción de este, bajo una óptica ambiental sostenible (*Murcia, 2018*). En capítulos previos, hemos visto que una de las principales razones para favorecer el uso de vehículos eléctricos tiene que ver con la contaminación ambiental que generan los vehículos de motor diésel. Analizando la situación actual, tenemos que los sectores de transporte y energía son responsables de un cuarto de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y dos tercios de las emisiones de CO₂ de origen fósil (*PNUMA, 2019*). Por lo tanto, el enfoque de este capítulo consiste en comparar los 3 modelos de estudio (eléctrico, híbrido y motor diésel) para el transporte público de acuerdo con el grado de contaminación que representan. Esto se realizó considerando las limitaciones que presentan los datos disponibles y el salto tecnológico que se avecina.

4.3.1.1. Impactos ambientales relacionados al transporte

Los impactos ambientales asociados al transporte se dividen en tres categorías:

- **Impactos directos.** La consecuencia inmediata de las actividades de transporte en el medio ambiente donde la relación de causa y efecto es generalmente clara y bien entendida. Por ejemplo, se sabe que el ruido y las emisiones de monóxido de carbono tienen efectos nocivos directos (*Rodrigue, 2020*).
- **Impactos indirectos.** Los efectos secundarios (o terciarios) de las actividades de transporte en los sistemas ambientales. A menudo tienen mayores consecuencias que los impactos directos, pero las relaciones involucradas a menudo se malinterpretan y son más difíciles de establecer. Por ejemplo, las partículas, que en su mayoría son el resultado de una combustión incompleta en un motor de combustión interna, están indirectamente relacionadas con problemas respiratorios y cardiovasculares; ya que contribuyen, entre otros factores, a tales condiciones (*Rodrigue, 2020*).
- **Impactos acumulativos.** Las consecuencias aditivas, multiplicativas o sinérgicas de las actividades de transporte. Consideran los diversos efectos de los impactos directos e indirectos en un ecosistema, que a menudo son impredecibles. El cambio climático, con causas y consecuencias complejas, es el impacto acumulativo de varios factores naturales y antropogénicos, en los que el transporte juega un papel. La participación del transporte en las emisiones globales de CO₂ está aumentando y el 22% se atribuyen al sector del transporte; mientras que esta participación es de alrededor del 25% para economías avanzadas como Estados Unidos (*Rodrigue, 2020*).

La estructura de la red de transporte, los modos utilizados y los niveles de tráfico son los principales factores del impacto ambiental del transporte. Las redes influyen en la distribución espacial de las emisiones (por ejemplo, redes centralizadas frente a redes difusas); mientras que los modos se relacionan con la naturaleza de las emisiones y el tráfico con la intensidad de estas emisiones (*Zhang, Long, Chen, & Yang, 2017*). Además de estos impactos ambientales, se deben considerar los procesos económicos e industriales que sustentan el sistema de transporte. Estos incluyen la extracción y producción de combustibles, vehículos y materiales de construcción, algunos de los cuales consumen mucha energía (por ejemplo, el aluminio), y la eliminación de vehículos, piezas y la provisión de infraestructura (*Batista, Anholon, & Gonçalves, 2019*).

Por lo tanto, es probable que la evaluación del vínculo entre el transporte y el medio ambiente, sin tener en cuenta los ciclos en el medio ambiente y en la vida del producto, transmita una visión limitada de la situación e incluso puede conducir a evaluaciones, políticas y estrategias de mitigación incorrectas.

- **Cambio climático**

El efecto invernadero es un componente fundamental de la regulación del clima global y es un proceso natural que implica retener parcialmente el calor en la atmósfera terrestre. Estos incluyen dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), dióxido de nitrógeno (N₂O) y halocarbonos (*Williams, y otros, 2017*), gases que se acumulan en la atmósfera el tiempo suficiente para alcanzar una composición homogénea en todo el mundo. Independientemente de la ubicación su concentración es similar. La cantidad de gases de efecto invernadero convencionales liberados a la atmósfera ha aumentado sustancialmente desde la revolución industrial y, en particular, durante los últimos 25 años (*Anderson, Hawkins, & Jones, 2016*). Los impactos respectivos de los gases de efecto invernadero se complican aún más por las diferencias en su vida atmosférica (o tiempo de residencia), que es el tiempo que pasan en la atmósfera antes de descomponerse o ser absorbidos por procesos biológicos o químicos. Para el CO₂, puede oscilar entre 5 y 200 años, mientras que es de unos 12 años para el metano y 114 años para el N₂O. Para los halocarbonos, como los clorofluorocarbonos, es de al menos 45 años (*Rodrigue, 2020*).

Las actividades de la industria del transporte liberan a la atmósfera varios millones de toneladas de gases de efecto invernadero cada año. No obstante, existe un debate en curso sobre hasta qué punto estas emisiones están vinculadas con el cambio climático, pero el debate se relaciona más con el alcance de estos impactos que con su naturaleza. En este sentido, el aporte del sector transporte ha quedado muy claro como consecuencia de la situación de confinamiento debido al COVID-19 (ver Figura 37), en la que se obtuvo una reducción drástica del 17% en la emisión del CO₂ a nivel mundial y en el cual este sector mostró una reducción del 36% en sus emisiones (*Quéré, y otros, 2020*).

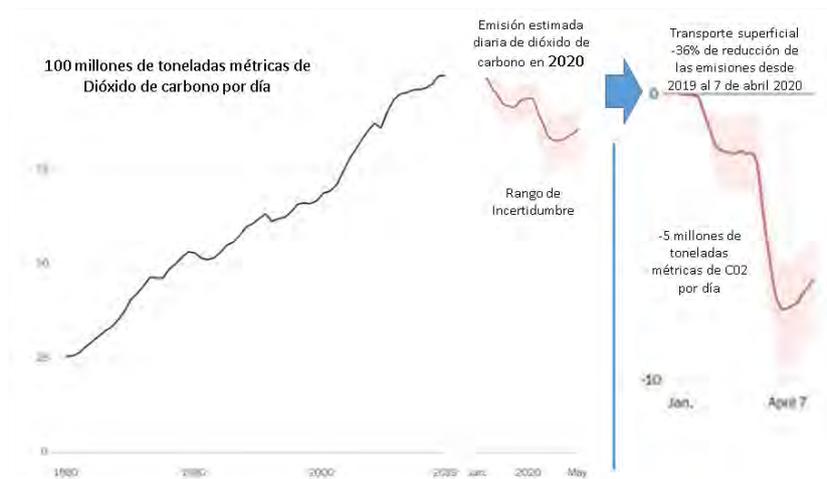


Figura 37: Cambios en las emisiones de CO₂ a nivel mundial y transporte, entre el año 2019-2020 (Adaptado de Quéré, y otros, 2020)

Estos resultados demuestran el impacto que representa el sector transporte en las emisiones de CO₂ a nivel mundial, valores que son certificados por varios estudios. Por ejemplo, la Unión Europea en el 2018 asocia este sector con un aporte del 30% (AEMA, 2020); mientras que en EE. UU. corresponde al 28,2% (EPA, 2019). A continuación se muestran las emisiones de CO₂ relacionadas con el transporte en algunos países de América Latina:

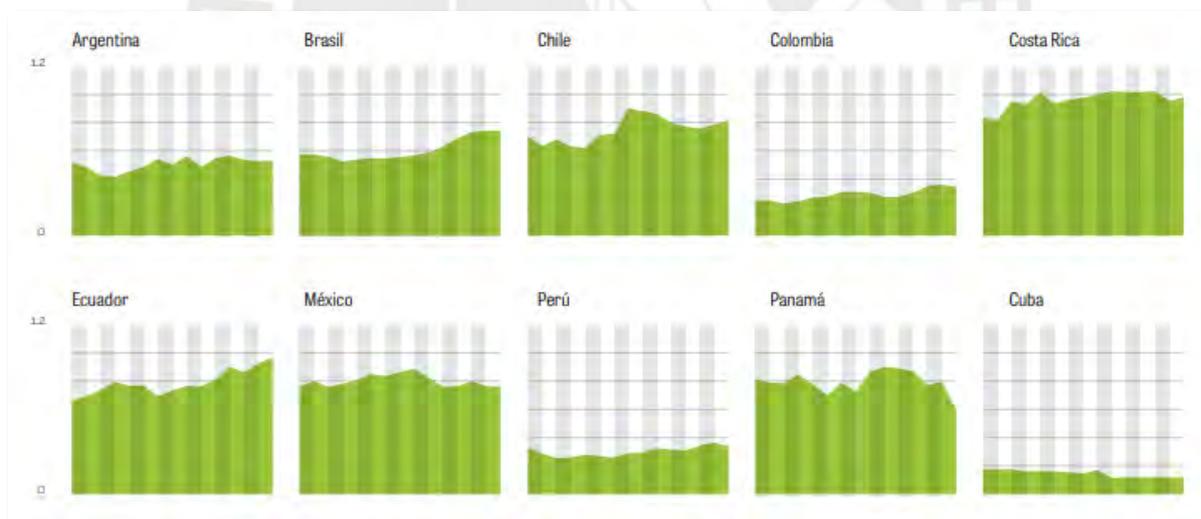


Figura 38: Emisiones en Toneladas de CO₂ relacionadas con el transporte emitidas per cápita entre 2000 y 2014 (Adaptado de Moscoso, Laake, Quiñones, Pardo, & Hidalgo, 2020).

Según se observa en la Figura 38, los países de la región comparten el desafío de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en pro de mitigar el cambio climático, considerando que las emisiones de CO₂ en la región han aumentado en un 50% entre el 2000 al 2016. En algunos países como México los valores se están estabilizando, en Ecuador han aumentado, mientras que Perú es uno de los países con menos emisiones de CO₂ relacionadas

con transporte per cápita; aun cuando se observa un aumento de sus emisiones en los últimos años (*Moscoso, Laake, Quiñones, Pardo, & Hidalgo, 2020*).

Con relación a los medios de transporte, en EE. UU. el transporte público produce emisiones de gases de efecto invernadero por pasajero y milla significativamente más bajas que los vehículos privados. No obstante, el ferrocarril pesado para transporte público (el metro), produce un 76% menos de emisiones de gases de efecto invernadero por milla de pasajero que un vehículo de ocupación individual promedio. Asimismo, los sistemas de tren ligero producen un 62% menos y el tránsito de buses produce un 33% menos (*U.S. Department of Transportation, 2010*). En el Reino Unido, el automóvil de gasolina promedio en la carretera, produce el equivalente a 180 g de CO₂ cada kilómetro, mientras que un automóvil diésel produce 173 g de CO₂ / km (ver Figura 39). En los EE. UU., El vehículo de pasajeros promedio en la carretera libera 650 g de CO₂ / km. (*Timperley, 2020*).

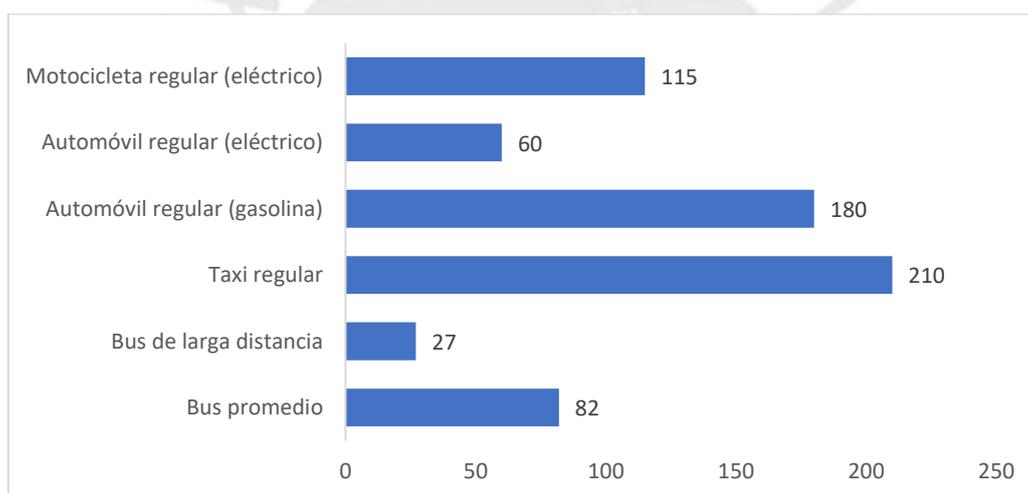


Figura 39: Aporte de CO₂ según el medio de transporte en el Reino Unido en g de CO₂ ep. por Km (Adaptado de Timperley, 2020)

En conclusión, se puede establecer que viajar en automóvil privado o en taxi emite mucho más carbono que hacer un viaje en bus o tren. Estas estimaciones se calculan a partir de los datos de uso de combustible y millas por pasajero, los factores de emisiones estándar para diferentes combustibles y los factores de emisiones de electricidad. Los beneficios ambientales del transporte público varían según el número de pasajeros por vehículo, la eficiencia del bus o tren, y el tipo de combustible utilizado (*Konečný & Petro, 2017*). Investigadores de la Universidad de California en Berkeley han desarrollado una metodología para medir las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de los automóviles y el transporte público. Encontraron que la inclusión de las emisiones de gases de efecto invernadero durante

el ciclo de vida completo aumentaba las estimaciones hasta en un 70% para los automóviles, 40% para los buses, 150% para el tren ligero y 120% para el tren pesado (*Chester & Horvath, 2009*).

Las emisiones de los sistemas de buses varían debido al uso de combustibles bajos en carbono, vehículos más eficientes energéticamente y diferentes entornos operativos (como las emisiones del ciclo de vida libre incluyen una contabilidad completa de todas las emisiones generadas durante la vida completa de un sistema de transporte). Esto incluye las emisiones de construir el sistema de carreteras, fabricar los vehículos, mantener la infraestructura, la producción y uso del combustible, y eventualmente deshacerse de los vehículos y la infraestructura. Los sistemas de transporte público, que dependen de la electricidad de una fuente de bajas emisiones, como la hidroeléctrica, no es sorprendente que tengan emisiones mucho más bajas que aquellos que dependen de la electricidad de las centrales eléctricas de carbón (*Chester & Horvath, 2009*). La Figura 40 muestra que las emisiones totales de GEI del Reino Unido se han reducido en un 32% entre 1990 y 2017, mientras que las emisiones del sector transporte por carretera han aumentado un 6% durante el mismo período. Alrededor de una quinta parte (21%) de las emisiones de gases de efecto invernadero provino del transporte por carretera en 2017:

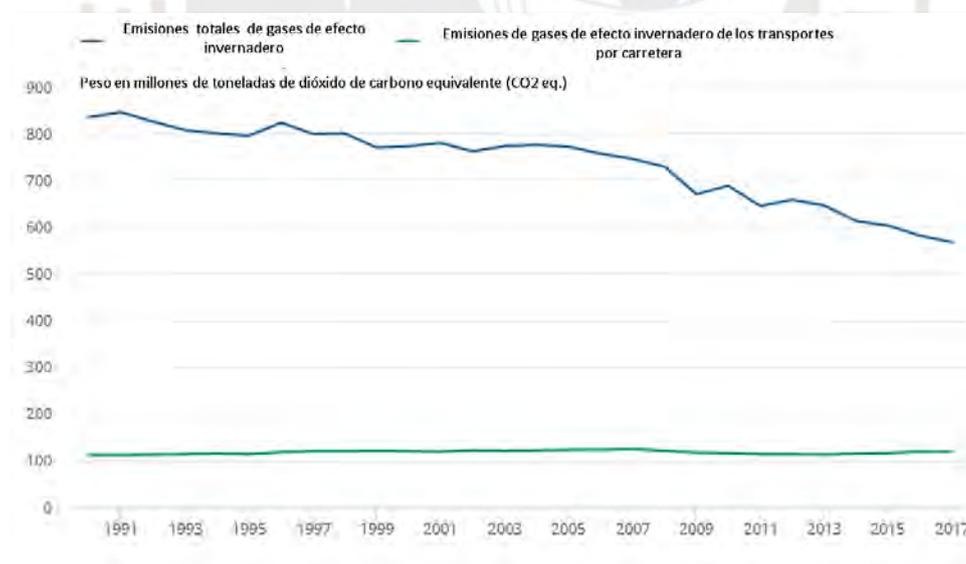


Figura 40: Emisiones de gases de efecto invernadero, transporte por carretera y total, Reino Unido 1990 a 2017 (Adaptado de Clarke & Ainslie, 2019)

Si bien el tráfico por carretera aumentó un 28% entre 1990 y 2017, las emisiones de GEI del transporte por carretera solo aumentaron un 6%; por lo que es probable que esto se deba a las mejoras en la eficiencia del combustible y las emisiones de los vehículos más nuevos (*Clarke & Ainslie, 2019*). Estos resultados se ha sustentado en varios estudios, como por ejemplo en

Nueva Zelanda, el sector del transporte es responsable de producir más del 40% de las emisiones de CO₂ y es la fuente de emisiones de GEI de más rápido crecimiento. Además establece que el transporte de vehículos privados es menos eficiente energéticamente y produce el 65% de las emisiones de CO₂ en comparación con el 15,8% que aporta el sector del transporte público (*Nesheli, Ceder, Ghavamirad, & Thacker, 2017*).

En Perú, se han realizado dos inventarios de emisiones para el parque automotor del área Lima Metropolitana y Callao. Siendo el primero, el Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao 2005-2010 realizado por el Ministerio de Vivienda en el año 2014 y el segundo es el inventario de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana, el cual fue elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en el año 2014.

Tabla 19: Emisiones de GEI provenientes del parque automotor 2000-2025 (Adaptado de MINAN, 2013)

Años	CO (Ton/año)	HC (Ton/año)	NOx (Ton/año)	PM ₁₀ (Ton/año)
2000	535 620	104 220	89 880	14 550
2001	562 930	108 360	94 460	15 290
2002	593 870	112 960	99 660	16 130
2003	629 480	118 180	105 640	17 090
2004	668 480	123 860	112 200	18 140
Proyecciones al...				
2005	668 510	127 000	115 560	18 720
2010	845 560	150 130	141 970	22 980
2015	1 053 550	180 080	176 940	28 660
2020	1 344 370	221 270	225 860	36 600
2025	1 715 580	273 230	288 280	46 730

El MINAN (2013), establece que entre los principales responsables de la contaminación en Lima Metropolitana se encuentran los gases generados por el parque automotor y el porcentaje restante por la industria estacionaria. Asimismo, según el SENAMHI (2014) entre las especies químicas más frecuentes que causan alteraciones en la composición de la atmósfera se encuentran los aerosoles, óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (H_nC_m), ozono (O₃) y dióxido de carbono (CO₂). En este sentido, el CO es el gas con mayor presencia de los GEI, el cual está asociado a los transportes operados con gasolina, sin que se observe reducciones drásticas de este elemento en las proyecciones estimadas para el año 2025.

- **Calidad del aire**

Los medios de transporte son una fuente de contaminación en forma de emisiones de gases y partículas que afectan la calidad del aire y causan daños a la salud humana. Los contaminantes tóxicos del aire están asociados con el cáncer, enfermedades cardiovasculares, respiratorias y neurológicas (*Mangones, Jaramillo, Rojas, & Fischbeck, 2020*). El monóxido de carbono

(CO) cuando se inhala afecta el torrente sanguíneo, reduce la disponibilidad de oxígeno y puede ser extremadamente dañino para la salud pública (*Jiang, Mei, & Feng, 2016*). Una emisión de dióxido de nitrógeno (NO₂) de las fuentes de transporte reduce la función pulmonar, afecta el sistema de defensa inmunológico respiratorio y aumenta el riesgo de problemas respiratorios. Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en la atmósfera forman varios compuestos ácidos que cuando se mezclan con el agua de las nubes crean lluvia ácida (*Rodrigue, 2020*).

- **Calidad del agua**

Las actividades de transporte tienen un impacto en las condiciones hidrológicas. El combustible, las sustancias químicas y otras partículas peligrosas que se desechan de aviones, automóviles, camiones y trenes o de las operaciones de las terminales de puertos y aeropuertos, como el deshielo, pueden contaminar ríos, lagos, humedales y océanos (*Rodrigue, 2020*).

- **Calidad del suelo**

El impacto ambiental del transporte en el suelo consiste en la erosión y la contaminación, así como en la remoción de la superficie de la tierra para la construcción de carreteras o la disminución de las pendientes de la superficie para el desarrollo de puertos y aeropuertos. Han llevado a una pérdida importante de suelos fértiles y productivos. La contaminación del suelo puede ocurrir por el uso de materiales tóxicos por parte de la industria del transporte y los derrames de combustible y aceite de los vehículos de motor se lavan en los lados de las carreteras y entran al suelo (*Rodrigue, 2020*).

- **Biodiversidad**

La infraestructura, como las carreteras, altera las condiciones ecológicas, atraviesa los hábitats naturales y, en consecuencia, reduce las poblaciones de muchas especies de vida silvestre. Los impactos ecológicos de la infraestructura se extienden al paisaje adyacente (*Benítez, Alkemade, & Verweij, 2010*). Las carreteras pueden tener efectos adversos sobre la biodiversidad al aumentar la mortalidad de la vida silvestre por colisiones, fragmentar y degradar el hábitat y crear barreras para el movimiento y la migración de la vida silvestre. Esto puede tener efectos a largo plazo, incluidos cambios evolutivos en las poblaciones de vida

silvestre, la introducción de especies invasoras y la pérdida de servicios ecosistémicos para las comunidades circundantes (*Ghen, 2018*).

Sin embargo, a medida que la población humana siga aumentando, se necesitará más infraestructura de transporte, lo que aumentará el impacto negativo en los ecosistemas a menos que se tomen medidas informadas, por lo que, para mejorar esto, la construcción de infraestructura debe evaluar los impactos desde muchos ángulos diferentes.

En base a lo expuesto previamente, se realizó una comparación entre las tres diferentes tecnologías evaluadas para el transporte urbano, y sus efectos a nivel ambiental (ver Tabla A11). Según se observa en la Tabla A11, los buses que funcionan con electricidad se consideran actualmente la tecnología más ecológica que existe en el mercado. Dependiendo de la fuente de electricidad, producen al menos un 50% menos de CO₂ que los buses diésel y no tienen emisión de contaminantes locales (*Civitas, 2020*). Por lo que, si la calidad de la electricidad mejora (considerando las fuentes de energía en el Perú), automáticamente esta opción se volverá más limpia para el medio ambiente. Dado que los buses tienen una vida media de unos 12 años, los vehículos que se compren hoy permanecerán en funcionamiento hasta al menos el año 2025. Por lo tanto, si se quieren alcanzar los objetivos ambientales establecidos para el año 2050, que corresponde a una reducción del 20% de GEI (*Ministerio del Ambiente, 2018*), es necesario que se hagan los cambios requeridos en este momento.

Las ventajas ambientales asociadas a un bus eléctrico se asocian no solo con el potencial de reducción de emisiones de CO₂ (ver Tabla A11), sino con la minimización del uso de combustible fósil. Muchas veces la selección de tecnologías se sustenta principalmente en los costos y se da poca importancia a los efectos en las emisiones de GEI, y aunque, los buses eléctricos presentan un costo superior al transporte diésel (aproximadamente el doble), las emisiones contaminantes asociadas a este tipo de transporte pueden conllevar a consecuencias tanto en la salud de la población como en los ecosistemas y medioambiente, cuyos costos asociados a largo plazo son incuantificables. Por lo tanto, los principales criterios de selección deberían ser las emisiones de CO₂ y el consumo energético, así como la posibilidad de utilizar combustibles renovables (biocombustibles o electricidad renovable).

Las emisiones de carbono negro son la segunda influencia de calentamiento más fuerte en la atmósfera, y los estudios muestran que frenar estas emisiones puede ralentizar el calentamiento atmosférico esperado para el 2050. Además, el carbono negro es un componente de una clase

de contaminantes del aire llamado material particulado, y ha sido identificado recientemente como un contribuyente significativo al cambio climático global; sin considerar la variedad de enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas a esta sustancia (*Bond, y otros, 2013*). Por tanto, es muy importante poner en marcha proyectos con tecnologías que puedan dirigir al país al logro de estos objetivos, donde la implementación de estos proyectos debería comenzar a más tardar para el año 2035 de forma que se puedan percibir los resultados estimados en los próximos años. En este sentido, se espera que a través de los hallazgos obtenidos en el presente estudio, sea considerado de alto valor para la selección de las tecnologías de transporte urbano; el impacto ambiental asociado con su uso, tanto a corto, mediano y largo plazo.

No obstante, en pro de favorecer la implementación de vehículos eléctricos; Perú debe adoptar políticas y programas que incluyan mandatos e incentivos para vehículos de emisión cero, respaldar la transición de todos los modos de transporte a vehículos de emisión cero, invertir en infraestructura de carga inteligente y garantizar el desarrollo de políticas y regulaciones para maximizar el impacto económico, social, ambiental y beneficios operativos de la movilidad eléctrica para los sectores de transporte y energía.

4.3.1.2. Normativa relacionada con la contaminación vehicular

La contaminación vehicular está asociada al cambio climático, por lo que es una de las principales prioridades de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y se ha convertido en un desafío para muchas organizaciones y foros que se ocupan de la mitigación y adaptación al cambio climático. También existe un entendimiento común sobre la necesidad de aumentar la capacidad de los países para hacer frente a este desafío, para lo cual se ha desarrollado a nivel mundial la siguiente normativa:

- Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), en particular el ODM 7 para garantizar la sostenibilidad ambiental
- El Protocolo de Kioto
- Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas A / RES / 63/32, titulada "Protección del clima global para las generaciones presentes y futuras".
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): El transporte es uno de los sectores objetivo donde se requieren intervenciones públicas efectivas para reducir las emisiones de CO₂ y donde se necesitan medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad a los cambios climáticos. Existe un acuerdo generalizado

para reducir las emisiones de CO₂ del transporte en un mínimo del 50% a más tardar en 2050.

En una serie de conferencias internacionales, los ministros de transporte han abordado la necesidad de reducir el CO₂ (*UNECE, 2020*) y mejorar la eficiencia del combustible en el sector del transporte, principalmente a través de:

- Tecnologías de vehículos innovadoras, sistemas avanzados de gestión del motor y sistemas de propulsión de vehículos eficientes;
- Uso de biocombustibles sostenibles, no solo de primera generación (aceite vegetal, biodiésel, bioalcoholes y biogás de plantas azucareras, cultivos o grasas animales, etc.), sino también de la segunda (biocombustibles de biomasa, cultivos no alimentarios incluidos madera) y tercera generación (combustibles biodegradables a partir de algas);
- Una infraestructura de transporte mejorada junto con Sistemas de Transporte Inteligentes (STI) para evitar la congestión del tráfico y fomentar el uso del transporte intermodal (carretera, ferrocarril y vías navegables);
- Información al consumidor (campañas de conducción ecológica, uso del transporte público y transporte modal, etc.);
- Instrumentos legales (como incentivos fiscales para productos y procesos bajos en carbono, impuestos sobre productos y procesos intensivos en CO₂, etc.).

En Perú, se han emitido varias normativas asociadas con la emisión de contaminantes vehiculares, entre las que se destacan:

Tabla 20: Normativa peruana relacionada con la contaminación vehicular

Descripción	Norma
Eliminación del plomo de la gasolina	Perú, Congreso de la República. Decreto Supremo N.º. 039-2014-EM: Aprueban Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos. Lima: Congreso de la República; 2014.
Reducción del contenido de azufre en el diésel	Perú, Congreso de la República. Ley N.º. 28694: Ley que regula el contenido de azufre en el combustible diésel. Lima: Congreso de la República; 2006
Obligatoriedad de las revisiones técnicas vehiculares	Perú, Congreso de la República. Ley N.º. 29237: Ley que crea el Sistema Nacional de Inspecciones Técnicas Vehiculares. Lima: Congreso de la República; 2008.
Estándares nacionales de calidad ambiental del aire (ECA)	Perú, Congreso de la República. Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire. Presidente De La República, 2008
Asegurar que las actividades, proyectos y servicios del Sector Transportes se ejecuten salvaguardando el derecho de las personas a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado.	Perú, Reglamento de Protección Ambiental para el Sector Transportes DECRETO SUPREMO N.º 004-2017-MTC. Presidente De La República, 2017
Límites Máximos Permisibles – LMP para emisiones contaminantes de vehículos automotores	Perú, Congreso de la República. Decreto Supremo 010-2017-MINAM, que establece límites máximos permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores Lima: Congreso de la República; 2017.

Reducir los índices de accidentabilidad y mejorar la calidad del ambiente promoviendo la renovación del parque automotor con vehículos nuevos, mediante el chatarreo de vehículos de la categoría M1 de encendido por compresión y por chispa	Perú, Congreso de la República. DECRETO SUPREMO N.º 028-2011-MTC Aprueban el Reglamento del “Programa para la Renovación del Parque Automotor”. Presidente De La República, 2011
---	--

En los últimos años se ha hablado de prohibir la circulación de vehículos que infrinjan la normativa mínima referente a los niveles de contaminación. Esta tendencia, que predomina en los países de mayor desarrollo, fue adoptada con la finalidad de enfrentar dos problemas cada vez más urgentes: la contaminación atmosférica y el cambio climático. Estos países optarían por acatar la normativa internacional de regulación “Euro” (ver Tabla 21). Esta normativa europea creada en 1987 se refiere a las acciones a tomar para disminuir/eliminar los elementos contaminantes del sector automotriz por medio de la implementación de medidas restrictivas (*Confilegal, 2017*). Por lo tanto, dependiendo del tipo de vehículo y según su tipo de motor se le asignaría una normativa a cada tipo de vehículo.

Tabla 21: Límites de emisiones por contaminante en la Unión Europea en g/km (Confilegal, 2017)

DIÉSEL						
TIPO	FECHA	CO	HC	HC + NO _x	NO _x	PM (PPM)
Euro I	Julio 1992	2.72 (3.16)	–	0.97 (1.13)	–	0.14 (0.18)
Euro II	Enero 1996	1.0	–	0.70	–	0.08
Euro III	Enero 2000	0.64	–	0.56	0.50	0.05
Euro IV	Enero 2005	0.50	–	0.30	0.25	0.025
Euro V	Septiembre 2009	0.50	–	0.23	0.18	0.005
Euro VI	Septiembre 2014	0.50	–	0.17	0.08	0.005

En conjunto con esta normativa, en algunos países como España, se ha optado por utilizar adhesivos de colores en las lunas de los vehículos de acuerdo con los tipos impositivos y restrictivos en circulación por núcleos urbanos que le corresponde (ver Tabla 22). Debido a que las categorías más altas presentarán mayores beneficios, tanto fiscales como de circulación, se podrá tener un mejor control de los vehículos dentro de la ciudad.

Tabla 22: Tabla comparativa de categorías establecidas por la Dirección General de Tráfico de España (DGT) (Adaptado de Confilegal, 2017)

CATEGORÍA	TIPO DE VEHÍCULO
Categoría Cero (azul)	Vehículos 100% eléctricos o vehículos híbridos enchufables con autonomía homologada mayor igual a 40
Categoría Eco (verde/azul)	Demás vehículos híbridos y de gas natural o GLP.
Categoría C (verde)	Vehículos de gasolina de Euro 4, euro 5 y Euro 6, y de diésel de Euro 6
Categoría B (amarilla)	Vehículos de gasolina Euro 3, diésel de Euro 4 y diésel de Euro 5.
Sin distintivo	Vehículos más antiguos (sobre todo de diésel)

Adicionalmente, durante la COP21, alrededor de 175 países (incluyendo el Perú) acordaron disminuir su nivel de emisiones GEI; por lo que dejar los combustibles fósiles debería ser una de las primeras acciones mitigantes. En el Perú, a través de Decreto Supremo N° 047-2001-MTC se establecieron los Límites Máximos Permisibles (LMP) de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial, descritos a continuación:

Tabla 23: LMP para vehículos en circulación a nivel nacional para su aplicación inmediata (Adaptado del Decreto Supremo N° 047-2001-MTC)

Vehículos mayores a gasolina		Gas licuado de petróleo y gas natural (livianos medianos y pesados)		
Años de fabricación	CO% de volumen	HC (ppm)	CO+CO2 % (mínimo)	
Hasta 1995	3,0	400	10	
1996 en adelante	3,0	300	10	
2003 en adelante	0,5	100	12	
Vehículos menores con motor de cuatro tiempos que usan gasolina como combustible				
volumen desplazamiento nominal cc	CO% de volumen	HC (ppm)		
Mayores de 50 cc	4,5	1800		

Estos límites tienen como objetivo reducir los niveles de contaminación que están presentes en las ciudades, generados por los motores de los vehículos como consecuencia de un manejo inadecuado y la falta de mantenimiento de estos.

4.3.1.3. Opciones de mitigación de contaminación vehicular

Cuando el Perú pasó a ser parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se comprometió a colaborar con los demás miembros a alcanzar los objetivos bajo los cuales fue fundada. Esto implicaría afrontar el problema ambiental del cambio climático con sus respectivas consecuencias sobre la economía, sociedad y ambiente. En base a lo anteriormente expuesto, los países signatarios de la CMNUCC acordaron adoptar y ratificar el Acuerdo de París. Como parte fundamental de este acuerdo, se pidió la elaboración de un documento llamado NDCs (Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional) mediante el cual los países demostraran los esfuerzos nacionales que llevarían para: mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2°C y fortalecer la adaptación a los efectos adversos del cambio climático (*Ministerio del Ambiente, 2016*).

A pesar de que el Perú es un país de bajas emisiones per cápita y totales; puesto que solo representa un 0.3% sobre el total de emisiones de GEI mundiales, presenta 7 de las 9 características reconocidas por la CMNUCC que califican a un país como “particularmente vulnerable”. En respuesta a esta situación se ha venido ejecutando proyectos e iniciativas que permitan la transformación de la matriz de consumo y generación energética nacional y la incorporación de energías renovables; como parte de las acciones complementarias de mitigación y adaptación. Las NDCs nacionales se construyeron a partir de la recopilación de información y trabajos realizados desde el 2003; aunque únicamente tendrán carácter definitivo después del 2020 cuando entre en vigor el Acuerdo de París (*Ministerio del Ambiente, 2016*).

Por lo tanto, en el tiempo restante, se deberá de actualizar las propuestas de las NDCs con los compromisos derivados de los nuevos acuerdos sobre el cambio climático.

El desarrollo de las NDC peruanas incluye, más allá de estas acciones de mitigación, el establecimiento de estrategias de adaptación al cambio climático en sectores críticos (por ejemplo, agricultura y pesca). No obstante, a pesar de los esfuerzos del gobierno varios estudios destacan que las NDC auto declaradas por los países carecen en muchos casos de transparencia y presentan discrepancias en términos de año de referencia, métricas y otras opciones metodológicas (*Iyer, y otros, 2017*).

En el caso de Perú, por ejemplo, se utilizó un conjunto de escenarios de modelado ascendente para determinar el comportamiento de las emisiones de GEI en cada sector, y la mayoría de estos escenarios de modelado se calcularon mediante estadísticas regresiones y estudios sectoriales input-output. A partir de entonces, estos fueron agregados con una serie de parámetros, como el PIB y el crecimiento de la población (*Vázquez, Kahhat, Larrea, & Ziegler, 2019*).

Las NDCs peruanas contemplan disminuir las emisiones de GEI esperadas para el 2030 aproximadamente un 30% utilizando un escenario *Business as Usual (BaU)* el cual se basa en el supuesto que el funcionamiento y parámetros serán iguales en un futuro que en la actualidad (*IPCC, 2017*). La propuesta de nuestro país consiste en reducir las emisiones de manera elativa a una línea base de BaU iniciando en el 2010 y terminando para el 2030 (ver Figura 41).

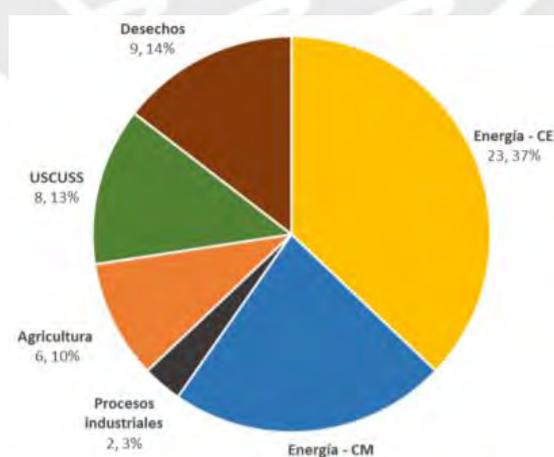


Figura 41: Distribución de las medidas de mitigación de acuerdo con los sectores de emisiones de GEI
(Adaptado de Ministerio del Ambiente, 2016)

La NDC en mitigación se dividió entre los sectores de Energía, Transporte, Procesos Industriales, Agricultura, Desechos y Uso de Suelo, Cambio en el Uso del Suelo y Silvicultura. Hasta el momento se han presentado diferentes opciones de mitigación para el sector transporte, con el fin de alcanzar las metas establecidas en cuanto a la reducción de emisiones de GEI para el 2030 (ver Figura 42).

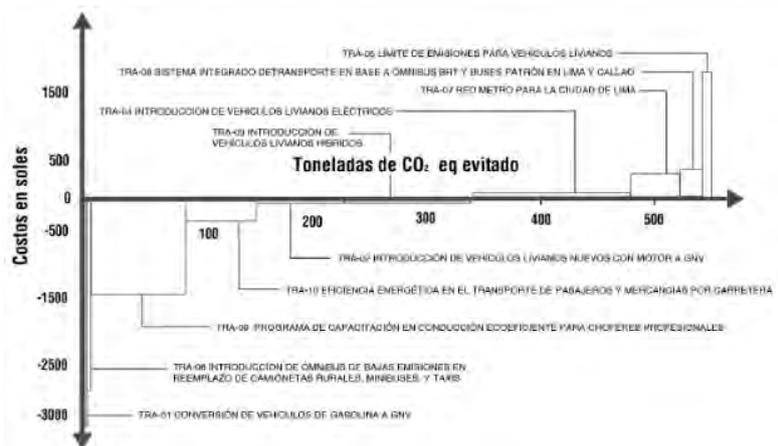


Figura 42: Sectores de emisiones y sus componentes (Adaptado de Informe Final del GTM-NDC, 2018)

Como podemos ver en las figuras 42 y 43, dentro del plan de mitigación de nuestro país se ve integrado un futuro uso de vehículos eléctricos y de una mejora de la red eléctrica que le serviría como fuente de alimentación. El Perú tiene el compromiso de alcanzar una reducción de emisiones de GEI del 20% (un 10% adicional si se cuenta con financiamiento internacional) para el 2030 (*Ministerio del Ambiente, 2018*). Por lo tanto, en los siguientes periodos sucesivos de cinco años, nuestro país debería aumentar el alcance de los NDC, mejorar su información técnica e incorporar y mejorar sus iniciativas de mitigación.

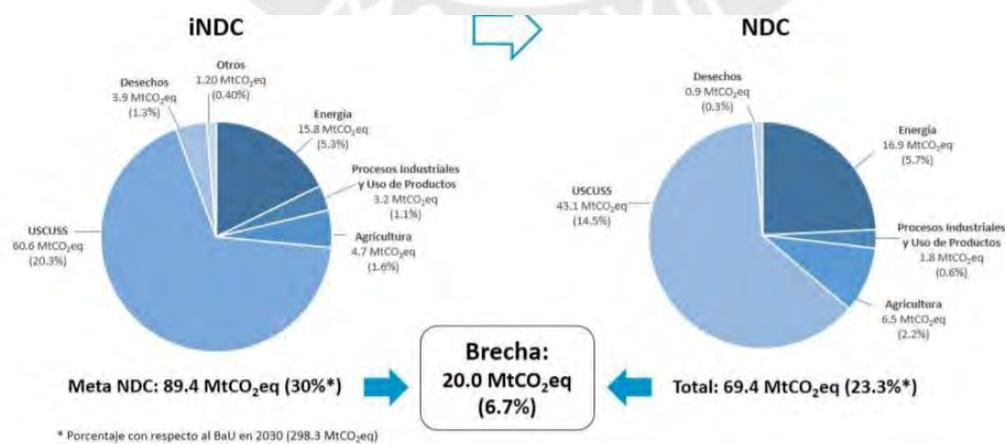


Figura 43: Variación del potencial de reducción de emisiones de GEI de las medidas de mitigación de la iNDC a la NDC (Adaptado de Informe Final del GTM-NDC, 2018)

El MINAM ha fijado un total de 10 NDC en el sector transporte, con diferentes objetivos desde mejorar la eficiencia de la conducción hasta la implementación de sistemas integrados de transporte en la ciudad de Lima, sin embargo, se propone una NDC ambiciosa para reducir 1,27 Mt CO₂ equivalentes vinculado a la apertura de las líneas 2-4 del metro (es decir, NDC T10) (*Vázquez, Kahhat, Larrea, & Ziegler, 2019*). Sin embargo, debido a los avances en la construcción del metro hasta la fecha, se considera poco probable que se logre su implementación antes del año 2030.

Entre las contribuciones del Estado peruano dirigidas a cumplir los acuerdos sobre Mitigación, Adaptación, Financiamiento, Innovación y Transferencia Tecnológica y Formación de Capacidades frente al cambio climático tomados en la Conferencia de París en el año 2015, se contempló en el rubro Transporte el interés nacional por el uso de la bicicleta como medio de traslado. Asimismo, se estableció la prioridad de establecer la red básica del Metro de Lima, el Corredor segregado de Alta capacidad, el COFIGAS vehicular para financiar la conversión de la energía vehicular a gas natural y el Programa de Chatarreo. Sin embargo, a la fecha no existe programa de incentivos para la introducción en el mercado de vehículos semi o totalmente eléctricos para el transporte masivo y personal (*Tapia, 2018*).

4.3.2. Transporte eléctrico

En los siguientes años, la conversión de buses diésel a eléctricos, traerá beneficios al Perú dado que se reducirá en gran medida la dependencia de los combustibles fósiles y se disminuirá la contaminación ambiental, considerando los siguientes aspectos ambientales (*ITDP, 2018*):

- Los buses eléctricos consumen un 72,9% menos de energía que los buses diésel.
- En promedio por año, los buses eléctricos emiten 67,02 kg de CO₂ cada 100 km, en comparación con los vehículos diésel que emiten 129,91 kg, lo que corresponde a una tasa de reducción de alrededor del 48%.
- En cuanto a la emisión de contaminantes gaseosos que causan smog, como CO, compuestos orgánicos volátiles (COV), NO_x y material particulado (MP), el Estudio de Promoción Demostrativa y Modelo de Negocio de Autobuses de Nuevas Energías señaló que durante su ciclo de vida, las emisiones anuales de los vehículos diésel promedian 1146 kg. En comparación, los vehículos eléctricos emiten solo 279 kg al año, lo que representa una reducción del 75% en las emisiones, mientras que los

vehículos híbridos enchufables emiten 895 kg al año, lo que representa una reducción del 22%.

Para calcular el impacto medioambiental de los vehículos de nueva energía, el método convencional consiste en calcular la producción estándar de dióxido de carbono multiplicando el consumo de energía por 100 kilómetros por el factor de emisión de carbono. Sin embargo, hay muchos tipos diferentes de vehículos de nueva energía, cada uno con un método diferente para medir las emisiones de los vehículos, así como un consumo de energía diferente según la ubicación. Por tanto, los resultados de los cálculos serían bastante variados (ITDP, 2018). Según el “Estudio de demostración de promoción y modelos de negocios de buses de nuevas energías 2019”, un bus de emisiones de categoría 4 (de 4-12m de largo y rendimiento de 38L/100km) emite 1103g de CO₂ por km; mientras que un bus eléctrico (categoría estándar y uso de la red eléctrica nacional China) consume 943g de CO₂ por km y un bus híbrido enchufable consume 870g (ver Figura 44).

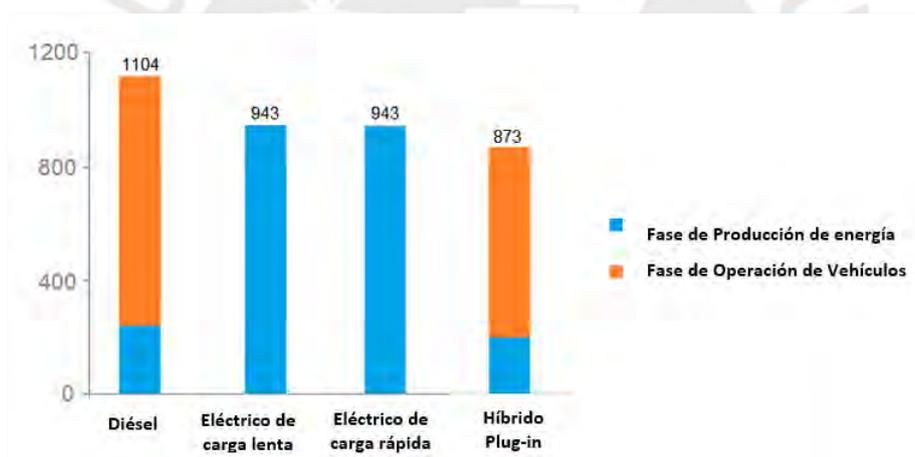


Figura 44: Emisiones de CO₂ por km (Adaptado de ITDP, 2018)

En el contexto peruano, se realizó un estudio sobre las emisiones totales de GEI consideradas para los diferentes escenarios de movilidad en la ciudad de Lima en el período 2015-2030 con base en diferentes niveles de penetración del transporte público y vehículos eléctricos (VE) en el sistema de transporte (ver Figura 45), en el cual, la Proyección A considera un crecimiento lineal del número de vehículos de pasajeros en Lima, mientras que la Proyección B se basa en proyecciones proporcionadas por ARAPER, la Asociación Automotriz del Perú. El escenario S1 supone una penetración muy baja de vehículos eléctricos en la flota de la Capital peruana. El escenario S2 prevé una reducción en el uso actual de vehículos debido a una mejora en el sistema de transporte público y una baja penetración de vehículos eléctricos. El escenario S3

asume una tasa de adopción de vehículos eléctricos similar a la de otras naciones de la región de LAC (Latinoamérica y el Caribe), considerando que el Escenario S3b supone una mayor proporción de vehículos eléctricos en los vehículos nuevos que ingresan a Lima, siguiendo el ejemplo de países como Noruega (Cárdenas, Kahhat, Vázquez, & García, 2017).

Sin embargo, aunque la implementación de NDC T8 considera la inclusión de hasta 35,000 vehículos eléctricos por año para 2030 en el período 2017-2030 y una reducción de 0.19 Mt CO₂ equivalentes para 2030, aún no se ha promulgado una legislación para regular el ingreso de vehículos eléctricos a Perú (MINAM, 2018).

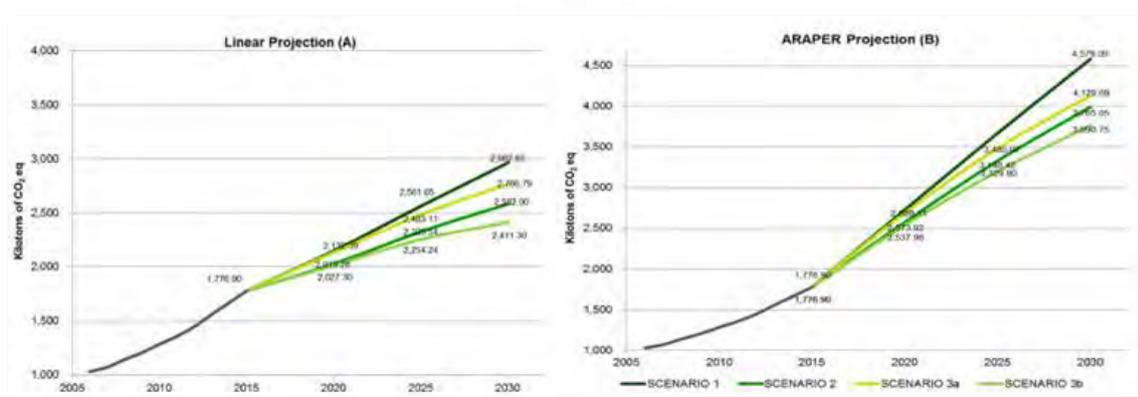


Figura 45: Emisiones totales de GEI consideradas para los diferentes escenarios de movilidad en la ciudad de Lima en el período 2015-2030 con base en diferentes niveles de penetración del transporte público y vehículos eléctricos (VE) en el sistema de transporte (Adaptado de Vázquez, Kahhat, Larrea & Ziegler, 2017)

De los resultados analizados, se puede establecer que la adopción de una alta tasa de vehículos eléctricos en Lima sería el escenario más beneficioso siempre que un transporte público mejorado reduzca la cantidad de uso del automóvil de pasajeros. De hecho, un aumento en el uso del transporte público tendría un mayor impacto en la mitigación de emisiones de GEI. Los vehículos eléctricos se identifican como una solución clave hacia un transporte público completamente libre de fósiles, y un trampolín hacia la sostenibilidad. Asimismo, se ha encontrado que los impactos ambientales son menores en los buses eléctricos comparados con los buses con motores de combustión interna si funcionan con electricidad renovable.

Como podemos ver, las políticas tanto nacionales e internacionales estarían favoreciendo la implementación del uso de buses eléctricos. No obstante, también se debe de analizar la contaminación que genera el bus eléctrico como unidad antes de considerarlo como una opción viable en comparación con sus contrapartes de motor diésel e híbrido. Debido a que fueron de los primeros modelos en introducirse para el transporte público, se han realizado estudios comparativos del ahorro que representa el uso de buses híbridos frente a los buses

convencionales (ver Tabla 24). Si bien los estudios nos presentan ahorros considerables, los buses actuales presentarán un valor aún más alto. Esto se debe principalmente a que gran parte de los estudios se realizaron basándose en la primera generación de buses híbridos; puesto que eran los únicos que tenían la suficiente información para realizar un análisis comparativo.

Tabla 24: Rendimientos reportados de Buses Híbridos (Adaptado de Grütter, 2015)

UBICACIÓN	AHORRO DE COMBUSTIBLE	CONSIDERACIONES
Alemania	10-20%	Basado en 60 buses híbridos articulados con unidades diésel de ruta similar a la analizada
Londres (Reino Unido)	35-45%	Basado en buses híbridos de 2 pisos
América Latina	15-35%	Basado en ensayos de 2 días en las ciudades de Santiago de Chile, Río de Janeiro, Sao Paulo y Bogotá
Nueva York (Estados Unidos)	20-30%	Buses híbridos relativamente antiguos y uso del aire acondicionado en los meses de verano

No obstante, a pesar de que se utilizan los estudios de otros países como marcos de referencia, los datos principales a utilizar serían los correspondientes a Colombia y China; la primera por tener una realidad muy similar a la nuestra, y la segunda debido a la antigüedad del sistema y de sus avances. Se utilizó la evaluación ambiental de los modelos de buses de las ciudades de Bogotá y Zhengzhou (Ver capítulo 4.1.2.3). En el caso de Bogotá, la comparación se realizó entre buses estándar de categoría Euro V: bus híbrido de diésel y bus de motor diésel (**Grütter, 2015**). Además, estos vehículos no cuentan con aire acondicionado (AC); por lo cual, su rendimiento es constante durante todo el año (ver en anexos Tabla A12).

Basándose en los métodos del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (ver en anexos Tabla A13), se determinó la cantidad de emisiones de GEI multiplicando el Valor Calorífico Neto (NCV) del combustible utilizado por su factor de CO₂ por emisiones. Conjuntamente, se determinaron las emisiones directas causadas por el vehículo “*tank to wheel*”. Un análisis Well to Tank, se refiere a la ruta de un combustible a base de petróleo desde la extracción del petróleo crudo hasta la fabricación final de dicho combustible. Por otro lado, el análisis Tank to Wheel, se refiere a la combustión real de un combustible dentro de un vehículo para generar fuerza motriz. Finalmente, cuando se combinan ambos análisis, se produce el análisis Well to Wheel (**Jacobs Consultancy, 2011**). Dichas emisiones causadas por los combustibles fósiles (ver en anexos Tabla A14) influyen las emisiones aguas arriba, de refinería, transporte y las indirectas por su uso (**Grütter, 2015**).

En la ciudad de Zhengzhou se obtuvo el caso más desfavorable; puesto que se utilizaron para las mediciones de consumo buses de motor diésel e híbridos de igual tamaño y que utilizaban

aire acondicionado durante los meses de verano (ver en anexos Tabla A15). También se utilizaron los métodos del IPCC correspondientes al modelo de análisis (ver en anexos Tabla A16). Al igual que para Bogotá, se determinaron las emisiones WTW (ver Figura 46) causadas por los combustibles fósiles del bus de estudio (*Grütter, 2015*).

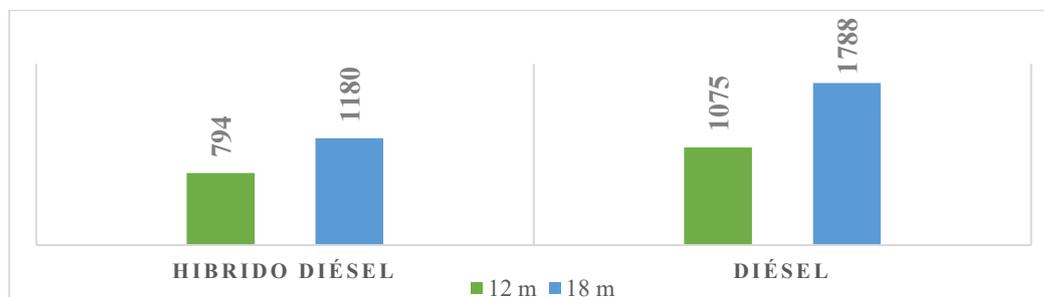


Figura 46: Comparación de emisiones de bus híbrido y diésel de (12 y 18m) en gr de CO₂/km (Adaptado de *Grütter, 2015*)

Para el caso de vehículos eléctricos, se evaluó el desempeño ambiental de buses eléctricos en Zhengzhou contra los de diésel de similares características. El estudio también se realizó para modelos de la primera generación por la falta de información de los nuevos modelos. Para establecer los volúmenes de GEI, se utilizó los métodos de cálculo del IPCC; mientras que, para comparar el factor de emisión de carbono de la electricidad, se usó el factor promedio ponderado de CO₂ producido por la red (*Grütter, 2015*).



Figura 47: Comparación de emisiones de bus eléctrico, híbrido de diésel y diésel de 12m en gr de fCO₂/km (Adaptado de *Grütter, 2015*)

Del estudio se determinó que los buses eléctricos son de cero emisiones; por lo cual presentan una mayor ventaja al compararse con unidades fósiles de NO_x, PM, contaminantes locales y factor de ruido (ver Figura 47). Algunos vehículos híbridos enchufables comparten este mismo concepto, pero para rangos reducidos. (*Grütter, 2015*). No obstante, estos vehículos aún necesitarían de baterías, por lo cual ocasionan un impacto ambiental negativo por subproductos tóxicos y requieren de un proceso especializado de tratamiento y reciclaje de desechos. Hasta

la fecha, no es conveniente reciclar las baterías de litio debido a que es mucho más rentable comprar nuevas (*Frost & Sullivan, 2015*).

Al momento de determinar el impacto de GEI producido por un bus eléctrico se debe considerar la forma de producción de electricidad y su factor resultante de emisión dependiendo de la ubicación de su fuente. Por lo tanto, el valor variará dependiendo del factor de carbono propio de cada país (ver en anexos Tabla A18).

Podemos observar que al comparar los 3 sistemas de estudio (eléctrico, híbrido y motor diésel) en función a la contaminación que genera su fuente de energía, los resultados favorecen notablemente a los vehículos eléctricos, seguido por los vehículos híbridos y finalmente los vehículos de motor diésel. No obstante, para realizar una adecuada comparación de los sistemas se debe de analizar el grado de contaminación de todos sus componentes; es decir, aunque un vehículo eléctrico y/o híbrido contamine mucho menos que uno de motor diésel, no podemos decir lo mismo de su proceso de fabricación. La principal justificación a la afirmación previa se debe a su elemento más contaminante: la Batería.

En el desarrollo de los EV la batería es el componente que ha estado y sigue estando en permanente desarrollo. Este elemento ha ido cambiando de tecnología, iniciando con los primeros vehículos eléctricos con baterías de plomo, seguido por vehículos con baterías de Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH), hasta llegar a las de ion de litio que se usan en la actualidad. Las baterías de litio son energéticamente mejores que las de Ni-MH, tienen mayor potencia y poseen una mayor vida útil; aunque su coste es mayor (*Serra, 2015*). Existen dos tipos principales de baterías de ion litio que utilizan los fabricantes de vehículos eléctricos: baterías de magnesio (LiMn_2O_4) y las de hierro fosfato (LiFePO_4). En su etapa de fabricación, el cátodo y ánodo abarcan el 50% de su grado de contaminación; mientras que el recipiente de la batería representa tan solo un 27% (*Notter, 2010*).

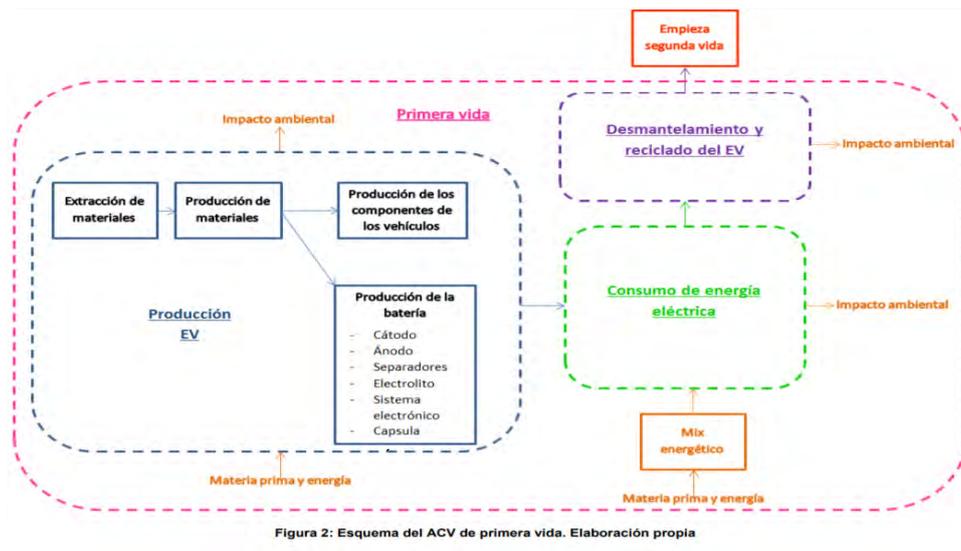


Figura 48: Esquema del ACV de la primera vida de una batería de litio para un EV. (Adaptado de Serra, 2015)

Debido que el presente estudio no pretende establecer el grado exacto de contaminación que generaría el uso de la batería en un medio como el nuestro, se utilizaron los datos correspondientes a una batería genérica para establecer un punto de comparación (ver Tabla 25).

Tabla 25: Características del EV genérico de estudio (Adaptado de Serra, 2015)

	CAPACIDAD (KWH)	TIPO DE BATERÍA	CONSUMO (KWH/KM)	AUTONOMÍA (KM)
EV genérico	22,4	Ion de litio	0.142	196

El análisis de Ciclo de Vida de la primera vida de una batería de litio se puede dividir en: producción del EV que incluye la extracción, producción de materiales y componentes y ensamblaje; el uso que incluye el consumo de la energía eléctrica; y finalmente su fin de vida que incluye el desmantelado y reciclaje del EV (ver Figura 48). Para tener un análisis más específico para la batería de litio, el cálculo de impacto ambiental de extracción y producción del EV se realiza sin la batería; ya que esta se analiza desde el punto de vista de extracción y producción de sus componentes. El modelaje de los impactos ambientales se realizó utilizando los estudios de varios autores (ver en anexos Tabla A19) pero considerando un coeficiente de rendimiento η_{WTT} (ver Tabla 26).

Tabla 26: Modelaje de los impactos ambientales de una batería de litio de un EV (Adaptado de Serra, 2015)

IMPACTO AMBIENTAL	UNIDAD	EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DEL EV	EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE LA BATERÍA	USO	RECICLADO DE LA BATERÍA
Global-warming potential (GWP)	gCO ₂ eq. /kWh	3.25X10 ⁵	1.73X10 ⁵	3.72X10 ⁵	-8.64X10 ⁴

Eutrofización agua dulce (FEP)	gPO ₃ ⁴ eq. /kWh	3.64X10 ²	2.25X10 ²	5.07X10 ²	-1.13X10 ²
Acidificación (TAP)	gSO ₂ eq. /kWh	6.21X10 ²	1.20X10 ³	1.75X10 ³	-6.00X10 ²
Agotamiento abiótico (ADP)	gSb eq. /kWh	2.40X10 ³	2.13X10 ²	2.88X10 ³	-1.07X10 ²

La ecuación utilizada para determinar el impacto ambiental resultante en kWh/km fue:

$$E_{EV} = \frac{\text{Consumo del EV}}{\text{Rendimiento de la obtención de energía}} = \frac{C_{EV}}{\eta_{trans} \times \eta_{dist} \times \eta_{carga}} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 6)}$$

Finalmente, la huella ambiental del vehículo dependerá directamente de las fuentes de energía que se utilicen para alimentarlo. De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente podemos darnos una idea del grado de contaminación de una batería de ion litio, el cual podría aumentar o disminuir en función a las características que desee utilizar el fabricante de EV, al tipo de vehículo, entre otros.

El promedio mundial de mayor uso de buses por persona se encuentra en Latinoamérica por lo que si se electrifica el sistema de transporte público significaría un potencial ahorro de combustible y menor contaminación. Sin embargo, es importante analizar el potencial de generación eléctrica para determinar si la región será capaz de sustentar el uso de vehículos híbridos y/o eléctricos. Según estudios, la región posee una de las matrices eléctricas más limpias mundialmente con un 58% de su capacidad total de energía instalada (su principal contribuyente es la hidroeléctrica con un 46%) proveniente de energías renovables (**PNUMA, 2019**).

Si analizamos la situación de nuestro país, veremos que nuestro potencial de crecimiento en cuanto a generación eléctrica es alto (ver Figura 49). Esto se debe a la gran presencia de recursos para la generación de energía y al aumento en la inversión de energías renovables en los últimos años (ver en anexos Tabla A20). Adicionalmente, vemos que la capacidad instalada por sector se ha incrementado en comparación con años pasados. Esto se debería en gran medida a las nuevas inversiones para la generación de energía limpia y/o compromisos e incentivos internacionales derivados de los últimos tratados ambientales. (ver en anexos Tabla A16).

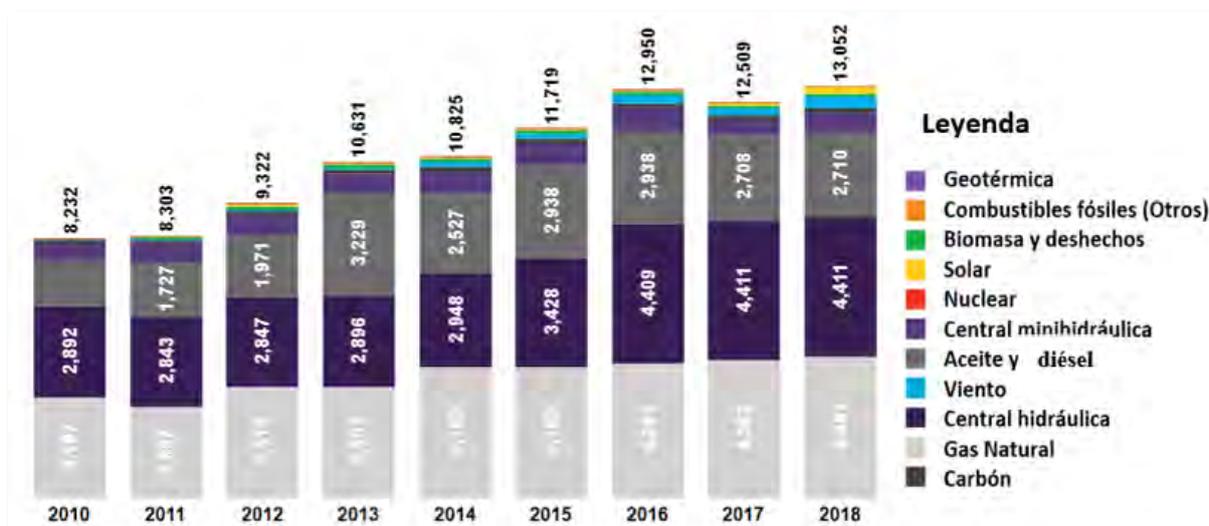


Figura 49: Capacidad instalada en GW por sector para Perú (ClimateScope, 2019)

Finalmente, también se debe de considerar los incentivos internacionales que benefician y premian el uso de vehículos eléctricos e híbridos. En varios países, se da financiación adicional por consideraciones ambientales o en relación con las políticas industriales (Grütter, 2015). Mecanismos recientes de mercado como las Acciones de Mitigación Nacional Apropriadas o NAMA's en inglés podrían ser atractivos; sobre todo para los vehículos eléctricos (ver en anexos Tabla A21).

El presente estudio permitió establecer que las estrategias de reducción de emisiones a largo plazo relacionadas con las NDCs, requiere la transformación del sector del transporte, sin que esto afecte la prosperidad y el crecimiento económico del país: Sin embargo, se requiere describir plenamente las oportunidades disponibles en el sector del transporte; es decir, articular una visión ambiciosa de la transición que Perú pretende lograr al mejorar sus NDC; lo que permitirá catalizar la acción de acelerar la adopción inmediata y urgente de soluciones e incentivar modos de transporte masivo con bajas emisiones de carbono con el objetivo de hacer que el sector sea más sostenible.

Asimismo, los resultados obtenidos en el presente estudio en relación a los beneficios ambientales relacionados con el uso de transporte urbano electrificado; permiten a las partes interesadas clave: como los ministerios del gobierno nacional, pero también los estados y ciudades, el sector privado, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y la ciudadanía en general; establecer que las NDCs del sector del transporte, brindan oportunidades para que Perú se alinee a los objetivos climáticos y los objetivos de desarrollo establecidos.

Dado que, al analizar detenidamente cómo el sector del transporte podría contribuir a la transformación con bajas emisiones de carbono, Perú puede revertir las altas emisiones de GEI para los próximos años y aprovechar las oportunidades económicas y de desarrollo. Asimismo, los resultados mostrados en el presente estudio con relación a los riesgos asociados a mantener una infraestructura de transporte que sea intensiva en carbono o que no se apegue al cambio climático, le dan sustento a la importancia de las NDCs como una herramienta para promover sus objetivos de transporte relevantes, y en los que se destaca las ventajas del transporte electrificado en base a la seguridad energética, mejoras en la calidad del aire y reducción de las emisiones de GEI.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de haber analizado los argumentos de los estudios previamente vistos, podemos establecer el cierre de la comparación de los 3 modelos de buses que dieron origen al presente trabajo. Luego de haber elegido la información más resaltante y evaluar los puntos planteados para la temática en cuestión; podemos tomar una postura frente a los resultados obtenidos. Por otra parte, las recomendaciones se enfocan en presentar sugerencias que ayuden a profundizar el objeto de investigación a futuro.

5.1. CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de esta tesis era abordar el uso de buses eléctricos en el transporte público, haciendo una comparación con los sistemas de buses con motor diésel e híbridos. Después de haber analizado los 3 modelos de estudio bajo los enfoques económico, social y ambiental; se puede concluir lo siguiente:

5.1.1. Objetivo 1

El primer objetivo específico que se consideró consistía en conocer la situación actual de los componentes que constituyen las características principales de los buses con motor eléctrico, motor diésel y motor híbrido para el transporte público (Ver Tabla 28). Se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Buses de motor diésel para el transporte público**

El sistema de motor diésel está siendo reemplazado por la paulatina desaparición de las fuentes de combustible fósil necesarias para su funcionamiento, así como por las consecuencias ambientales que trae consigo. De hecho, se sabe que en un futuro los vehículos que mantengan el uso de este sistema serán sometidos a altas demandas de calidad por las exigencias políticas medioambientales por su nivel de emisiones. La preocupación de las numerosas restricciones que se aplicarán tanto normativa como físicamente a los vehículos está generando que las ventas mundiales disminuyan; por lo que varios de los fabricantes de vehículos están eliminándolos de sus gamas de producción.

No obstante, sabemos que es una tecnología que perdurará por unos años más ya que la transición hacia otro tipo de sistemas menos contaminantes es aún lenta debido a que falta optimizar dichos sistemas.

En cuanto al transporte público, existen varios vehículos que todavía trabajan bajo este sistema debido a los menores costos que implica su uso en sus países de origen. Esto se debe principalmente a que la relación costo/beneficio es mayor que los otros 2 sistemas aún no tan difundidos. No obstante, debido a que la mayoría de estos vehículos ya son antiguos; es muy probable que si se busca renovar la flota estos sean reemplazados por ambientalmente sostenibles y/o con mayores beneficios.

- **Buses eléctricos para el transporte público**

El sistema eléctrico surgió como respuesta a la búsqueda de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. A diferencia del sistema de motor diésel es independiente del combustible fósil; puesto que utiliza energía que almacena para su funcionamiento. Está siendo promovido por varias entidades ambientales y financieras; por las nuevas políticas ambientales que se aplicarán a futuro. El funcionamiento del vehículo no produce contaminación ambiental ni acústica.

El sistema de transporte público con unidades eléctricas ya se ha empleado en otros países con resultados aparentemente satisfactorios; por lo cual varios países parecen querer sumarse a esta iniciativa. No obstante, su principal obstáculo se basa en su alto costo ocasionado principalmente por las fases de pre y post producción de uno de sus componentes más importantes: las baterías. Por el momento, el rendimiento de una batería no es lo suficientemente bueno como para poder reemplazar por completo al sistema de motor diésel; por lo que requiere de continuos periodos de recarga que acortan su tiempo de vida. De este modo, su nivel de contaminación aumenta; puesto que la producción y disposición final de baterías de litio es altamente contaminante.

- **Buses híbridos para el transporte público**

El sistema híbrido diésel representa la combinación de los sistemas de motor diésel y eléctrico; por lo que también cuenta con casi las mismas ventajas y desventajas de estos. Si bien es cierto presenta un menor índice de contaminación que el motor diésel, aún es dependiente de los

hidrocarburos. Su composición le permite funcionar únicamente con su motor eléctrico para tramos cortos pudiendo reutilizar y/o almacenar la energía producida por el motor de combustión. Actualmente es uno de los modelos favoritos del mercado por la gran popularidad que ha adquirido al ganar premios internacionales.

En cuanto al transporte público, este sistema ya se ha aplicado en algunas ciudades (sobre todo Europa y Asia) con buenos resultados. Su doble motor le permite recorrer mayores tramos que una línea de buses eléctricos; así como mantener el motor eléctrico potente mientras esté encendido el vehículo. Debido a que requiere de una infraestructura física y tecnológica similar a la de un sistema eléctrico, representa una excelente opción de transición del sistema de motor diésel al eléctrico. No obstante, también presenta ciertas desventajas en tema de costos y confort. Al requerir de 2 motores, no es tan compacto como un vehículo eléctrico y puede llegar a ser más pesado que un vehículo de motor diésel. Además, pierde varios puntos ambientales debido a que aún produce cierto grado de contaminación tanto ambiental como acústica.

Tabla 27: Resultados de las características más resaltantes de la situación actual de los 3 modelos de estudio

BUS CON MOTOR DIÉSEL	Su fuente principal de alimentación se está agotando
	Mayor demanda de calidad y de restricciones normativas para permitir su continuidad de funcionamiento
	Alto costo de reemplazo por otros sistemas menos contaminantes
	Mayor costo/beneficio en comparación con los otros 2 sistemas
	Su producción se está reduciendo en varias empresas automotrices
BUS ELÉCTRICO	Su funcionamiento produce contaminación ambiental
	Su funcionamiento es independiente del combustible fósil
	Promovido por varias entidades ecológicas y financieras
	Su funcionamiento no produce contaminación ambiental ni acústica
	Alto costo de producción
	Requiere una recarga constante por el bajo rendimiento actual de sus baterías
BUS HÍBRIDO	La disposición final de su batería es altamente contaminante por la utilización de litio como componente
	Mayor eficacia de consumo de combustible que un vehículo diésel
	Reutiliza y almacena la energía producida por su motor
	Gran popularidad
	Representa la transición del sistema de motor diésel al eléctrico
BUS HÍBRIDO	Mayor tamaño y peso que un vehículo eléctrico
	Su funcionamiento produce cierto grado de contaminación ambiental y acústica

5.1.2. Objetivo 2

El segundo objetivo específico que se consideró consistía en determinar y comparar bajo los enfoques económico, social y ambiental los sistemas de transporte público eléctrico, con los de motor diésel e híbrido. Este mismo objetivo también busca determinar las ventajas y desventajas principales de cada sistema estudiado.

Desde el punto de vista económico, el sistema más rentable actualmente es el de motor diésel. No obstante, a futuro el costo del diésel aumentará por los equipos de descontaminación necesarios para cumplir con las nuevas normativas de uso; por lo cual se vendería menos y las inversiones en estos motores se reducirían por falta de futuro. Por otro lado, los elevados costos del sistema de almacenamiento de energía son los factores más críticos para los buses híbridos y eléctricos. Esta brecha podría disminuirse en un futuro próximo gracias al gran respaldo que están recibiendo ambas tecnologías. Actualmente, los buses híbridos y eléctricos enchufables tienen un mayor potencial porque se ven menos afectados por el ciclo de conducción y los ciclos de descarga/recarga de las baterías (importante para los costos de su ciclo de vida).

Sin embargo, la reducción de emisiones puede no proporcionar ninguna ventaja/beneficio considerable (en términos de costos del ciclo de vida) sin incentivos financieros o legislación de respaldo. Nuestro país se encuentra dentro de los mercados atractivos para la inversión de tecnologías de transporte sostenible; por lo cual podríamos conseguir mayores incentivos y financiamiento por parte de organizaciones internacionales. Además, contamos con el potencial para la generación de energías limpias; por lo cual se debería de invertir paralelamente a la implementación de sistemas de transporte eléctrico, en mejorar la infraestructura de generación de energías limpias.

Desde el punto de vista social, el nivel de satisfacción de los usuarios respecto a los vehículos con motor diésel es muy bajo. Esto se debe a que en su mayoría representa a un sistema deficiente que no toma en consideración a los diferentes tipos de usuarios (personas con discapacidad, adultos mayores, niños, etc.). A mayor tasa de urbanización, las ciudades necesitarán de nuevas rutas capaces de cubrir las necesidades de transporte de la población. Por lo tanto, se podría aprovechar la introducción de un sistema moderno que cumpla con las expectativas del usuario. A pesar de que la mayoría de los países latinoamericanos aún se encuentran en las primeras etapas de introducción de los vehículos eléctricos al mercado, varias ciudades ya han logrado avances significativos. Esto se debería en gran medida a las políticas

ambientalistas que muchos países están optando dentro de sus planes de mejora de la movilidad urbana.

Elementos psicológicos también son parte de la brecha de adopción de las nuevas tecnologías en el territorio. Es labor de los gobiernos proveer información e infraestructura a nivel de vías y de líneas eléctricas para que las metas ambientales de los nuevos vehículos se cumplan efectivamente. Por lo cual el plan piloto del estado del uso de vehículos eléctricos en rutas de bus concurridas servirá para familiarizar a los usuarios con esta nueva tecnología. Además, podemos basarnos en los modelos aplicados en otros países para determinar los principales puntos débiles del uso de buses eléctricos para facilitar la implementación y uso del sistema en nuestro país.

Desde el punto de vista ambiental, la adopción de vehículos eléctricos sería el escenario más beneficioso; puesto que reducen la dependencia de combustibles fósiles y la contaminación ambiental. Como ejemplo de ello, se vio que en ciudades como Shenzhen (China) con una flota de buses eléctricos de aproximadamente 16,359 unidades, la industria de transporte público redujo su consumo de combustible diésel en casi un 95%. En promedio por año, cada 100km los buses eléctricos emitieron 67,02 kg de CO₂, mientras que los vehículos diésel emitieron 129,91 kg. En cuanto a la emisión de contaminantes gaseosos, las emisiones anuales de los vehículos diésel alcanzaron un promedio de 1146 kg, los vehículos eléctricos 279 kg y los vehículos híbridos enchufables 895 kg. Los beneficios ambientales del transporte público varían según el número de pasajeros por vehículo, la eficiencia del bus o tren, y el tipo de combustible utilizado.

Dentro de las consecuencias que generan las emisiones de GEI, los contaminantes tóxicos del aire están asociados a ciertas enfermedades como diferentes tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, respiratorias y neurológicas. Por otra parte, la contaminación del suelo se produce por los derrames de combustible y aceite de los vehículos de motor así como el uso de materiales tóxicos por parte de la industria del transporte. No obstante, los vehículos eléctricos no pueden ser considerados totalmente como de “cero emisiones”. A diferencia de los motores diésel, su mayor grado de contaminación no está en su recorrido sino en la generación de su fuente de energía. De modo que, mientras no se consiga descarbonizar la red de generación de energía, lo único que se logra es trasladar la contaminación de ruta a la fuente. Además de estos impactos ambientales, se deben considerar los procesos económicos e industriales que sustentan el sistema de transporte. Estos incluyen la extracción y producción de combustibles,

vehículos y materiales de construcción, algunos de los cuales consumen mucha energía (por ejemplo, el aluminio), y la eliminación de vehículos, piezas y la provisión de infraestructura.

Las actividades de la industria del transporte liberan a la atmósfera varios millones de toneladas de gases de efecto invernadero cada año. El sector transporte en general juega un rol importante en las emisiones globales de CO₂, se le atribuye a este el 22%. Un número importante de tratados y acuerdos se han firmado con la esperanza de remediar esta situación o por lo menos mitigarla para mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2°C. En la situación actual de confinamiento, debido a la presencia del COVID-19, se ha observado una drástica reducción del 17% en la emisión del CO₂ a nivel mundial. Por lo tanto, un transporte público mejorado debe reducir el uso de vehículos particulares. De hecho, un aumento en el uso del transporte público tendría un mayor impacto en la mitigación de emisiones de GEI. Los vehículos eléctricos se identifican como una solución clave hacia un transporte público completamente libre de fósiles, y un trampolín hacia la sostenibilidad. Asimismo, se ha encontrado que los impactos ambientales son menores en los buses eléctricos comparados con los buses con motores de combustión interna si funcionan con electricidad renovable.

Tabla 28: Resultados de comparación de los 3 modelos de estudio bajo los enfoques económico, social y ambiental.

	BUS CON MOTOR DIÉSEL	BUS ELÉCTRICO	BUS HÍBRIDO
ENFOQUE ECONÓMICO	Es el primer sistema más rentable	Es el sistema menos rentable	Es el segundo sistema más rentable
	El margen de ventas ha decaído y se espera que el número de vehículos vendidos al año disminuya. La inversión en esta tecnología es menor por menos demanda	Menor demanda actual que la de los vehículos híbridos. Utiliza como base las investigaciones realizadas de estos.	El incremento de la producción por la excesiva demanda de vehículos eléctricos genera una mayor inversión en investigación y desarrollo en su tecnología
	Incremento de impuestos referentes a términos ambientales	Se espera una mayor reducción del impuesto selectivo al consumo y otros incentivos tributarios y legislativos	Se espera una mayor reducción del impuesto selectivo al consumo y otros incentivos tributarios y legislativos
	Disminución en la proyección de inversión debido al reemplazo de tecnología a futuro	Mayor proyección de inversión a futuro a nivel mundial	Proyección de inversión actual menor al bus eléctrico
	Menor costo de producción respecto al modelo híbrido y eléctrico	Mayor costo de producción actual respecto a los otros dos modelos	Costo promedio con relación a los modelos eléctrico y de motor diésel
	Mayor regulación del estado a la producción de bus diésel debido al alto grado de contaminación.	Para impulsar su uso requiere del apoyo gubernamental	Para impulsar su uso requiere del apoyo gubernamental en menor escala que el bus eléctrico

ENFOQUE SOCIAL	Según encuestas el nivel de satisfacción de los usuarios es muy bajo	Según encuestas el nivel de satisfacción de los usuarios es muy alto	Según encuestas el nivel de satisfacción de los usuarios es alto
	No todos los modelos están diseñados para la inclusión de todo tipo de usuarios	Se diseñó tomando en consideración la inclusión de todo tipo de usuarios	En modelos recientes se consideró la inclusión de todo tipo de usuarios
	Representa un modelo de sistema de transporte deficiente por lo que la preferencia del usuario es decreciente	La expectativa de los usuarios respecto a este modelo es muy alta	Los primeros modelos cumplían con las expectativas de los usuarios respecto a la modernización del sistema de transporte público masivo.
	El sistema es deficiente ya que no satisface las necesidades de desplazamiento de los usuarios	Se espera que la implementación de este sistema obligue a los gobiernos a la restructuración del sistema vial de transporte público	Se espera que la implementación de este sistema obligue a los gobiernos a la restructuración del sistema vial de transporte público
	Es el menos adecuado para los usuarios por su alto grado de contaminación y sus consecuencias para la salud.	Es el más adecuado para los usuarios por su bajo grado de contaminación con menor incidencia en la salud.	A pesar de que presenta un cierto grado de contaminación es más aceptado que el de motor diésel por su versatilidad en el funcionamiento
ENFOQUE AMBIENTAL	Representan el mayor porcentaje de kg de CO2 emitidos a la atmósfera. En Shenzhen (China) emitieron 129,91 kg en promedio por cada 100km de recorrido	Representan el menor porcentaje de kg de CO2 emitidos a la atmósfera. En Shenzhen (China) emitieron 67,02 kg en promedio por cada 100km de recorrido	Representan un valor intermedio entre buses diésel y eléctricos de porcentaje de kg de CO2 emitidos a la atmósfera.
	Representa el mayor porcentaje de emisiones anuales de GEI con respecto al recorrido	No presenta emisiones anuales de GEI con respecto al recorrido	Representa el menor porcentaje de emisiones anuales de GEI con respecto al recorrido
	Mayor contaminación del suelo por derrames de combustible y uso de aceites para el funcionamiento del motor.	Menor contaminación del suelo. Su motor no requiere el uso de aceite pero si de lubricantes	Contaminación del suelo mayor a la de los buses eléctricos. Por la dualidad del mecanismo de funcionamiento requiere tanto de aceite como de lubricantes especialmente adaptados a este tipo de motor.
	Mayor grado de contaminación en funcionamiento de sistema para su desplazamiento	Mayor grado de contaminación en fuente de generación de energía que en su desplazamiento	Grado de contaminación tanto en fuente de generación de energía que como en su desplazamiento

La ciudad de Lima es candidata para una óptima utilización de buses eléctricos debido a las favorables condiciones de la ruta que se podría implementar (pendientes poco pronunciadas y velocidad controlada máxima de 60 km/hora). Para la determinación de los índices de contaminación en nuestra ciudad por el uso de vehículos eléctricos para el transporte público, se podrán utilizar los datos de los prototipos actualmente en uso. De esta manera se podrá realizar una comparación con otras ciudades que ya cuentan con modelos similares. La implementación del sistema público debe estar acompañada de una reorganización de las

políticas e infraestructura de transporte para que se pueda aprovechar adecuadamente su potencial. Además, sería mucho mejor si se pudiera generar una conexión intermodal.

Finalmente, podemos concluir que el uso de buses eléctricos es la alternativa más aceptable desde el punto de vista económico, social y ambiental debido a las buenas proyecciones a futuro que presenta. No obstante, esta elección debe de estar acompañada de mejores políticas orientadas a una buena movilidad. De lo contrario, podríamos recaer en el mismo círculo vicioso que representa el actual transporte público.

5.2. RECOMENDACIONES

En esta parte del estudio se condensó las sugerencias y consideraciones originadas durante la realización del presente trabajo para tener en cuenta en futuras investigaciones sobre el tema central y/o que se basen en el mismo.

5.2.1. Objetivo 1

El primer objetivo define y delimita el tema de estudio a los sistemas: eléctrico, de motor diésel e híbrido porque representaban la transición de los viejos sistemas de transporte a nuevas proyecciones. No obstante, sería bueno comparar el sistema eléctrico con otras alternativas modernas de transporte público. De hecho, en varios de los lugares de estudio, también se han implementado prototipos; por lo cual con el debido monitoreo y medición se podría recolectar la información suficiente para determinar el sistema más eficiente.

Además, se podrían revisar los códigos actuales de transporte para ver si estos están considerando implementar dichos sistemas dentro de sus políticas y reglamentos. También se podría estudiar más a fondo sobre el funcionamiento de los componentes de la infraestructura del transporte eléctrico para poder ver si se puede optimizar.

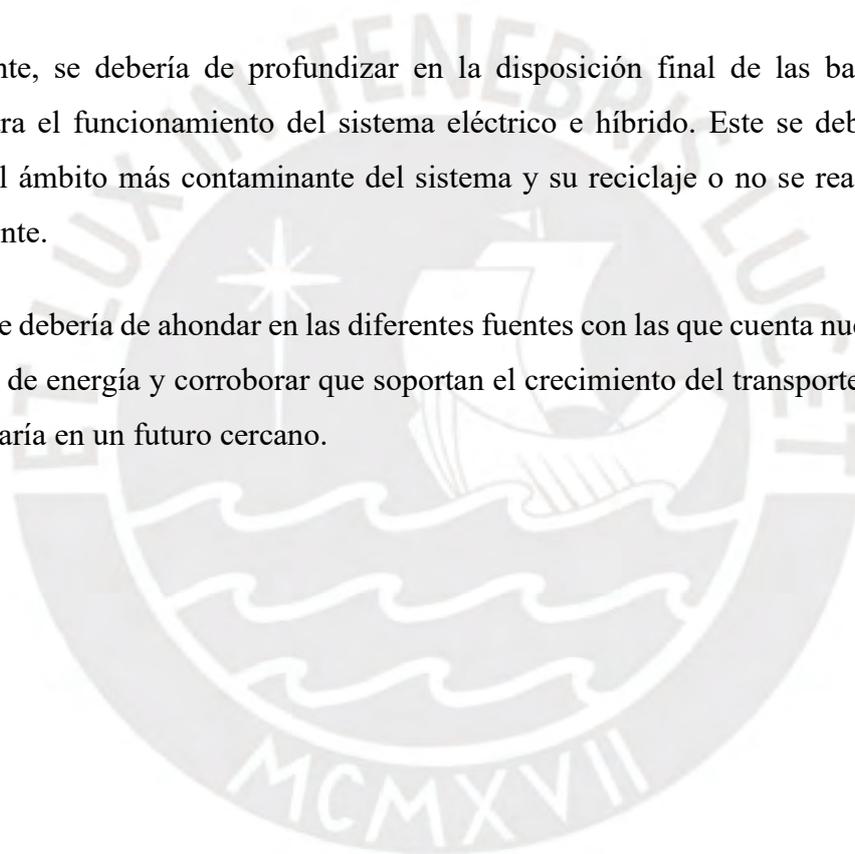
Finalmente, como actualmente existe un modelo prototipo de bus eléctrico en nuestro país, en conjunto con la información que se tiene acerca de las líneas de transporte público se podría encontrar la manera de acoplar este sistema, logrando crear los puntos de recarga necesarios para el funcionamiento adecuado del sistema.

5.2.2. Objetivo 2

El segundo objetivo consistía en determinar y comparar bajo los enfoques económico, social y ambiental los sistemas de transporte público de estudio. Debido a que el sistema aún no se ha implementado del todo en nuestro país, gran cantidad de la información utilizada es de otros países con características similares. No obstante, los modelos estudiados representan a la primera generación de buses eléctricos y/o híbridos que se produjeron; por lo cual las mediciones ambientales y de costos podrían diferir de los valores reales actuales. Cuando se cuente con la información necesaria de los prototipos aplicados en nuestro país, se podría extrapolar los datos y corroborar la información obtenida.

Adicionalmente, se debería de profundizar en la disposición final de las baterías de litio necesarias para el funcionamiento del sistema eléctrico e híbrido. Este se debe a que estas representan el ámbito más contaminante del sistema y su reciclaje o no se realiza o se hace ineficientemente.

Finalmente, se debería de ahondar en las diferentes fuentes con las que cuenta nuestro país para la generación de energía y corroborar que soportan el crecimiento del transporte eléctrico que se implementaría en un futuro cercano.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Achour, H., & Belloumi, M. (2016) “Investigating the causal relationship between transport infrastructure, transport energy consumption and economic growth in Tunisia”. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 56, 988–998. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.023.
- AEMA (2020) “Transporte”. Copenhagen: Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). <https://www.eea.europa.eu/es/themes/transport/intro>
- Agencia Peruana De Noticias Andina (2018). “Perú: primer bus eléctrico de transporte público ahorra energía y no contamina”. En *Diario Andina* (09 de marzo del 2018). <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-primer-bus-electrico-transporte-publico-ahorra-energia-y-no-contamina-702638.aspx>
- Alegre, M. (2016). “Transporte Urbano: ¿Cómo resolver la movilidad en Lima y Callao?”. Consorcio De Investigación Económica Y Social. Lima.
- Alegre, María S. (2017) “Modelado del vehículo eléctrico e híbrido paralelo por medio de Matlab y Simulink, y planificación de estaciones de carga mediante sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos”. Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales Universidad Nacional De Educación A Distancia.
- Anderson, T., Hawkins, E., & Jones, P. (2016). “CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Calendar to today's Earth System Models”. *Endeavour* Volume 40, Issue 3, 178-187
- André, J. (2016) “Las energías renovables en el ámbito internacional”. Universidad Complutense De Madrid. *Revistas ICE. Cuadernos económicos de ice* n.º 83 Pág. 11-14.
- Ascher, F. (2005). “Ciudades con velocidad y movilidad múltiples: un desafío para los arquitectos, urbanistas y políticos”. *Revista ARQ* N°20, págs. 11-19.
- Azaa, C., & Escribano, Á. (2019). “Transporte, infraestructuras y crecimiento económico en España”. Universidad Carlos III De Madrid.
- Batista, V., Anholon, R., & Gonçalves, O. (2019). “Sustainable Transportation Methods”. Grecia: Walter Leal Filho. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-3-030-11352-0_192.
- BBC (2015). “4 conflictos internacionales impulsados por disputas por el petróleo”. En *Diario BBC de Londres* (3 de diciembre del 2015).
- Benítez, A., Alkemade, R., & Verweij, P. (2010). “Los impactos de las carreteras y otras infraestructuras en las poblaciones de mamíferos y aves: un metaanálisis”. *Conservación biológica* 143, 1307-1316.
- Black, A (1996). “Our common future”. Report definition of sustainable development. Págs. 1-5.
- Bloomberg NEF (2019). “Energy transition in the world’s fastest growing economies”. *Emerging Markets Outlook 2019*. <https://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2019-report>
- Bogotá Cómo Vamos (2019). “Encuesta de Percepción Ciudadana de la organización Bogotá Cómo Vamos”. Bogotá Cómo Vamos 2019.
- Business Encyclopedia (2018). “How to calculate total cost of ownership”. *Understanding Total Cost of Ownership*.

- CAF. (2019). “La electromovilidad en el transporte público de América Latina”. Buenos Aires: Corporación Andina de Fomento (CAF). <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1466>
- Chester, M., & Horvath, A. (2009). “Inventarios de energía y emisiones de ciclo de vida para motocicletas, automóviles diésel, autobuses escolares, autobuses eléctricos, trenes de Chicago y trenes de la ciudad de Nueva York”. USA: Institute of Transportation Studies at UC Berkeley.
- Cigu, E., Tatiana, D., Gavrilut, A., & Toade, E. (2019). “A Case Study for the Eu-28 Countries.”. *Transport Infrastructure Development, Public Performance and Long-Run Economic Growth. Sustainability* 11, 67, 1-22. doi:10.3390/su11010067
- Clarke, H., & Ainslie, D. (2019). “Road transport and air emissions”. Reino Unido: Oficina de estadísticas nacionales.
- Climatescope. (2019). “Installed Capacity (GW) by Sector”. Capacity & Generation. CLIMATESCOPE 2019. Perú. <https://global-climatescope.org/capacity-generation>
- Climate Central (2015). “400,000 años de dióxido de carbono”. Climate Central 2019. <https://www.climatecentral.org/gallery/graphics/400000-years-of-carbon-dioxide>
- (2020). “Global Temperatures and CO2 Concentrations 2020”. Climate Central 2020. <https://www.climatecentral.org/gallery/graphics/global-temperatures-and-co2-concentrations-2020>
- Conflegal (2018). “Euro 7: ¿El fin del diésel?”. En Diario Conflegal (14 de diciembre del 2017). <https://conflegal.com/20171214-euro-7-fin-emisiones-motores-diesel/>
- Contreras, E. (2004). “Evaluación de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica.”, Serie Manuales, CEPAL – ILPES.
- CREAF (2018). “Guerras por el petróleo”. Consorci Centre De Recerca Ecològica I Aplicacions Forestals. <http://blog.creaf.cat/es/conocimiento/guerras-por-el-petroleo/>
- David, C. (2008). “Henry Ford, the man who changed America”. American Profile. American Icons. <https://americanprofile.com/articles/henry-ford-the-man-who-changed-america/>
- Dawidowski, L., Sánchez, O., & Alarcón, N. (2014). “Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. South American Emissions, Megacities and Climate SAEMC – Proyecto extensión – Módulo emisiones. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-6.pdf>
- Del Real, J. (2018). “Autobuses vs automóviles eléctricos, crecimiento del mercado”. EXPOK. Comunicación de Sustentabilidad y RSE.
- Dmuchowsky, J., & Velazquez, M. (2019). “Un abordaje cuantitativo comparativo a partir de los estudios de movilidad domiciliarios de las regiones metropolitanas argentinas.” *Género y Transporte. Quid* 16 N°10, Págs. 129-155.
- Edwards, G. (2018). “Cargando El Futuro: El crecimiento de los mercados de autos y autobuses eléctricos en las ciudades de América Latina”. *El Diálogo. Liderazgo para las Américas.*
- El Comercio (2015). “El 46% cree que el transporte público ha empeorado este año”. En Diario El Comercio (16 de noviembre del 2015).

- (2015). “Una ciudad para moverse bien”. En Diario El Comercio (17 de noviembre del 2015) <https://elcomercio.pe/opinion/colaboradores/ciudad-moverse-patricia-alata-243157>
- (2017). “[BBC] Latinoamérica: Las ciudades con mejor transporte público”. En Diario El Comercio (12 de febrero del 2017). <https://elcomercio.pe/mundo/latinoamerica/bbc-latinoamerica-ciudades-mejor-transporte-publico-164190>
- (2018). “Así es el primer bus eléctrico para transporte público en el Perú”. En Diario El Comercio (09 de marzo del 2018). <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/primer-bus-electrico-transporte-publico-peru-noticia-503179?foto=11>
- (2018). “San Isidro: primer bus eléctrico de transporte público inició recorridos”. En Diario El Comercio (24 de setiembre del 2018). <https://elcomercio.pe/lima/transporte/san-isidro-hoy-iniciaron-recorridos-gratuitos-primer-bus-electrico-transporte-publico-noticia-561093>
- (2018). “Firman convenio para colocar primer bus eléctrico en el transporte público de Lima”. En Diario El Comercio (23 de noviembre del 2018). <https://elcomercio.pe/economia/peru/firman-convenio-colocar-primer-bus-electrico-transporte-publico-lima-noticia-579302>
- (2019). “El panorama del transporte en el 2019: El caos persiste pero la solución ya está en marcha”. En Diario El Comercio (29 de diciembre del 2019). <https://elcomercio.pe/lima/transporte/el-panorama-del-transporte-en-el-2019-el-caos-persiste-pero-la-solucion-ya-esta-en-marcha-noticia/?ref=ecr>
- EPA (2019). “Carbon Pollution from Transportation. USA”. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/carbon-pollution-transportation>
- Federico, E. (2018). “Estudio Financiero”. Zona Económica. <https://www.zonaeconomica.com/estudio-financiero>.
- Frost & Sullivan (2015). “Strategic Analysis of the Electric Passenger Car Market in Latin America: A Market Outlook to Designing Policy Guidelines for Electric Vehicle Adoption in the Region”. Reporte para the InterAmerican Development Bank, Washington D.C.
- Gestión (2018). “Anuncian la llegada de cinco buses eléctricos: tres serán para el transporte urbano” En Diario Gestión (18 de setiembre del 2018). <https://gestion.pe/economia/empresas/anuncian-llegada-cinco-buses-electricos-tres-seran-transporte-urbano-244662>
- Ghen, C. (2018). “Mitigating the Effects of Transport Infrastructure Development on Ecosystems”. Consilience: The Journal of Sustainable Development Vol. 18, Pgs. 58–68.
- Gobierno Central Del Perú (1991). “Libre competencia en las tarifas de servicio de transporte público urbano e interurbano”. Decreto Legislativo N° 651.
- Gómez A. Y Zárate, V (2019). “Multimodalidad y sostenibilidad en el transporte urbano metropolitano”. Módulo Arquitectura CUC. Volumen N°22, versión N°01, págs. 133-158.
- González, N. (2016). “Que integra el estudio financiero en un plan de Negocios”. ITSON. Estudio Financiero.
- GTM-NDC (2018). “Informe Final del GTM-NDC”. Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas. Págs. 27-60.
- Grütter, J. (2014). “Rendimiento ambiental y económico de buses híbridos y eléctricos basados en grandes flotas operacionales”. Grütter Consulting. Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos.
- Hartmann, N. (2018). “Estrategias de desarrollo del transporte público a nivel local”. Políticas de Innovación en Chile. Santiago de Chile: Programa Políticas Sociales en América Latina.

- Herman, M. (2017). “Creating a Personal SWOT Analysis”. MRH Enterprises LLC. Fecha de consulta 20 de octubre del 2018.
- Hernández, D. (2012). “Activos y estructuras de oportunidades de movilidad: Una propuesta analítica para el estudio de la accesibilidad por transporte público, el bienestar y la equidad. EURE (Santiago), 38(115), págs. 117-135.
- Horn, M. (2010). “Matriz energética en el Perú y energías renovables”. Lima, Perú: Fundación Friedrich Ebert.
- IISD (2019). “EIA: ¿Qué es? ¿Por qué? ¿Cómo?”. EIA Bases. International Institute for Sustainable Development. <https://www.iisd.org/learning/eia/es/eia-essentials/what-why-wh>
- INEI (2016). “Parque automotor en circulación a nivel nacional, según departamento” Base de datos. <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indicetematico/transportandcommunications/>
- International Energy Agency (2018). “Global EV Outlook 2018”. Towards cross-modal electrification. International Energy Agency.
- ITDP. (2018). “China Tackles Climate Change with Electric Buses”. New York: Institute for Transportation and Development. <https://www.itdp.org/2018/09/11/electric-buses-china/>
- Iyer, G., Ledna, C., Clarke, L., Edmonds, J., Mcjeon, H., Kyle, P., & Williams, J. (2017). “Measuring progress form nationally determined contributions to mid-century strategies”. *Nature Climate Change* 7, 871–874. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0005-9>
- Jacobs Consultancy (2011). “Life Cycle Well to Wheels Assessment of GHG Emissions from North American and Imported Crude Oils” Jacobs Consultancy.
- Jannuzzi, G. (2017). “Energy efficiency and renewable energy in L.A.: policies towards sustainable development”. University of Campinas. Brazil. doi:10.18327/jias.2017.07.21.2
- Japanese International Cooperation Agency (JICA) (2013). “Encuesta de Recolección de Información Básica del Transporte Urbano en el Área Metropolitana de Lima y Callao” Informe Final. Lima: JICA.
- Jiang, X., Mei, X., & Feng, D. (2016). “Air pollution and chronic airway diseases: what should people know and do?” *J. Thorac Dis.* 8(1), E31–E40.
- Jiménez, H. (2011). “Manual de Transporte Público”. Ministerio de Obras Públicas y Transportes Consejo de Seguridad Vial Dirección General de Educación Vial Departamento Formación y Capacitación.
- Jolonch, J (2013). “Análisis del transporte masivo y la movilidad en Bogotá. Universidad & Empresa, N°24, págs. 15-23.
- Juárez, I (2011). “Simulación de un sistema de recuperación de energía basado en supercapacitores con aplicación en tracción eléctrica”. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. México.
- Konečný, V., & Petro, F. (2017). “Calculation of Selected Emissions from Transport Services in Road Public Transport”. MATEC 134, Págs. 26-39. doi:10.1051/mateconf/201713400026

- (2016). “69 mil mototaxis informales circulan por Lima”. En Diario La República. Publicación: 15 de abril del 2018. <http://larepublica.pe/sociedad/760236-69-mil-mototaxis-informales-circulan-por-lima>
- (2017). “El lento adiós del diésel”. En Diario La República. Fecha de publicación: 07 de enero del 2017. <https://larepublica.pe/domingo/1005470-el-lento-adios-del-diesel>

Lajunen, A. (2014). “Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses”. ELSEVIER. Transportation Research Part C. Aalto University, School of Engineering, Puumiehenkuja 5a, 02150 Espoo, Finlandia.

Laurance, W., Clements, G., Sloan, S., O’connell, C., Mueller, N., Goosem, M., . . . Edwards, D. (2014). “A global strategy for road building”. Revista Nature 4;513, Págs. 229–232. doi:10.1038/nature13717

Lefevre, B., Galarza, D., Camós, G., Edwards, G., & Ascencio, R. (2019). “Bogotá pionera en adquirir buses eléctricos por licitación”. Bogotá: BID. Sostenibilidad. <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/bogota-es-pionera-en-adquirir-buses-electricosporlicitacion/>

Lima Cómo Vamos

- (2014). “Encuesta Lima Cómo Vamos”: V Informe de percepción sobre la calidad de vida. Lima: Asociación UNACEM.
- (2015). “Encuesta Lima Cómo Vamos”: VI Informe de percepción sobre la calidad de vida. Lima: Asociación UNACEM.
- (2016). “Evaluando la gestión en Lima”: V informe de resultados sobre calidad de vida. Lima: Asociación UNACEM.
- (2019). “Lima y Callao según sus ciudadanos. Décimo Informe Urbano de Percepción sobre Calidad de Vida en la Ciudad: Asociación UNACEM, Grupo RPP y la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.

Linea1 Metro De Lima (2019). “Informe de Sostenibilidad 2019”: V Reporte de Sostenibilidad. GYM Ferrovías S.A.

Lund, H. (2014). “Renewable Energy Systems”. Second Edition. USA: Elsevier Inc. <https://www.elsevier.com/books/renewable-energy-systems/lund/978-0-12-410423-5>

Ministerio Del Ambiente

- (2013). “La Contribución Nacional del Perú - iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable”. Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos. Págs. 04-10, 25-29. Lima – Perú.
- (2016). “Estudio de desempeño ambiental 2000-2013”. Documento de trabajo Lima, 2015. Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos. http://www.minam.gob.pe/esda/wpcontent/uploads/2016/09/estudio_dedesempeno_ambiental_esda_2016.pdf
- (2018). “La movilidad eléctrica forma parte de las políticas públicas ambientales”. Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos. Nota de prensa 30 de octubre de 2018. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/21820-minam-la-movilidad-electrica-forma-parte-de-las-politicas-publicas-ambientales>

Ministerio De Transporte Y Comunicaciones (2018). “Muertos por accidentes de tránsito 2003-2014”. https://www.mtc.gob.pe/cnsv/estadisticas/muertos_accidentes_transito_2003_2014.pdf

Mangones, S., Jaramillo, P., Rojas, N., & Fischbeck, P. (2020). “Air pollution emission effects of changes in transport supply: the case of Bogotá, Colombia”. Environmental Science Pollution. Res 27, 35971–35978. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08481-1>

- Metropolitano, I. M. (2019). “Misión”. <http://www.metropolitano.gob.pe/conocenos/sistema/>
- Michalski, J., Poltrum, M., & Bünger, U. (2019). “The role of renewable fuel supply in the transport sector in a future decarbonized energy system”. *Int J Hydrog Energy* 44, 12554–12565. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.110>
- Monnet, J. (2014). “¿Transporte sostenido o transporte sostenible?”. *Transporte Sostenible Y Sostenibilidad Energética*. Pág. 01-04.
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2016). “Global transport energy consumption”. Australia: Monash University. doi: 10.1002/9781119066354.ch61
- Moscoso, M., Laake, T. V., Quiñones, L., Pardo, C., & Hidalgo, D. (2020). “Transporte urbano sostenible América Latina: evaluaciones y recomendaciones para políticas de movilidad.” *Despacio*. TUMI. <https://www.despacio.org/wp-content/uploads/2020/02/SUTLac-ESP-05022020-web.pdf>
- Muller, M., Biswas, A., Martin, R., & Tortajada, C. (2015). “Built infrastructure is essential”. *Science* 349, Págs. 585–586. doi:10.1126/science.aac7606
- Municipalidad De Lima (2016). “Plan de acción para la reducción de las huellas de carbono e hídrica de Lima Metropolitana, Perú”. Lima: Municipalidad Metropolitana de Lima. http://www.munlima.gob.pe/images/descargas/gobierno-abierto/transparencia/mml/planea_miento-y-organizacion/planeamiento-organizacion/PLAN_DE_ACCION_MML_2012.pdf
- Nesheli, M., Ceder, A., Ghavamirad, F., & Thacker, S. (2017). "Environmental impacts of public transport systems using real-time control method". *Transport and Environment*, 51, Págs. 216–226. doi: 10.1016/j.trd.2016.12.006
- Notter, D (2010). “Policy Analysis Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles”. *Environ Sci Technol*. Pág. 6550.
- OMM (2017). “Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2016”. *Boletín De La OMM sobre Gases Efecto Invernadero*. N° 13, Pág. 03.
- Osinermin
(2017). “La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Lima, Perú: Organismo Supervisor De La Inversión En Energía Y Minería. https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf
- (2019). “Estado de las Energías Renovables en el Perú”. *Energías Renovables: Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú hacia la transición energética*. Capítulo 6. Lima, Perú: Organismo Supervisor De La Inversión En Energía Y Minería. Págs. 97-103. https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energia-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Partner, M. (2015). “7 ventajas y 7 inconvenientes de los vehículos eléctricos”. *GT Motive*. <http://gtmotive.com/es/adictos/conecta/ventajas-inconvenientes-vehiculos-elctricos>
- Pastor, G (2017). “Unidad 01: Medios De Transporte Urbano”. *JTP Cátedra Transporte*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.

Perú 21

(2015). “Autos híbridos: Conozca cuáles son sus oportunidades en nuestro mercado”. Diario Perú 21 (12 de junio de 2015). <https://peru21.pe/cheka/tecnologia/autos-hibridos-conozca-son-oportunidades-nuestro-mercado-183953>

(2016). “Corredor Azul: MEF aclara que no anuló los contratos de los corredores viales”. Diario Perú21 (16 de abril de 2016). <http://peru21.pe/actualidad/corredor-azul-mef-aclara-que-no-anulo-contratos-corredores-viales-2244018>

PNUMA (2019). “The Opportunity, cost and benefits of the coupled decarbonization of the power and transport sectors in Latin America and the Caribbean”. Zero Carbon Latin America and the Caribbean 2019. Un Environmental Program. <https://euroclimaplus.org/images/2020publicaciones/ZeroCarbonL.A.C.FullReport190520.pdf>

Pontificia Universidad Católica Del Perú. (2015). “Guía PUCP para el registro y el citado de fuentes”. Lima: PUCP. <http://departamento.pucp.edu.pe/derecho/wpcontent/uploads/2014/05/GuiaPUCPregistroycitadodefuentes-2015.pdf>

Quéré, C. L., Jackson, R., Jones, M., Smith, A., Abernethy, S., Andrew, R., ...Peters, G. (2020). "Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement". Nature Climate Change volumen 10, Págs. 647–653.

Región De Murguía (2018). “¿Qué es la evaluación ambiental de proyectos o la evaluación de impacto ambiental?”. Areas Temáticas. Empleo, Universidades, Empresa Y Medio Ambiente. Murcia.

Reina, L. & Ventura, K. (2015). “Los Servicios Públicos en el Perú, una visión preliminar.” Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Primera edición Pág. 589.

REN21 (2019). "Renewables 2019". Global Status Report. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf

REPSOL. (2019). “Anuario Estadístico Energético 2019” Dirección de Estudios de Repsol. Datos por regiones y países. Págs. 45-51. https://www.repsol.com/imagenes/global/es/anuario-estadistico-energetico-2019_tcm13-168076.pdf

Rode, P., & Burdett, R. (2013). "Cities: Investing in Energy and Resource Efficiency". U.K: United Nations Environment Program. <https://core.ac.uk/download/pdf/218262.pdf>

Rodrigue, J. (2020). "The Geography of Transport Systems". New York: illustrate Routledge. doi:1000061582, 9781000061581

RPP

(2016). “El 75% de limeños se moviliza en transporte público y el 25% viaja 2 horas” RPP Noticias. <http://rpp.pe/lima/obras/el-75-de-limenos-se-moviliza-en-transporte-publico-y-el-25-viaja-2-horas-noticia-992721>

(2018). “Litio: ¿Cuáles son los países con más reservas de este mineral?” RPP Noticias. <https://rpp.pe/economia/economia/litio-cuales-son-los-paises-con-mas-reservas-de-este-mineral-noticia-1137165/4>

Ruiz, V. (2015). “Análisis de los costos operativos entre el sistema de transporte público urbano y el tranvía de la ciudad de Cuenca en el 2014”. Universidad Politécnica Salesiana Cuenca. Departamento de Ingeniería Mecánica Automotriz.

- Sabalza, M. (2006). "Evaluación económica de proyectos de cooperación". Iniciativas económicas para el desarrollo local: viabilidad y planificación. HEGOA.
- Sánchez, I. (2005). "Evaluación financiera de proyectos de inversión". Monografía. Universidad de Guayaquil de Ecuador.
- Santos, T. (2008). "Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: etapas en su estudio" en Contribuciones a la Economía.
- Sanz, I. (2015). "Análisis de la Evolución y el Impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea". Universidad Pontificia Comillas Madrid. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Págs. 5-15.
- SECTRA (2015). "Encuesta Origen Destino de Santiago". Santiago de Chile: Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA).
- Serra, A. (2015). "Estudio del Impacto en el Análisis de ciclo de vida de dar o no una segunda vida a las baterías de Vehículos eléctricos". Universidad Politécnica De Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa. Págs. 19-27.
- Srivastava, R., Shetti, N., Reddy, K., & Aminabhavi, T. (2020). "Biofuels, biodiesel and biohydrogen production using bioprocesses". A review. Environ. Chem. Lett. 18, Págs. 1049–1072. doi: <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00999-7>
- Tamayo, E. (2014). "Estimación de costos para que una empresa operadora de transporte público pase de motores de combustión interna a motor a eléctricos". Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Págs. 10-37.
- Tapia, R. (2018). "Emisión de gases de efecto invernadero y contribución del Perú en mitigación y adaptación al cambio climático". Lima, Perú: Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria.
- Thompson, J. (2009). "Estudio de prefactibilidad". Análisis Económico de Alternativas. <http://todosobreproyectos.blogspot.com/2009/04/estudio-de-prefactibilidad>
- Tixce, C. (2016). "Una breve historia del autobús". Coches un medio de Transporte Colectivo. <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/una-breve-historia-del-autobus/>
- UNECE (2020). "Climate Change and Sustainable Transport". Ginebra: Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa. https://www.unece.org/trans/theme_global_warm.html
- Universia (2015). "Transporte en Lima". Estudiar en Lima. Universia España. <http://www.universia.es/estudiar-extranjero/Perú/ciudades/lima/transporte/4376>
- Universidad De Chile. (2016). "¿Qué es la Evaluación Social de Proyectos? Universidad De Chile. Evaluación Social De Proyectos.
- Universidad De Sevilla. (2017). "El primer principio en procesos cíclicos". Máquinas térmicas (GIE). Universidad De Sevilla. Departamento De Física Aplicada III. http://laplace.us.es/wiki/index.php/M%C3%A1quinas_t%C3%A9rmicas

- Uribe, S. (2011). "Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas sobre el planteamiento de la energía eléctrica como alternativa para el transporte en Colombia". *Inventum* No. 10. Facultad de Ingeniería UNIMINUTO - junio de 2011 - ISSN 1909 – 2520.
- (2016). "Factibilidad Social de un Proyecto". Identificación de impactos. Facultad de Ingeniería UNIMINUTO.
- U.S. Department of Transportation. (2010). "Public Transportation's Role in Responding to Climate Change". USA: U.S. Department of Transportation.
- Vasconcellos, E. & Mendonça, A. (2016). "Informe de Movilidad Urbana". Observatorio de Movilidad Urbana: 2015-2016. Resumen ejecutivo. <http://scioteca.caf.com/handle/123456>
- Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Larrea-Gallegos, G. & Ziegler-Rodríguez, K. (2019). "Peru's road to climate action: Are we on the right path? The role of life cycle methods to improve Peruvian national contributions". *Int. Science of the Total Environment* 659, 249–266 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.322>
- Verán-Leigh, D., Vázquez-Rowe, I. (2019). "Life cycle assessment of run-of-river hydropower plants in the Peruvian Andes: a policy support perspective". *Int. J Life Cycle Assess* 24, 1376–1395 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11367-018-01579-2>
- Verán-Leigh, D., Larrea-Gallegos, G. & Vázquez-Rowe, I. (2019). "Environmental impacts of a highly congested section of the Pan-American highway in Peru using life cycle assessment". *Int. J Life Cycle Assess* 24, 1496–1514 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1574-1>
- Wang, L., Xue, X., Zhao, Z., & Wang, Z. (2018). "The Impacts of Transportation Infrastructure on Sustainable Development: Emerging Trends and Challenges". *Int. J Environ Res Public Health* 15(6), 1172. doi:10.3390/ijerph15061172
- Williams, D., Bismarck, O., Maxwell, A., Ato, K., Benjamin, K., & Asante, E. (2017). "Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming". *Journal of Scientific Research and Reports* 17(6), 1-9.
- World Energy Trade. (2020). "Crece el transporte público eléctrico en Chile". Santiago de Chile: World Energy Trade.
- Yarde, B. (2017). "Chile lidera el mercado mundial del litio y tiene la mayor reserva junto con Bolivia y Argentina". *Nación Eléctrica. Internacional*.
- Youngson, A. (2013). "Britain's Economic Growth". Abingdon, UK: Routledge.
- Zhang, L., Long, R., Chen, H., & Yang, T. (2017). "Analysis of an optimal public transport structure under a carbon emission constraint: a case study in Shanghai, China". *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), Págs. 3348–3359. doi:10.1007/s11356-017-0660-4
- Zúñiga, V. (2014). "Propuesta de las características técnicas de un vehículo eléctrico para uso privado en Lima Metropolitana". Pontificia Universidad Católica Del Perú. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5767/ZU%3%91IGA_VICTOR_VEHICULO_ELECTRICO_PRIVADO.pdf?sequence=1

7. ANEXOS

Tabla A1: Matriz DOFA bus con motor diésel

VEHÍCULOS MOTOR DIÉSEL	
FORTALEZAS¹	Menor desgaste de sus componentes
	Funcionamiento sencillo
	Mayor rendimiento
	Mayor capacidad de carga
	Menor peligro de incendio
	Durabilidad y larga vida
	Menor costo de combustible
	Menor costo de vehículo
	Menor costo de mantenimiento
DEBILIDADES²	Mantenimiento mucho más frecuente
	Altamente contaminantes, emiten gases de efecto invernadero
	Vehículos pesados
	Motor ruidoso
	No alcanza grandes velocidades
	Pueden ocasionar problemas de salud
Es una alta fuente de calor (100° para un radio de 1 m)	
OPORTUNIDADES³	Presencia mundial
	Necesidad de transporte de grandes volúmenes
	Facilidad de transporte de elementos pesados a menor costo
	Sistema de alimentación sencillo en comparación a otros sistemas
	Reducción de costos de mantenimiento por disponibilidad de mano de obra especializada
	Diversas fuentes de financiamiento
	Actualizaciones más baratas
Disminución de la cantidad de óxidos de nitrógeno por refinamiento de combustible y mejora de los componentes internos	
AMENAZAS⁴	El sistema está cayendo en desuso por las altas exigencias de calidad
	Desaparición de las fuentes de combustible fósil necesarias para su funcionamiento
	Disminución de ventas a nivel mundial
	Altas exigencias políticas medioambientales que restringirán el uso de vehículos
	Mayores impuestos de hidrocarburos
	Las actualizaciones de software disminuyen la potencia de los vehículos coches
	Creencia que no se permitirá la circulación de estos vehículos en un futuro cercano
	Los fabricantes de vehículos están eliminando estos vehículos de sus gamas
	Tendencia a elevar el precio de combustibles fósiles
	Homogenización del precio internacional de la gasolina
	Costos adicionales para mejorar el combustible
Posible quiebra de la demanda interna en relación con la producción/consumo de petróleo	

¹ Adaptado de Sevilla (2017) y Tamayo (2014)

² Adaptado de NGK (2017)

³ Adaptado de Álvarez (2017)

⁴ Adaptado de Tixce (2016), Delzo (2014) y Agencia Nacional de Hidrocarburos (2015)

Tabla A2: Matriz DOFA bus con motor eléctrico

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	
FORTALEZAS ⁵	Beneficios en el mercado del carbono por la disminución de emisiones de GEI
	No emite gases tóxicos
	No produce material particulado causante de enfermedades respiratorias y/u oculares
	Alto rendimiento del sistema propulsor y bajo coste de operación
	Reversibilidad, el motor funcionar como consumidor/productor de energía eléctrica de las baterías
	Menor costo de motor
	Aprovechamiento eficiente del espacio interior del vehículo (motor más compacto)
	Mayor eficiencia de funcionamiento (alrededor del 90%)
	Independización del costo del mercado internacional (la energía eléctrica no depende de tantas variables)
	Potencial de uso de fuentes de energía renovable
	Mayor potencia en el arranque (utilizan energía alternativa)
	Mayor confort y calidad del aire al interior del vehículo
DEBILIDADES ⁶	Dificultad de normalización
	Altos estándares de calidad del servicio
	Costo inicial del sistema
	Vida útil de las baterías
	Autonomía limitada y mayor tiempo de recarga
	Manejo de residuos (baterías)
	Velocidad y potencia menores a las de un vehículo convencional
	Mantenimiento costoso por falta de personal calificado
	Generación de contaminación en su proceso de fabricación
	Escases de fuentes de alimentación y/o puntos de recarga
Potencial riesgo para peatones y ciclistas por no producir ruido	
OPORTUNIDADES ⁷	Gran popularidad por sus características eco-amigables
	Ventaja Ambiental por mejora en la calidad del aire
	Políticas actuales destinadas a promover la adquisición de este tipo de vehículos
	Creación de mecanismos de cofinanciación de desarrollo limpio de las Naciones Unidas
	Menor costo de fabricación por masificación
	Las grandes firmas están optando por utilizar este sistema para sus vehículos más populares
	Mejora de la eficiencia de las baterías
	Creación de redes de alimentación capaces de proporcionar energía para la recarga de vehículos
	Menores impuestos y mayores económicos a largo plazo
	Aumento en los niveles de sostenibilidad (promoción de sistemas más eficientes).
	Ambiente propicio para la creación de fuentes generadores de electricidad (océano, lagunas, ríos de gran caudal, altas precipitaciones)
	El país emplea solamente un 4.5% de su potencial hidroeléctrico, enfrentando una sobreoferta energética de alrededor del 40% de la demanda interna
	Mayor costo de oportunidad al disminuir la participación de los combustibles en el transporte desviando este recurso hacia otros proyectos
	Este sistema ya está siendo adoptado por otros países lo que permite identificar y evitar errores al momento de aplicarlo a nuestro país
Mejor regulación de las rutas de transporte (paraderos fijos)	
AMENAZAS ⁸	Aparición de nuevas tecnologías que podrían reemplazar el combustible fósil
	Falta de mano de obra especializada
	Altos costos de producción
	Mayor coste de tiempo y dinero para publicitar (tecnología poco conocida)
	Necesita la construcción de infraestructura física y tecnológica para recargar baterías
	Necesita personal capacitado para mantenimiento
	Actualmente solo se pueden obtener los motores y controles por importación
	Requiere la creación de mayores fuentes de abastecimiento de energía
El costo inicial es aproximadamente 1.8 veces mayor que un vehículo convencional	
Consolidación del vehículo eléctrico, siempre que supere el desafío del coste y el desarrollo tecnológico de las baterías	

⁵ Adaptado de Sevilla (2017) y Tamayo (2014)

⁶ Adaptado de Zúñiga (2014), Alegre (2017) y Delzo (2014)

⁷ Adaptado de Comex Perú (2016) y Alegre (2017)

⁸ Adaptado de Delzo (2014) y Alegre (2017)

Tabla A3: Matriz DOFA bus con motor híbrido

VEHÍCULOS HÍBRIDOS	
-FORTALEZAS⁹	Menor emisión de gases contaminantes (minimiza el efecto invernadero)
	Mayor eficacia en el consumo de combustible fósil
	Menor contaminación acústica (el propulsor eléctrico no emite sonido)
	Mayor autonomía que un vehículo eléctrico simple
	Menor tiempo de recarga en comparación con un vehículo eléctrico
	Se puede utilizar la potencia sobrante del motor de combustión para cargar la batería si se agota
	Motor eléctrico potente y dinámico que no se descarga si se deja conectado
	Motor de respuesta rápida, suave y eficiente
	Funciona solo con motor eléctrico para tramos cortos
	Posibilidad de recuperar la energía durante las deceleraciones (frenada regenerativa)
	Menor consumo y emisiones de CO ₂ que un vehículo tradicional
	Puede reducir las emisiones de smog hasta en un 90% y las de dióxido de carbono al 50%
	DEBILIDADES¹⁰
Utiliza materiales escasos obtenibles de procesos químicos	
Mayor peso que un vehículo convencional	
Las baterías que utiliza son tóxicas	
Mayor costo de adquisición que un vehículo convencional	
Presenta un grado de contaminación cuando el motor eléctrico está inactivo	
No apto para tramos largos y/o carreteras, sobre todo si cuentan con pendientes pronunciadas	
OPORTUNIDADES¹¹	La vida útil de las baterías se reduce por los ciclos de recarga/descarga
	Gran popularidad por sus características eco-amigables
	Mayor desarrollo del mercado a corto plazo
	Actualmente se ha alargado el tiempo de vida útil hasta 15 años
	Presenta beneficios adicionales en algunas ciudades por protocolos de contaminación
	Gracias al mayor tiempo de vida de sus componentes, las reparaciones serían menos frecuentes
	Presenta considerables reducciones fiscales por impuestos de circulación
	La compra de autos nuevos ha ido ascendiendo en los últimos años por lo que el parque automotor se renueva continuamente
	Nuestras carreteras tienen un mayor tránsito por lo que los sistemas híbridos, al recoger y utilizar nuevamente la energía cinética durante el frenado, alcanzarían un alto nivel de rendimiento comparado con el de otros vehículos convencionales
	Ha ganado popularidad en los últimos años por ganar concursos internacionales (Automóvil del Año)
Se están desarrollando baterías desechables con mayor duración y vida útil	
AMENAZAS¹²	Falta de mano de obra especializada
	Altos costos de producción por ser una tecnología aún en desarrollo
	Inadecuada disposición de las baterías (no son reutilizables por el momento)
	Requiere de tecnología e infraestructura nueva para los puntos de recarga de baterías
	Necesita personal capacitado para realizar el mantenimiento del vehículo
	Requiere la creación de mayores fuentes de abastecimiento de energía
Actualmente no puede competir con la velocidad, rendimiento y/o potencia de los vehículos convencionales	

⁹ Adaptado de Alegre (2010) y Alegre (2017)

¹⁰ Adaptado de Alegre (2017) y Delzo (2014)

¹¹ Adaptado de Delzo (2014), Lope (2010) y Alegre (2010)

¹² Adaptado de Alegre (2017) y Delzo (2014)

Tabla A4: Características modelo prototipo de bus eléctrico (Adaptado de Bojórquez, 2018)

DESCRIPCIÓN	VALOR
Masa total del vehículo	24450 kg
Velocidad máxima	90 km/hora
Velocidad máxima en operación	60 km/hora
Capacidad de pasajeros	161 personas (68 kg por persona)
Máxima Pendiente	16%
Neumáticos	275/70R22.5

Tabla A5: Sistema de propulsión prototipo de bus eléctrico (Adaptado de Bojórquez, 2018)

DESCRIPCIÓN	VALOR
Motores	Remy HV410-075-DOM (2 UNIDADES)
Potencia máxima	550 kW (2x275)
Potencia continua	450 kW (2x225)
Máximo torque	1700 N-m (2x850)
Toque continuo	1300 N-m (2x625)
Velocidad máxima	6000 rpm
Máxima eficiencia	95%
Peso	196 kg
Densidad de potencia	2.3 kW/kg
Voltaje de operación	200-700 V
Rango de torque máximo	0-3000 rpm
Rango de potencia máxima	3000-6000 rpm
Posición de los motores	Eje posterior

Tabla A6: Características sistema de transmisión de prototipo bus eléctrico (Adaptado de Bojórquez, 2018)

DESCRIPCIÓN	VALOR
Nº reductores de velocidad	2
Relación de transmisión	Fija 11.7:1
Sentido de rotación	Horario y antihorario
Torque máximo	850 N-m
Velocidad máxima	6000 rpm

Tabla A7: Características sistema de almacenamiento de energía de prototipo bus eléctrico (Adaptado de Bojórquez, 2018)

DESCRIPCIÓN	VALOR
Tipo de batería	Iones de Litio Fosfato de Hierro
Capacidad de las baterías	66 kW-h
Tiempo de recarga de las baterías	4 horas
Sistema de carga	Recambio de baterías
Nº baterías extra para cambio	2
Voltaje de las baterías	698
Peso baterías	863
Configuración	218S19P

Tabla A8: Tabla comparativa de inversión y costo anualizado para bus diésel e híbrido-diésel en Bogotá (Adaptado de Grütter, 2014)

PARÁMETRO	DIÉSEL	HÍBRIDO-DIÉSEL
Inversión adicional (\$)	-	95000
Costo anual por km (\$)	0.80	0.98 – 1.03

Tabla A9: Tabla comparativa de inversión y costo anualizado para bus diésel, híbrido-diésel e híbrido-diésel plug-in en Zhengzhou (Adaptado de Grütter, 2014)

PARÁMETRO	DIÉSEL	HÍBRIDO-DIÉSEL	HÍBRIDO-DIÉSEL PLUG-IN
Inversión adicional (\$)	-	40000	65000
Costo anualizado por km (\$)	0.85	0.83	0.86
Tiempo de retorno (años)	-	6	7

Tabla A10: Tabla comparativa parámetros para bus diésel y bus eléctrico en Shenzhen y Zhengzhou (Grütter, 2014)

PARÁMETRO	BUS ELÉCTRICO	BUS DIÉSEL
Inversión	300,000	150,000
Disponibilidad (índice)	70	100
Costos anuales de mantenimiento	Idéntico eléctrico y convencional y por ende no fue considerado (fue considerado en disponibilidad por el mayor tiempo en taller)	
Precio combustible	Electricidad: 0.08 USD/kWh	Diésel: 1.16 USD/l
Rendimiento	1.1 kWh/km	40 l/100km
Recorrido anual	60,000 km	60,000 km
Vida útil (años usados)	8	8
Tasa de interés real	3.4%	3.4%
Inversión estandarizada	430,000	150,000
Costo anualizado por km	1.12 USD/km	0.83 USD/km

Tabla A11: Comparación del desempeño, disponibilidad de combustible y emisión de las diferentes tecnologías de transporte urbano (Adaptado de Civitas, 2020)

Autobús/tecnología/fuente de energía	Combustible fósil		Biocombustible		Electricidad			Híbrido	
	Euro V diésel	Euro VI diésel	Gas natural	Bioetanol	Carga en ruta	Carga nocturna	Trolebús	Híbrido hidrógeno/ eléctrico	De serie Híbrido electricidad/ diésel
Desempeño operacional									
Rango, km	600-900	600-900	350-400	400-600	<100	100-200	Limitado por la red de suministro eléctrico	200-400	600-900
Rango de emisión cero, km	No	No	No	No	<50	150	>300	>300	No
Consumo de energía, kWh / km	4.13	4.13	5.21	4.13	1.8	1.91	1.8	3.2	3.34
Disponibilidad de combustible									
Combustible renovable o no	NO renovable	NO renovable	NO renovable	Renovable	Renovable	Renovable	Renovable	Depende de la producción de hidrógeno	combinación
Disponibilidad actual de fuentes de combustible / energía	Alto, decreciente a largo plazo	Alto, decreciente a largo plazo	Alto, decreciente a largo plazo	Muy limitada	Alta	Alta	Alta	limitada	alta
Posibilidad de que la tecnología de bus se adapte a otro combustible / portador de energía	Si, para uso de biocombustibles	Si, para uso de biocombustibles	Si, Biogás	No	Posible para el uso de energía fósil o solar, energía eólica	No	No	Posible para el uso de energía fósil o solar, energía eólica	Si, a completamente eléctrica
Emisiones									
CO ₂ eq, g/km	1000	834	1000	400-600	0 - 500	0 - 500	0 - 500	~1500*	700 - 1000
NOx, g/km	3.51	1.1	1.4-4.5	3.51	0	0	0	0	3.51
PM ₁₀ , g/km	0.10	0.03	0.005-0.03	0.10	0	0	0	0	0.10
Ruido detenido, dB	80	80	78	80	n/a	n/a	62	63	69
Ruido para el pasajero dB	77	77	78	77	n/a	n/a	72	69	73

Tabla A12: Rendimiento bus híbrido y convencional de 12m categoría Euro V en Bogotá (Grütter, 2015)

OPERADOR	BUS DIÉSEL	BUS HÍBRIDO-DIÉSEL	% AHORROS HÍBRIDO
A	39 l/100km	30 l/100km	25%
B	44 l/100km	33 l/100km	25%

Tabla A13: Parámetros para terminar las Emisiones de GEI según IPCC e IEA (Grütter, 2015)

PARÁMETRO	VALOR
NCV de diésel	43 MJ/KG
Factor de emisión de CO ₂ de diésel	74.1 gCO ₂ /MJ
Densidad de diésel	0.844 kg/l
Factor de aumento de emisiones "Wheel to tank" diésel	22%

Tabla A14: Emisiones de GEI Bus de 12m Euro V en Bogotá en gCO₂/km (Grütter, 2015)

OPERADOR	DIÉSEL		HÍBRIDO		REDUCCIÓN DE GEI
	TTW	WTT	TTW	WTW	
A	1,060	1,290	800	970	25%
B	1,200	1,460	890	1,090	25%

Tabla A15: Rendimiento Bus Híbrido y convencional en Zhengzhou (Grütter, 2015)

BUS	RENDIMIENTO EN L/100KM OR M ³ /100KM	% AHORROS
Estándar (12m) Diésel híbrido	29.5	26
Estándar (12m) Diésel convencional	40.0	-
Articulado (18m) Diésel híbrido	43.9	34
Articulado (18m) Diésel convencional	66.5	-

Tabla A16: Parámetros para Determinar Emisiones de GEI (Grütter, 2015)

PARÁMETRO	VALOR
NCV de GNC	48 MJ/KG
Factor de emisión de CO ₂ de GNC	56.1 gCO ₂ /MJ
Factor de emisión de CH ₄ de BUSES GNC	25.0 gCO ₂ /MJ
Densidad de GNC	0.714 kg/m ³
Emisiones "wheel-to-tank" GNC	11%
Factor de emisión de CO ₂ por la producción eléctrica basada en "Combined Margin"	0.72 kgCO ₂ /kWh

Tabla A17: Rendimiento Bus eléctrico y convencional de 12m en Zhengzhou (Grütter, 2015)

CARACTERÍSTICA	BUS ELÉCTRICO	BUS DIÉSEL
Consumo de energía	100 kWh/100km	40 l/100km

Tabla A18: Factor CM de Producción de Electricidad de algunos países (Adaptado de Grütter, 2015)

PAÍS	EF kgCO ₂ /kWh
Argentina	0.52
Bolivia	0.58
Brasil	0.30
Chile	0.60
Colombia	0.34
Cuba	0.87

República Dominicana	0.65
Ecuador	0.59
El Salvador	0.68
México	0.53
Nicaragua	0.69
Panamá	0.62
Perú	0.6
Uruguay	0.57

Tabla A19: Datos utilizados para modelar los impactos ambientales (Sanfélix, J 2014; Querini, F 2015; Samaras, C 2008; Notter, D 2010; Zackrisson, M 2010; Majeau-Bettez, G 2011)

IMPACTO AMBIENTAL	UNIDAD	EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DEL EV	EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE LA BATERÍA
Global-warming potential (GWP) * Samaras, C 2008 Notter, D 2010 Zackrisson, M 2010 Sanfélix, J 2014 Majeau-Bettez, G 2011	gCO ₂ eq. /kWh	3.75X10 ⁵	1.19X10 ⁵
		2.75X10 ⁵	5.26X10 ⁴
		-	2.68X10 ⁵
		-	1.74X10 ⁵
		-	2.50X10 ⁵
Eutrofización (FEP) * Querini, F 2015 Samaras, C 2008 Majeau-Bettez, G 2011	gPO ₃ ⁻⁴ eq. /kWh	3.64X10 ²	-
		-	5.36X10 ⁻¹
		-	4.50X10 ²
Acidificación (TAP) * Querini, F 2015 Majeau-Bettez, G 2011	gSO ₂ eq. /kWh	6.21X10 ²	-
		-	1.20X10 ³
Agotamiento abiótico (ADP) *Notter, D 2010 Sanfélix, J 2014	gSb eq. /kWh	2.40X10 ³	4.27X10 ²
		-	2.89X10 ⁻⁴

Tabla A20: Proyecciones del sector eléctrico peruano (Adaptado de Climatescope, 2018)

PROYECCIONES DEL SECTOR ELÉCTRICO PERUANO	
GDP	195.14\$BN
Tasa de crecimiento económico a 5 años	1.00%
Población	31.77M
Inversión Total en energía limpia 2012-2016	3.64\$BN
Capacidad de poder instalada	12.95GW
Cuota renovable	9.00%
Generación total de energía limpia	5,197.86GWH
Precio de la electricidad	113.47\$/MWH

Tabla A21: Oportunidades financieras por Fondos de Cambio Climático (Grütter, 2015)

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
NAMA facility	120 millos de euros para países en desarrollo.
Bancas regionales de desarrollo (BID, ADB, CAF)	Apoyo a la formulación de diversas NAMA's de transporte y promoción de buses de tecnología alterna
Clean Technology Fund	A través de ID para financiamiento de buses híbridos y eléctricos
Global Environment Facility	El FMAM ha identificado específicamente buses eléctricos e híbridos en su programa para el transporte sostenible.