

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE
PRODUCCIÓN Y SERVICIOS



ANÁLISIS DE ESCENARIOS DEL INGRESO DE LA MOVILIDAD
ELÉCTRICA EN EL PERÚ Y SU IMPACTO EN EL MIX ENERGÉTICO Y
EMISIONES

Tesis presentada por el bachiller:

HUANCA, MARIO MAXIMO

Para optar el grado académico de
Maestro en Gestión de la Energía con
mención en Electricidad

Asesor: Dr. Ríos Villacorta, Percy Alberto

Arequipa – Perú

2022

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Mi mamá Juanita, al Papá Rolo, a la mamita Julia que en paz descansen por su constante lucha, su amor y perseverancia para darme la oportunidad de poder desarrollarme profesionalmente.

A mi esposa Ysela, mis hijos Ángel y Sandra por su amor, paciencia y constante apoyo en estas largas horas para llegar a concluir este hito de mi vida.

A mis hermanas Antonieta y Elvira por su amor, cariño e inspiración para ser mejor cada día.

A la gran familia de Arequipa que nos apoyaron y apoyan cada día con sus palabras de aliento, soporte y su alegría.

AGRADECIMIENTOS

Mi gran agradecimiento a la Maestría de Gestión de Energía con mención en electricidad de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa “UNSA” y al Consejo de Administración de Recursos para la Capacitación en Electricidad “CARELEC” por darme la oportunidad de permitir cumplir este hito profesional.

Asimismo, mi agradecimiento por su soporte a la dirección del programa, asesores y docentes de la maestría por su constante apoyo y preocupación por el desarrollo de los tesis.

A todos los compañeros de la maestría que con sus diversos puntos de vista enriquecieron nuestros conocimientos y experiencias de vida.

PRESENTACIÓN

Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios de la Universidad Nacional de San Agustín, Sr. Director de la Escuela de Posgrado de Gestión de Energía con mención en electricidad, Sres. Miembros del Jurado.

En conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, pongo a su consideración la presente tesis: “ANÁLISIS DE ESCENARIOS DEL INGRESO DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL PERÚ Y SU IMPACTO EN EL MIX ENERGÉTICO Y EMISIONES”, cuya aprobación me permitirá, obtener el grado académico de Maestro.

Espero que esta tesis pueda contribuir a la Gestión de la Movilidad eléctrica en nuestro sector energético.

Atentamente

Mario Máximo Huanca

RESUMEN

Palabras Clave: Movilidad Eléctrica, Electromovilidad, carros eléctricos, buses eléctricos, emisiones, transporte por carretera, LEAP, sostenibilidad energética.

Los efectos adversos del cambio climático son una preocupación mundial. Muchos planes de acción para contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero han sido adoptadas por los diversos países. Al ser el transporte por carretera uno de los principales contribuidores a las emisiones de CO₂ por el uso de combustibles fósiles, la penetración de la movilidad eléctrica a nivel mundial es una de las principales iniciativas para reducir las emisiones de CO₂. El presente estudio muestra el resultado de la recopilación de información del sector de transporte terrestre peruano y a partir de la misma permite elaborar un modelo que permita cuantificar a diversos grados de penetración de los principales tipos de vehículos electrificados existentes, los impactos en la demanda energética y las emisiones de CO₂ principalmente, así como poder determinar la reducción del uso de combustible fósil.

Para su desarrollo se ordenó la información existente, se creó el modelo a seguir para poder calcular las emisiones y demanda de energía de acuerdo a los tipos de movilidades existentes y se calibraron con los registros de consumo de combustible nacionales. Seguidamente se ingresó en la plataforma LEAP¹ [1] donde se revisaron diversos escenarios de penetración de vehículos electrificados.

¹ Heaps, C.G., 2021. LEAP: The Low Emissions Analysis Platform. [Software version: 2020.1.43] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. <https://leap.sei.org>

Del análisis se pudo obtener un estimado de las demandas energéticas requeridas por los diversos escenarios de ingreso de movilidad eléctrica, ya sea vehículos eléctricos a batería, híbridos e híbridos enchufables así como las emisiones de CO₂. Se pudo comparar los impactos de adoptar una mayor acción a los automóviles frente a buses y vehículos menores a diversos porcentajes de cuota de ventas, así como ejecutar combinaciones de estas alternativas para ver sus impactos. Se pudo apreciar que más allá de forzar altas cuotas de ventas de vehículos electrificados al 2050, aun habrá una gran cuota de vehículos con combustibles fósiles en el mercado dado los tiempos de ciclo de vida de los mismos y por ende la reducción en las emisiones de CO₂ así como la reducción de consumo de combustibles fósiles será gradual en el tiempo.

ABSTRACT

Key Word: Electric Mobility, Electromobility, electric vehicles, electric buses, emissions, road transport, LEAP, energy sustainability

The adverse effects of climate change are a global concern. Many action plans to contribute to the reduction of greenhouse gases have been adopted by various countries. As road transport is one of the main contributors to CO₂ emissions from the use of fossil fuels, the penetration of electric mobility worldwide is one of the main initiatives to reduce CO₂ emissions in this sector. The present study shows the result of the compilation of information from the Peruvian transport sector, and from it permit the elaboration of a model that allows quantifying, at different degrees of penetration of the main types of existing electrified vehicles, the impacts on energy demand and CO₂ emissions mainly, as well as being able to determine the reduction in the use of fossil fuels.

For the development of the study, the existing information was ordered, the model to be followed was created to be able to calculate the emissions and energy demand according to the types of existing mobilities, and they were calibrated with the national fuel consumption records. The information was then entered into the LEAP platform [1] where various penetration scenarios for electrified vehicles were reviewed.

From the analysis it was possible to obtain an estimate of the various energy demands required by the various electric mobility entry scenarios, whether battery electric vehicles, hybrids and plug-in hybrids, as well as CO₂

emissions. It was possible to compare the impacts of adopting a greater action on automobiles versus buses and smaller vehicles at various percentages of sales quota, as well as executing combinations of these alternatives to see their impacts. It could be seen that beyond estimating high sales quotas of electrified vehicles by 2050, there will still be a large quota of vehicles that use fossil fuels in the market, mainly due to the life cycle times of these vehicles and therefore the process of the reduction in CO₂ emissions as well as the reduction in the consumption of fossil fuels will be gradual.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
PRESENTACIÓN	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ÍNDICE DE FORMULAS	XX
INTRODUCCIÓN	XXI
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	1
1.2. Problema principal.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo principal.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Hipótesis de la investigación.....	3
1.5. Variables e Indicadores	3
1.5.1. Variable Independiente	3
1.5.2. Variable Dependiente.....	3

1.6.	Viabilidad de la investigación.	3
1.6.1.	Viabilidad técnica	3
1.6.2.	Viabilidad operativa.	4
1.6.3.	Viabilidad económica.	4
1.7.	Justificación e Importancia de la Investigación.	4
1.7.1.	Justificación	4
1.7.2.	Importancia.....	4
1.8.	Alcance	4
1.9.	Tipo y Diseño de la investigación	4
1.9.1.	Tipo de la investigación.....	4
1.9.2.	Diseño de la investigación.....	5
1.10.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	5
1.10.1.	Técnicas.	5
1.10.2.	Instrumentos.....	5
 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO		6
2.1.	Antecedentes de la Investigación.....	6
2.1.1.	Sobre el Proyecto de Planificación ante el Cambio Climático (Proyecto PlanCC) (2014) 6	
2.1.2.	NAMA de Transporte de Transporte Urbano Sostenible del Perú (2015)	7
2.1.3.	Diagnóstico, Evaluación, Análisis y Propuesta para Apoyar la NAMA de Preparación del Sector Energético para la Transformación hacia una Matriz Energética Limpia a Través del uso de Transporte Limpio en el Perú (2017).....	9
2.1.4.	Estimación de los rendimientos de una flota representativa de buses en el ámbito de Lima Metropolitana (2018)	10
2.1.5.	Estimación de los rendimientos de una flota representativa de automóviles usados como taxi en el ámbito de Lima Metropolitana (2019)	11
2.1.6.	Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima (2020)	12
2.1.7.	Plan Nacional de Electromovilidad – Estudio elaborado para la Asociación Automotriz del Perú (2021)	13
2.1.8.	Hoja de ruta de transición hacia un Perú sin emisiones 2030-2050 – Deloitte – Enel Perú	13
2.2.	Estado del Arte	15
2.2.1.	Mitigación de CO2 en el sector transporte por carretera en Tailandia: Análisis de Eficiencia Energética y Bio-energía	15

2.2.2.	Mitigación de CO2 en el sector transporte por carretera en Tailandia: Análisis de Eficiencia Energética y Bio-energía	16
2.2.3.	Pronóstico a largo plazo de la demanda de energía y combustibles hacia un transporte por carretera sostenible en Ecuador (2016-2035): Un modelo de aplicación en LEAP	17
2.3.	Definiciones sobre movilidad	19
2.3.1.	Sobre los vehículos electrificados	19
2.3.2.	Sobre los vehículos con motor de combustión interna	21
2.3.3.	Sobre la clasificación de los vehículos utilizados en el MTC	21
2.4.	Sobre el módulo de transporte en LEAP	23
2.4.1.	Sobre el LEAP	23
2.4.2.	Sobre el análisis de rotación de existencias aplicado al sector transporte... 24	
2.4.3.	Sobre la metodología de implementación en la plataforma LEAP del sector transporte. 25	
2.4.4.	Principales ecuaciones del modelo de análisis de existencias en el transporte 26	
2.5.	Factores de emisión	29
CAPÍTULO III DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL		30
3.1.	Sobre la situación mundial de la movilidad eléctrica	30
3.1.1.	Sobre las existencias mundiales por tipo de movilidad electrificada	31
3.1.2.	Sobre el desplazamiento de combustibles por electricidad por la movilidad eléctrica a nivel mundial	35
3.2.	Sobre el consumo de energéticos en el Perú [5]	35
3.3.	Sobre el consumo de energéticos en el sector transporte	37
3.4.	Sobre las emisiones de gases en el Perú	39
3.5.	Sobre el sector del transporte terrestre en el Perú	40
3.5.1.	Sobre el tamaño del Parque Automotor Peruano	40
3.5.2.	Sobre la Importación anual de vehículos automotores	41
3.5.3.	Sobre la venta de vehículos electrificados en el Perú	43
3.5.4.	Sobre los vehículos por tipo de combustible a nivel nacional.....	47
3.5.5.	Sobre el recorrido y consumo de combustible de los vehículos	49
3.5.6.	Sobre la antigüedad del parque automotor.....	62
3.6.	Sobre el consumo de combustible en el sector de transporte terrestre	63

3.6.1.	Sobre el consumo de combustibles líquidos.....	63
3.6.2.	Sobre el consumo de GNV vehicular	63
3.6.3.	Sobre el consumo de GLP automotor.....	64
3.7.	Otros aspectos que influyen en la determinación del impacto de la movilidad eléctrica	64
3.7.1.	Sobre las conversiones de vehículos a gas natural.....	64
3.7.2.	Sobre la encuesta residencial de consumo y usos de energía referente al consumo de GNV vehicular y GLP automotor	65
3.7.3.	Sobre del Producto Bruto Interno y la población del Perú	66
CAPÍTULO IV ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA		70
4.1.	Generalidades.	70
4.2.	Consideraciones sobre el modelo utilizado para el análisis.....	71
4.3.	Elaboración del esquema de la propuesta	72
4.3.1.	Sobre la creación de las asunciones clave	73
4.3.2.	Creación de los elementos sobre los cuales se hará el análisis	73
4.3.3.	Creación de los tipos de combustible y/o tipos de fuente de energía utilizados en cada una de los tipos de tecnología analizados.	73
4.3.4.	Preparación del inventario de combustibles y emisiones para el año base (Current accounts).....	75
4.3.5.	Creación del escenario de referencia Como Usual (BAU – Business as Usual)	81
4.3.6.	Definición de escenarios	86
5.1.	Análisis del caso base	105
5.2.	Análisis de los escenarios propuestos.	106
5.2.1.	Sobre los escenarios de incremento del ingreso de automóviles eléctricos	106
5.2.2.	Sobre los escenarios de incremento del ingreso de buses eléctricos	112
5.2.3.	Sobre los escenarios de incremento del ingreso de vehículos menores eléctricos (motos y trimotos).	113
5.2.4.	Sobre los escenarios de combinación de las 3 alternativas.	116
5.3.	Resumen del análisis de los escenarios propuestos.	119
5.3.1.	Análisis de las existencias de vehículos por tipo de tecnología	119
5.3.2.	Análisis del combustible desplazado por el ingreso de movilidad eléctrica.	123

CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES.....	127
GLOSARIO DE TÉRMINOS	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Stock de vehículos electrificados a nivel mundial	31
Figura 2: Evolución del Consumo Final de Energía en Perú por sectores(TJ) ..	36
Figura 3: Tipo de fuente de energía en el Consumo Final (TJ)	37
Figura 4: Consumo final de energía en el Sector transporte por tipo de transporte	38
Figura 5: Consumo final de energía en el Transporte terrestre por tipo de combustible	38
Figura 6: Emisiones 2018 en el Perú por sector.....	39
Figura 7: Emisiones de CO ₂ por consumo de combustible en el sector transporte	40
Figura 8: Modelo utilizado para el cálculo energía demandada y emisiones ...	72
Figura 9: Demanda total de energía –BAU Escenario.....	105
Figura 10: Emisiones totales de CO ₂ -Escenario BAU	106
Figura 11: Demanda final de energía – Escenario automóviles	108
Figura 12: Emisiones de CO ₂ -Escenario Automóviles	108
Figura 13: Demanda final de energía - Escenario buses eléctricos	113
Figura 14: Emisiones de CO ₂ – Escenario buses eléctricos.....	114
Figura 15: Demanda de energía final-Escenario vehículos menores	114
Figura 16: Emisiones de CO ₂ – Escenario de vehículos menores.....	115
Figura 17: Demanda final de energía – Escenarios Bajo, Medio y Alto de penetración de movilidad eléctrica	118

Figura 18: Emisiones de CO ₂ -Escenarios bajo, medio y alto de penetración de movilidad eléctrica.....	118
Figura 19: Evolución de las existencias y ventas por tipo de vehículos y tipo de tecnología (Escenario de alta penetración B).....	120
Figura 20: Barriles de diésel equivalente dejados de consumir	123
Figura 21 Energía de combustible fósil dejado de consumir.	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de emisión en unidades móviles por tipo de combustible....	29
Tabla 2: Existencias mundiales por tipo de movilidad electrificada (millones de unidades).....	32
Tabla 3: Existencias mundiales de vehículos electrificados (en millones de unidades).....	32
Tabla 4: Existencias mundiales de buses electrificados (en millones de unidades)	33
Tabla 5: Stock mundial de vans electrificados (en millones de unidades).....	34
Tabla 6: Stock mundial de camiones electrificados (en millones de unidades)	34
Tabla 7: Desplazamiento de combustible por el uso de movilidad eléctrica (en millones de barriles de gasolina)	35
Tabla 8 Parque de vehículos menores inscritos del 2009 al 2018	41
Tabla 9: Ventas de vehículos en el Perú 2019 – 2020 [23].....	42
Tabla 10: Venta de vehículos electrificados [24]	43
Tabla 11: Parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo 2007-2018 [20] (en unidades vehiculares)	44
Tabla 12: Importación de vehículos automotores, según estado y clase vehicular: 2007-2019 [22]	45
Tabla 13: Venta de vehículos livianos y pesados – Eléctricos e híbridos 2019-2020 [26]	47
Tabla 14: Número de vehículos menores según tipo de combustible, 2017	47

Tabla 15: Número de vehículos mayores según tipo de combustible, 2017	48
Tabla 16: Estructura del consumo de combustible por tipo de vehículo al 2012	49
Tabla 17. Economías de combustible de diversos vehículos	51
Tabla 18: Porcentaje de vehiculos de transporte de carga y de pasajeros por antigüedad.....	62
Tabla 19: Consumo de combustibles líquidos a nivel nacional en puestos de venta al público	63
Tabla 20: Consumo de GNV (miles de m3).....	63
Tabla 21: Consumo de GLP automotor (galones).....	64
Tabla 22: Activaciones de vehículos a GNV.....	65
Tabla 23: Usos de combustibles de uso vehicular en los hogares.	66
Tabla 24: Evolución de la tendencia de vehículos motorizados (%).....	66
Tabla 25: Producto Bruto Interno y otros indicadores del Perú	67
Tabla 26: Proyección de PBI y Población 2021-2050	68
Tabla 27: Tipos de vehículo y tipos de tecnología analizados.....	74
Tabla 28: Tipos de combustible y/o fuente de energía utilizada para los vehículos	75
Tabla 29: Factores de ajuste por recorrido por tipo de vehículo y por tipo de combustible.	79
Tabla 30: Factores de emisión utilizados	80

Tabla 31: Coeficientes de regresión lineal Cantidad de tipos de vehículos mayores en función del PBI.....	83
Tabla 32: Coeficiente de regresión lineal Cantidad de tipos de vehículos menores en función de la población.....	84
Tabla 33: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario BAU	87
Tabla 34: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Automóviles 20%, 30%, 40%, 50% y 70%.....	89
Tabla 35 Porcentaje de distribución de ingreso de los diversos tipos de vehículos electrificados al 2050 del escenario de ingreso de Autos eléctricos.....	91
Tabla 36: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Buses 30%, 60% y 90%	95
Tabla 37: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Motos 30%, 60% y 90%.....	97
Tabla 38: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de baja penetración de movilidad eléctrica.....	99
Tabla 39: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de penetración media de movilidad eléctrica.....	101
Tabla 40: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de alta penetración de movilidad eléctrica.....	103
Tabla 41 Demanda de Total de Energía – Escenario Autos (miles de TJ).....	109
Tabla 42 Emisiones de CO2 – Diferencias con Escenario BAU (Millones de TM)	112

Tabla 43 Diferencias de Demanda de Energía vs el escenario BAU de los escenarios combinados de ingreso de vehículos electrificados	116
Tabla 44 Diferencias de emisiones de CO ₂ a vs el escenario BAU de los escenarios combinados de ingreso de vehículos electrificados	117

ÍNDICE DE FORMULAS

Fórmula 1	Existencias en el año por tipo de vehículo por año de antigüedad	26
Fórmula 2	Existencias totales al año de referencia	26
Fórmula 3	Economía de combustible en el año de referencia por tipo de vehículo y por antigüedad	27
Fórmula 4	Recorrido.....	27
Fórmula 5	Consumo de energía vehicular en el año de la referencia por tipo de vehículo por antigüedad	28
Fórmula 6	Emisiones por tipo de vehículo por tipo de contaminante por recorrido	28
Fórmula 7	Cálculo de emisiones en función del consumo de energía	29

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal desarrollar un modelo que permita realizar un análisis del impacto de diversos escenarios de la penetración de la movilidad eléctrica en la balanza de hidrocarburos, así como en las emisiones de CO₂.

El trabajo inició con una revisión bibliográfica y del estado del arte de las distintas metodologías para medir el impacto en el ingreso de vehículos eléctricos en los países en términos de mix energético y emisiones. Se revisaron diversos trabajos realizados en el Perú que permitan la obtención de data base para el presente trabajo.

De acuerdo a la investigación no se cuenta con modelos que permitan a través de los mismos cuantificar el impacto de diversas alternativas de uso de movilidad eléctrica y su impacto en el mix de combustibles del Perú, que pueda ser reproducido en softwares de planificación energética como el LEAP. Estos modelos permitirán su entendimiento y servirán para la construcción para otros escenarios de ingreso de movilidad eléctrica de acuerdo a diversos supuestos de aplicación regulatoria, incentivos y variables macroeconómicas y del mercado entre otros.

Los tipos de vehículos evaluados para la medición del impacto del ingreso de movilidad eléctrica en el presente estudio tomados en cuenta para la evaluación son los automóviles y camionetas, los buses y los equipos menores (motos y moto taxis).

El capítulo I se habla sobre el planteamiento del problema.

El capítulo II incluye el marco teórico, en el cual se incluyó diversos trabajos realizados en el Perú que permiten tener información para la realización del presente estudio tales como la metodología y factores utilizados en los reportes al UNFCCC sobre los gases de efecto invernadero, diversos trabajos de estimación real de consumos de combustible y emisiones de taxis y buses en el Perú. Así mismos se incluyó estudios de análisis y diseño de negocios para buses eléctricos, planes de electro movilidad propuestos por entidades privadas. También en este capítulo se incluyó algunos resúmenes de investigaciones realizadas en otras partes del mundo sobre penetración de movilidad eléctrica tales como en Tailandia, Corea y Ecuador. En el marco teórico se incluyó definiciones de los principales vehículos electrificados tales como Vehículos eléctricos a batería (BEV), Vehículos híbridos enchufables (PHEV) y no enchufables (HEV), así mismo como se clasifican los diversos tipos de vehículo en el Perú y finalmente una descripción del módulo de transporte en LEAP incluyendo su metodología de rotación de existencias. Variables relevantes como existencias, ventas, economía de combustible, factor de emisión, recorrido promedio, factor de ajuste promedio, curva de ciclo de vida de degradación, expectativa de vida son explicados en el presente capítulo.

En el capítulo III se realiza un diagnóstico de la situación actual que incluyó la situación de la movilidad eléctrica a nivel mundial por tipo de tecnología (buses, vans, vehículos, camiones). A continuación, se hizo una revisión del consumo de energéticos del Perú por los diversos sectores, profundizando en el sector de transporte terrestre. Seguido se consideró una descripción de las flotas de transporte terrestre a 2018 así como las ventas de vehículos de 2018, 2019 y

2020 por tipo de vehículo. Se presenta información sobre la edad del parque automotor, recorridos y economías de combustible promedio. Finalmente se presenta estadísticas de venta de combustible líquido como gasolinas, gasoholes, diésel, glp, gnv de 2018, 2019 y 2020, información que sirvió para calibrar el modelo a utilizar. Así mismo se coloca información sobre indicadores que puedan mostrar las conversiones vehiculares a GNV y datos de encuestas para tener una aproximación de los vehículos a GLP, dado que este tipo de conversión no está tan regulada como la conversión a GNV. Finalmente, la evolución histórica del PBI y población, que ha sido consideradas para la cuantificación de la evolución de la movilidad eléctrica.

En el capítulo IV se presenta la elaboración de la propuesta donde se presenta el esquema del modelo a utilizar, así como las asunciones clave tomadas en cuenta, las existencias y las ventas en el año base por tipo de vehículo y tipo de combustible consumido, los factores de emisión, economías de combustible, recorridos estándar tomadas en cuenta y sus factores de ajuste entre otros, los perfiles de antigüedad de los vehículos, así como los perfiles de supervivencia entre otros. A continuación, se crea el modelo del caso base (BAU) con el supuesto que todo sigue con las tasas de crecimiento tal cual estamos en la actualidad. El crecimiento de las ventas en función del producto bruto interno per cápita o crecimiento poblacional. Finalmente se elaboraron los escenarios de ingreso de automóviles eléctricos entres tasas de penetración de 20 a 70%, buses con tasas de penetración de 30 a 90% así como vehículos menores con tasas de penetración entre 30 y 90%. Luego se analizaron escenarios combinados de baja, media y alta penetración de vehículos eléctricos.

En el capítulo V se realizó el análisis e interpretación de los resultados de los diversos escenarios, se comparan contra el escenario base tanto a nivel de CO₂ como a nivel de desplazamiento de combustible vehicular.

Finalmente se emiten las conclusiones y recomendación del presente trabajo de tesis.

CAPÍTULO I :

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

En la actualidad, la generación de electricidad en el Perú de manera principal utiliza fuentes de energía hidráulica y de gas natural. Esto pone en posición al Perú de tener costos competitivos de energía eléctrica en el mercado libre de electricidad y generación con bajas emisiones de CO₂. Existen en cartera diversos proyectos de generación eléctrica en base a energía eólica, solar, hidráulica que hacen prever un sistema eléctrico que puede vivir alejado de los hidrocarburos líquidos.

Por otro lado, el sector transporte peruano principalmente utiliza combustibles fósiles para su funcionamiento. Por ejemplo, en el sector por carretera (que constituye el 95% de consumo de combustibles) principalmente se utiliza gasolina en equipos livianos y diésel en los equipos pesados y de transporte masivo.

Nuestra balanza de hidrocarburos principalmente es deficitaria por lo que se hace necesario la importación de petróleo para poder sostener nuestro consumo energético. Las refinerías en el Perú deben de importar el petróleo del exterior para que se traten, tanto por nuestra baja producción petrolera como las especificaciones de calidad de diésel que pueden tratar las refinerías del país.

En Lima se ha tenido grandes avances de conversión de vehículos livianos a gas natural, así mismo en ómnibus se ha producido este cambio, pero aun en una escala menor. La masificación del gas natural fuera de Lima aún es muy baja.

En el mundo, la tecnología de movilidad eléctrica avanza de manera acelerada, se observa que el sector automotriz, el sector de hidrocarburos, el sector de energía, los gobiernos entre otros han puesto fuertes inversiones en el desarrollo y/o implementación de estas tecnologías en el mundo.

Así mismo es de saber en la actualidad que la reserva de gas en Camisea bordea alrededor de los 18 años, periodo después del cual (o un poco antes) deberá pensarse en el cambio tecnológico de la movilidad que usa ese combustible o la importación de dicho combustible. Esto adicionalmente traerá consigo que el gas pasará de un precio regulado a un precio que dependerá de las condiciones de mercado.

1.2. Problema principal.

En la actualidad no se cuenta con investigaciones que cuantifiquen el impacto de diversas alternativas de uso de movilidad eléctrica y su impacto en el mix de combustibles del Perú en software de planificación energética como el LEAP.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

Realizar análisis del impacto de diversos escenarios de la penetración de la movilidad eléctrica en la balanza de hidrocarburos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisión bibliográfica y del estado del arte de las distintas metodologías para medir el impacto en el ingreso de vehículos eléctricos en los países en términos de mix energético y emisiones.

- Revisión bibliográfica de los trabajos realizados en el Perú al respecto.
- Elaboración del modelo BAU (Como usual) del transporte por carretera actual.
- Elaboración de escenario de ingreso de movilidad eléctrica en las diversas tecnologías.
- Análisis de los diversos escenarios.

1.4. Hipótesis de la investigación.

Se puede modelar el sistema nacional en LEAP y así poder determinar el impacto de las diversas iniciativas de vehículos eléctricos en el mercado de hidrocarburos, el mix energético y las emisiones.

1.5. Variables e Indicadores

1.5.1. Variable Independiente

Número de vehículos eléctricos por tipo

1.5.2. Variable Dependiente

Demanda de energía

Emisiones

1.6. Viabilidad de la investigación.

1.6.1. Viabilidad técnica

Se requiere del software LEAP, el cual ha sido debidamente adquirido por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa para la realización de la tesis.

1.6.2. Viabilidad operativa.

Se dispone del tiempo para la realización del trabajo de investigación

1.6.3. Viabilidad económica.

La investigación se sostendrá en diversas investigaciones realizadas al respecto por lo que no requiere de mayor inversión, salvo la del software adquirido.

1.7. Justificación e Importancia de la Investigación.

1.7.1. Justificación

Es relevante conocer el impacto de las diversas iniciativas de movilidad eléctrica y conocer el real impacto de cada iniciativa en el mix energético

1.7.2. Importancia.

Es de suma importancia conocer con cierta profundidad que alternativas son las que brindan los mejores impactos en el mix energético.

1.8. Alcance

El alcance tendrá un alcance nacional a nivel macro.

1.9. Tipo y Diseño de la investigación

1.9.1. Tipo de la investigación.

El tipo de investigación será documental, es decir se recopilará información y data existente de los diversos ministerios, investigaciones, Asociación Automotriz del Perú, investigaciones relacionadas, para en base a las mismas poder cargar la

información en LEAP y realizar las simulaciones de diversos escenarios de ingreso de movilidad eléctrica en LEAP.

1.9.2. *Diseño de la investigación.*

El diseño de la tesis es no experimental. En función a la información de la evolución del ingreso de vehículos al transporte por carretera se plantearán escenarios de ingreso y reemplazo de dichos vehículos eléctricos.

1.10. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

1.10.1. *Técnicas.*

La técnica a aplicar será la de recopilación documental y bibliográfica,

1.10.2. *Instrumentos.*

Básicamente se realizará mediante el uso de internet.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

En el presente acápite se muestra los principales trabajos o proyectos realizados en el Perú para la definición de acciones para luchar contra el cambio climático, centrándonos en aquellos que son insumo para poder elaborar un modelo que permita evaluar el impacto del ingreso de la movilidad eléctrica en el consumo de energía de hidrocarburos del país así como las emisiones producidas por los diversos tipos de vehículos.

2.1.1. Sobre el Proyecto de Planificación ante el Cambio Climático (Proyecto PlanCC) (2014)

En 2014, dentro del trabajo del Proyecto de Planificación ante el Cambio Climático (Proyecto PlanCC²) en el Reporte Final [2] de la Fase 1 incluyó el caso base (BAU) de la proyección de las emisiones y consumo de combustible de los diversos subsectores del país incluidos en el subsector transporte, él cual es el de mayor influencia. Para su elaboración existieron limitaciones para estimar las emisiones de los sub-sectores aviación civil (nacional) y marítimo, y por otro, el hecho de que según el último inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) reportado a la Convención

² El Proyecto PLANCC fue diseñado con la participación de instituciones públicas, privadas y no gubernamentales bajo el liderazgo de un Comité Directivo Gubernamental, presidido por el Ministerio del Ambiente e integrado por el Ministerio de Relaciones Exteriores, el Ministerio de Economía y Finanzas, y el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), la coordinación de Libélula y con el apoyo financiero del Children's Investment Fund Foundation(CIFF), la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN). El Proyecto es parte del programa MAPS, una colaboración entre países en desarrollo (Sudáfrica, Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú) para apoyar el establecimiento de una base de evidencia útil para la transición de largo plazo hacia economías sólidas "compatibles con el clima".

Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) tomando como año base 2000, concluía que el transporte terrestre aportaba el 95% de las emisiones del subsector transporte.

En este estudio, la determinación de la flota de transporte terrestre se realizó mediante proyecciones del número de unidades por categoría vehicular de la siguiente manera: en el caso de los vehículos mayores se estimaron mediante la variable PBI per cápita, así como en el caso de los vehículos menores se estimó mediante la variable población.

La proyección del consumo de combustible fue estimada por cada categoría de vehículo, la calibración de dicha proyección fue calibrada con la base a la data histórica reportada en los Balances Nacionales de Energía emitidos por el Ministerio de Energía y Minas.

Finalmente, la estimación de emisiones fue realizada mediante el uso de factores de emisión del IPCC.

Los supuestos fueron consultados y validados con expertos sectoriales, a través de reuniones con los Grupos Técnicos Consultivos y en reuniones específicas. Por otro lado, se consideró como constante la eficiencia de las unidades vehiculares en el período de estudio.

2.1.2. NAMA de Transporte de Transporte Urbano Sostenible del Perú (2015)

En 2015, se trabajó el NAMA de Transporte de Transporte Urbano Sostenible del Perú [3] donde se propuso revertir los conglomerados de automóviles en base a dos componentes básicos: la provisión de transporte público de alta calidad y la optimización de la flota vehicular.

El principal elemento de las políticas a implementar incorporaba:

- a) El sistema de transporte público masivo integrado en el Área Metropolitana de Lima y Callao.
- b) El transporte no motorizado.
- c) Institucionalidad para la gestión del transporte urbano de Lima y Callao,
- d) Aplicación y cumplimiento de las normas de emisiones y la introducción de un sistema de etiquetado para los vehículos ligeros.
- e) Modernización de la flota de transporte público.
- f) Programa Nacional para apoyar a los gobiernos locales en materia de transporte urbano sostenible.

En la actualidad, la NAMA de Transporte Eléctrico busca mejorar la eficiencia energética en el sector transporte a través de la promoción de transporte eléctrico (vehículos ligeros y buses) en el parque automotor nacional. Esto resulta en reducciones de emisiones locales con menor uso de combustibles contaminantes y a través del uso de electricidad de una matriz eléctrica relativamente limpia (hidroelectricidad y gas natural).

Los escenarios que el proyecto ha diseñado para esta NAMA son:

- a) Realista: Se espera que el 5% de la flota de automóviles y buses sean eléctricos al año 2030.
- b) Optimista: Se espera que el 10% de la flota de automóviles y buses sean eléctricos al año 2030.

2.1.3. Diagnóstico, Evaluación, Análisis y Propuesta para Apoyar la NAMA de Preparación del Sector Energético para la Transformación hacia una Matriz Energética Limpia a Través del uso de Transporte Limpio en el Perú (2017)

En 2017 se hizo un estudio [4] de Diagnóstico, Evaluación, Análisis y Propuesta para Apoyar la NAMA de Preparación del Sector Energético para la Transformación hacia una Matriz Energética Limpia a través del uso de Transporte Limpio en el Perú. El estudio consideró varias opciones para el reemplazo de la matriz energética actual hacia el uso de vehículos eléctricos e híbridos, considerando un análisis de los costos, rentabilidad, y potencial para mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El estudio también toma en cuenta las necesidades de los usuarios, las restricciones normativas, consideraciones económicas, experiencias de otros países y propone un cronograma de la primera fase de implementación en sus cuatro (4) primeros años. El estudio evalúa tanto vehículos ligeros, como pesados (pasajeros y carga), proponiendo opciones de movilidad eléctrica e híbrida siempre que resulten más apropiadas que las opciones existentes hoy tales como el gas natural. Dentro de los principales proyectos evaluados con mejores perspectivas tenemos el uso de Moto-taxis eléctricas, autobuses eléctricos, autos eléctricos para los ministerios, taxis eléctricos para el Aeropuerto de Lima.

2.1.4. Estimación de los rendimientos de una flota representativa de buses en el ámbito de Lima Metropolitana (2018)

En 2018 se realizó el Servicio de Consultoría para la “Estimación de los rendimientos de una flota representativa de buses en el ámbito de Lima Metropolitana” a través de la aplicación de encuestas y procesos de determinación mediante pruebas de laboratorio del contenido de carbono en combustibles (diésel y gasolina). El estudio [5] estimó los rendimientos en unidades de distancia/volumen de los buses de forma caracterizada y determinó el contenido de carbono (porcentaje en peso) de combustibles diésel y gasolina a través de muestras analizadas en laboratorio. Para esto se recopiló información reciente sobre el consumo de combustibles (diésel y gasolina) para vehículos a nivel nacional y en Lima Metropolitana identificando su participación según procedencia de refinería, recopilación de muestras de diésel (06) y gasolina de 95 octanos (04), 90 octanos (04) y 84 octanos (01), haciendo un total de 15, para su preparación y envío a laboratorio para el cálculo del contenido en carbono de los combustibles, preparó una clasificación de buses que pueda agruparlos según: rango de años de fabricación, tipo de combustible, longitud, ruta, marca, etc. El estudio permitió identificar las empresas de buses que operan en el ámbito de Lima Metropolitana y realizó un inventario caracterizado. Asimismo, diseñaron y aplicaron encuestas a una muestra representativa de buses que permitieron obtener datos de su rendimiento, determinar los rendimientos de los buses agrupándolos estadísticamente según tipo de combustible, año de fabricación y longitud, Finalmente estimaron factores de emisión de gases de

efecto invernadero por distancia recorrida (gCO_2/km) según caracterización de los buses (año, combustible y longitud).

Los resultados obtenidos señalan dos caminos para la mejora (reducción) de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en los sistemas de buses en Lima:

- a) De manera inmediata, la transformación del sistema a vehículos mayores permitiría reducir el volumen de kilómetros recorridos, con la subsiguiente mejora global. El cambio de camionetas rurales y microbuses a buses (tanto de 9 como 12 y 18 m) permitiría una reducción global relevante del kilometraje recorrido y, con ella, de las emisiones GEI. Complementariamente, una reducción en la edad promedio del parque mejoraría también marginalmente los factores de emisión observados, según los resultados presentados en el apartado anterior.
- b) A largo plazo, solo la introducción de vehículos eléctricos permitiría reducir el volumen de emisiones, pues el cambio de combustible (GNV en vez de Diésel) no aporta mejoras de acuerdo a este estudio.

2.1.5. Estimación de los rendimientos de una flota representativa de automóviles usados como taxi en el ámbito de Lima Metropolitana (2019)

En 2019 se realizó un servicio que brindó una estimación de los rendimientos de una flota representativa de automóviles usados como taxi en el ámbito de Lima Metropolitana a través de la aplicación de encuestas y proceso de determinación de parámetros en combustibles (diésel y gasolina) mediante pruebas en laboratorio internacional. En este estudio [6] se estimó

los rendimientos en unidades de distancia/volumen de los taxis de forma caracterizada y determinó el contenido de carbono (porcentaje en peso) de combustibles diésel y gasohol a través de muestras analizadas en laboratorio. Para esto se tomaron muestras correspondientes a 6 muestras de gasohol de 90 octanos (G90), 6 muestras de gasohol de 95 octanos (G95) y 8 muestras de Diésel con 5% de biodiesel (DB5) de diversas estaciones de servicio. Así mismo prepararon una clasificación de taxis de acuerdo a sus edades, así como establecieron los rendimientos en KJ/km de los diversos tipos de unidades como son solo gasolina, diésel, GLP, GNV, así como por las marcas y modelos más utilizados por los taxistas en Lima y Callao. También el estudio hizo una caracterización del recorrido promedio diario de los taxis. Así mismo una evaluación de los costos de operación y mantenimiento de los taxis.

2.1.6. Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima (2020)

En 2020 se realizó un estudio de Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima, Perú [7] que corresponde a la asistencia técnica ofrecida, por el Banco Interamericano de Desarrollo, a la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE) del Ministerio de Energía y Minas de Perú (MINEM) con el objetivo de evaluar la viabilidad económica del uso de autobuses eléctricos de 12 metros relacionados al mecanismo de remuneración de los corredores complementarios y establecer modelos de negocio y mecanismos de financiación para la masificación de la tecnología en la ciudad de Lima, Perú.

El resultado del análisis muestra que para que el costo total de la propiedad (TCO) del bus eléctrico sea comparable con los buses convencionales, se requiere: ampliar el horizonte operacional del bus eléctrico hasta 14 años, tener flexibilidad en la operación para poder realizar al menos una recarga a la batería durante el día y disponer de financiamiento en condiciones concesionales, sobre todo para hacer competitiva la tecnología eléctrica con la de gas natural.

2.1.7. Plan Nacional de Electromovilidad – Estudio elaborado para la Asociación Automotriz del Perú (2021)

Este estudio [8] da una propuesta de desarrollo de la electromovilidad en el Perú. Revisa diversas experiencias de otros países y de Latinoamérica. Se realiza una proyección de la demanda de los vehículos eléctricos en función a la experiencia de Latinoamérica. La obtención del punto de equilibrio de los costos totales de operación entre las tecnologías eléctricas y los de combustible fósiles también es revisada.

2.1.8. Hoja de ruta de transición hacia un Perú sin emisiones 2030-2050 – Deloitte – Enel Perú

Este estudio [9] propone una visión de largo plazo para lograr el cumplimiento de los compromisos internacionales de reducción de emisiones del Perú al horizonte 2050 y su camino a la transición hacia un escenario de carbono neutralidad. Así mismo brinda recomendaciones de políticas energéticas con un hito intermedio al 2030 para una des carbonización eficiente.

Se establecieron 3 escenarios:

- El escenario BAU que contiene medidas de mitigación a partir del año 2030 siguiendo fielmente los lineamientos establecidos por el gobierno peruano.
- En el escenario Increased Ambition se tomaron medidas de mitigación y cambios en la matriz energética para maximizar potencialmente todos los sectores siguiendo los lineamientos de las NDC nacionales no condicionadas.
- El último escenario es el Green Development, el cual incluye las medidas del escenario anterior, pero con el objetivo de maximizar los beneficios de la des carbonización y alcanzar la carbono neutralidad.

Dentro del sector transporte, se identificaron 4 campos de acción tales como reducir la intensidad energética de los vehículos, cambio a modos de movilización libre de emisiones, el cambio modal al tren sobre todo el transporte de carga, así como incrementar el uso del transporte público, uso de bicicletas y/o la promoción del trabajo remoto.

Los grados de penetración previstos en el ingreso de movilidad eléctrica en los escenarios fueron los siguientes:

- Escenario Increased ambition:
 - o Penetración de los Vehículos eléctricos a batería (VEB): A 2030 en 10% y a 2050 en 32%.
 - o Penetración de buses eléctricos: A 2030 en 13% y a 2050 en 40%
 - o Penetración de camiones de transporte de carga liviana: A 2030 en 7% y a 2050 en 24%.

- Escenario Green Development:
 - Penetración de los VEB: A 2030 en 25% y a 2050 en 80%.
 - Penetración de buses eléctricos: A 2030 en 25% y a 2050 en 100%
 - Penetración de camiones de transporte de carga liviana eléctricos: A 2030 en 19% y a 2050 en 60%.

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Mitigación de CO₂ en el sector transporte por carretera en Tailandia: Análisis de Eficiencia Energética y Bio-energía

Sritong, Promjiraprawat y Limmeechokchai [10] realizaron en Tailandia la predicción del número de vehículos por tipos, así como estimó el consumo de energía y las emisiones de CO₂ bajo un escenario business-as-usual y analizó diversas acciones de transporte mediante el uso de la metodología LEAP considerando 2 escenarios: realístico e idealístico.

Dentro de las acciones analizadas se consideró:

- 1) El cambio de uso de medios de transporte hasta un 10 y 30% de reemplazo
 - a) de movilidades particulares a buses,
 - b) de motocicletas a vehículos sin motor y
 - c) de buses a vehículos sin motor;
- 2) El cambio de combustibles a aquellos que tienen un menor factor de emisión de CO₂, de igual manera en escenarios de cambio de 10% y 30% del total de unidades;

3) El ingreso de nuevas tecnologías, tales como el vehículo eléctrico, el vehículo híbrido recargable y el vehículo híbrido. Los ingresos de estas nuevas tecnologías se consideraron en diversas proporciones en los automóviles, motocicletas, taxis, van de pasajeros, van y pickup en los escenarios realístico e idealístico.

Las conclusiones del estudio mostraron que:

- 1) Con respecto a ahorro energético se logra mejores resultados con el cambio de uso de medios de transporte, seguido del cambio de tecnologías y finalmente el cambio de usos de combustibles con menores factores de emisión de CO₂.
- 2) Con referencia a las mayores reducciones de CO₂, estas se obtienen con la implementación de nuevas tecnologías seguido del cambio de uso de medios de transporte

2.2.2. Mitigación de CO₂ en el sector transporte por carretera en Tailandia: Análisis de Eficiencia Energética y Bio-energía

Hong, Chung, Kim y Chun presentaron un estudio [11] donde analizaron la efectividad de las políticas que implementó el gobierno de Corea del Sur en el sector del transporte y analizó el efecto dominó en términos de energía y aspectos ambientales si las políticas se mantienen hasta 2050 utilizando el modelo de sistema de planificación de alternativas de energía de largo alcance (LEAP).

El estudio consideró cinco políticas, en términos de escenarios: mejora de la eficiencia del combustible, distribución de automóviles ecológicos, cambio a transporte público y no motorizado. Para distinguir los efectos de

varios modelos de vehículos ecológicos, el escenario de distribución de autos ecológicos se subdividió en dos: escenario de autos ecológicos y el escenario competitivo de autos verdes. El escenario del automóvil verde (GC) se centra en automóviles diésel e híbridos limpios, y el Escenario competitivo de autos ecológicos será centrado en celdas de combustible de hidrógeno y vehículos eléctricos. De acuerdo al análisis de escenarios realizado en el estudio, las políticas finales de energía y reducción de GEI que el gobierno de Corea del Sur ha impuesto al sector del transporte reducirá la demanda final de energía en un 25.2 a 25.5%, y reduzca las emisiones de GEI en un 21.3 a 21.6% en 2020, en relación con el escenario BAU. Sin embargo, este número no cumplía con la tasa objetivo de reducción de GEI del 34.3% que tenía el sector de transporte coreano. Por lo tanto, concluyen que se necesitan políticas más poderosas y efectivas para lograr el objetivo nacional frente a la reducción de emisiones de GEI en el sector del transporte.

2.2.3. Pronóstico a largo plazo de la demanda de energía y combustibles hacia un transporte por carretera sostenible en Ecuador (2016-2035): Un modelo de aplicación en LEAP

Rivera Gonzalez, Luis; Mazadiego, Luis F.; Bolonio David; Escobar Segovia, Kenny Fernando en este artículo [12], en 2016, realizan un análisis inicial de la demanda total de energía en el sector de transporte que representa el 48,8% del consumo del Ecuador, del cual el 89,87% pertenecía al sector de transporte terrestre. En este sector, la gasolina representaba el 49,42% (19 670,11 KBOE) y diésel 50,42% (20 066,12 KBOE) que en total representan el 99,84% de la demanda total de fluidos de este sector. Ambos

fluidos dan pase a la mayor producción de gases de efecto invernadero, NO_x y PM₁₀ a la vez que una alta dependencia tanto energética como económica.

Para evaluar alternativas de largo plazo, se utilizó el LEAP para crear 4 escenarios, que sirvieron para analizar el futuro (hasta 2035) de la demanda energética por tipo de vehículo y fluido, estimar las emisiones de contaminantes como gases de efecto invernadero, NO_x, PM₁₀ y estimar el futuro costo total de energía en cada fluido. Para cada escenario se tomó de año base el 2016.

El escenario BAU se centró en proyectar las tendencias históricas de un crecimiento anual vehicular por clase y tipo de combustible, donde se utilizaron los mismos tipos de combustibles que se tenían en 2016.

El segundo escenario denominado optimización energética y mitigación (EOM por sus siglas en inglés) consistió en la aplicación de los estudios de optimización y eficiencia energética considerados relevantes desarrollado por las políticas públicas de transporte por carretera en Ecuador. Se estimó que la reducción de la demanda energética para vehículos de pasajeros sería de un 20% para 2035 y de vehículos de carga a un 15%.

En el tercer escenario llamado combustibles alternativos (AF en sus siglas en inglés) se introdujeron nuevas tecnologías, como HEV, PHEV, BEV y motores compatibles con GLP, GNL y GNC con el objetivo de reducir la contaminación del aire, gases de efecto invernadero y contaminación sonora. Así mismo, se introdujeron combustibles alternativos de los cuales se encuentran el bioetanol, biodiesel, GNL, GNC, GLP y electricidad.

El cuarto y último escenario denominado movilidad sostenible utilizando un sistema planificado de energías alternativas de largo alcance

(SM por sus siglas en inglés) posee todas las características de los escenarios AF y EM a través de un orden jerárquico permitido por el LEAP.

El resultado del escenario AF presenta una disminución de la demanda de energía de 120 944 KBOE y 141 226 KBOE en el escenario SM, ambos en relación al escenario BAU con respecto al 2035. Debido al cambio de demanda de combustibles se disminuyó el costo global en 26 720 millones de dólares y el PM10 disminuyó en 20kt entre SM y BAU a 2035. De la misma manera, al momento de utilizar combustibles alternativos como GLP, GNL, GNC, electricidad y biocombustibles, las emisiones de GEI disminuyeron en el escenario AF en 11,70% y 13,49% en el escenario SM con relación al BAU hasta 2035. El análisis de los resultados del LEAP demostraron que el escenario SM es el más óptimo para el sector automotriz en Ecuador.

Los resultados muestran que el escenario SM comparado frente al BAU, contribuye con una reducción de 12.14% (141 226 kBOE) de la demanda total de energía, y los ahorros económicos por esta demanda de combustible serían de 14.22% (26 720 millones de dólares). Adicionalmente, el NO_x y las emisiones PM10 decrecen en 14.91% y 13.78% respectivamente. Adicionalmente las emisiones de GEI caen en un 13.49% debido a la mejora de la calidad de combustibles de los vehículos que principalmente consumirían GLP, GNC y electricidad.

2.3. Definiciones sobre movilidad

2.3.1. Sobre los vehículos electrificados

a) Definición

Se refieren a los vehículos eléctricos con batería, los cuales se caracterizan por tener un grupo de motopropulsión eléctrico. Los diversos vehículos pueden ser propulsados por completo con batería o solamente hasta cierto alcance.

b) Tipos

Dentro de los principales tipos de vehículos electrificados tenemos:

1. Vehículos eléctricos con batería (BEV)

Estos vehículos funcionan de manera exclusiva con un motor eléctrico y batería.

2. Vehículos híbridos (no enchufables) (HEV)

Un vehículo híbrido es un coche impulsado por dos motores de distinta naturaleza: por un lado, un motor de combustión interna y por otro, un motor eléctrico que utiliza energía almacenada en baterías. Las baterías se cargan por medio del frenado regenerativo o por el motor de combustión interna. De este modo, el coche utiliza o alterna ambas fuentes de energía. Cuando las baterías están cargadas, se puede desplazar el vehículo con la carga de las baterías, cuando bajan las baterías hace el cambio al modo con combustible.

3. Vehículos híbridos enchufables (PHEV)

En este caso, el vehículo tiene al menos 2 motores, 1 motor de combustión interna, que es alimentado por una fuente de combustible y 1 motor eléctrico que es suministrado por baterías, las cuales se pueden recargar también desde una fuente de suministro exterior de energía eléctrica.

2.3.2. Sobre los vehículos con motor de combustión interna

a) Definición

Los vehículos con motor de combustión interna utilizan un proceso químico dentro del motor a través de la combinación de combustible y aire que libera energía.

b) Tipos

Los vehículos con Motor de Combustión Interna se clasifican en diferentes grupos, dentro de los principales tenemos:

1. Según el tipo de motor: los más usados son los motores con ciclo Otto y ciclo Diésel
2. Según el tipo de combustible: Los Motores de Combustión Interna principalmente usan los siguientes combustibles: gasolina, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural comprimido (GNC), gas natural licuado (GNL), bioalcohol, biodiesel, biogás o Hidrógeno. Normalmente los vehículos con GNV y GLP suelen venir en el formato Bi-combustible, dígase que el motor suele arrancar con gasolina y luego pasar a puro GNV o GLP. Así mismo en modo mínimo existen motores que operan con 2 combustibles (tipo dual).

2.3.3. Sobre la clasificación de los vehículos utilizados en el MTC

Según el MTC los principales vehículos se pueden agrupar de la siguiente manera [13] [14]:

a) Vehículos Mayores

1. Automóvil

Es un Vehículo Automotor para el transporte de personas, normalmente hasta de seis (06) asientos y excepcionalmente hasta nueve (09) asientos.

2. Station Wagon

Vehículo automotor derivado del automóvil, que, al rebatir los asientos posteriores, permite ser utilizado para el transporte de carga.

3. Camioneta pick-up

Vehículo automotor de cabina simple o doble, con caja posterior destinada para el transporte de carga liviana y con un peso bruto vehicular que no excede los 4,000 Kg.

4. Camioneta panel

Vehículo Automotor con carrocería cerrada para el transporte de carga liviana, con un peso bruto vehicular que no exceda los 4,000 kg.

5. Camioneta rural

Vehículo automotor para el transporte de personas de hasta 16 asientos y cuyo peso bruto vehicular no exceda los 4,000 Kg.

6. Ómnibus

Vehículo autopropulsado, diseñado y construido exclusivamente para el transporte de pasajeros y equipaje, con más de 16 asientos y cuyo peso vehicular exceda los 4,000 kg.

7. Camión

Vehículo autopropulsado motorizado, destinado al transporte de bienes con un peso bruto vehicular igual o mayor a 4,000 kg. puede incluir una carrocería o estructura portante.

8. Remolcador o Tractor camión

Vehículo motorizado diseñado para remolcar semirremolques y soportar la carga que le transmite éstos a través de la quinta rueda.

También incluye al Remolque y al semirremolque que se apoyan o son transportados por los remolcadores. Al no tener motor no son incluidos en el presente estudio.

b) Vehículos menores automotores

Vehículo con dos, tres o cuatro ruedas provistas de asiento y/o montura para el uso de su conductor y pasajeros, según sea el caso, tales como:

- Bici motos
- Motonetas
- Motocicletas (puede o no tener instalado side-car) - Triciclos motorizados
- Cuatrimotos y similares (motocar y mototaxi).

Para el presente estudio se considera las motos y los moto taxis.

2.4. Sobre el módulo de transporte en LEAP

2.4.1. Sobre el LEAP

El LEAP es un modelo de análisis a largo plazo utilizado en la planificación de energía desarrollado por el Instituto de Medio Ambiente de

Estocolmo en Boston con fondos del Banco Mundial y el PNUMA. LEAP es un modelo integrado que cubre el consumo de energía, la producción y la extracción de recursos en todos los sectores del sistema energético total basado en la teoría de simulación. El modelo permite poder calcular el impacto ambiental del sector de la demanda y el sector de transformación entre otros. Se puede ingresar sus propios factores de emisión o se puede utilizar factores de emisión de Nivel 1³ y Nivel 2⁴ del IPCC de las Directrices revisadas de 1996 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, así mismo la base de datos de efectos en LEAP contiene potenciales de calentamiento global que relacionan las emisiones de cada contaminante con el equivalente de CO₂. Los valores predeterminados son del Tercer Informe de Evaluación (TAR) del IPCC de 2001.

2.4.2. Sobre el análisis de rotación de existencias aplicado al sector transporte.

Un enfoque de rotación de existencias [15] es más adecuado cuando los dispositivos que utilizan energía tienen una vida útil bastante larga, de modo que cualquier cambio marginal en las intensidades de energía y los factores de emisión de los dispositivos recién introducidos tardarán algún tiempo en afectar las intensidades de energía y los factores de emisión promedio del stock total de dispositivos instalados. El método de rotación de existencias también es útil si las características operativas de los dispositivos que utilizan energía están sujetas a cambios durante la vida útil de esos

³ En el Nivel 1 se emplean factores de emisión de la base de datos del IPCC correspondientes a diversas investigaciones realizadas en diferentes países, y en algunos casos datos tomados de fuentes internacionales.

⁴ El Nivel 2 está basado en uso de modelos y factores desarrollados en algunos casos a partir del uso de ecuaciones establecidas por el IPCC, que se calculan con información del país.

dispositivos. Por ejemplo, los vehículos más antiguos pueden conducirse menos (tienen menos kilometraje) que los vehículos más nuevos o los factores de emisión pueden aumentar (por ejemplo, cuando el equipo de control de la contaminación comienza a fallar). Por ende se debe especificar perfiles de ciclo de vida para las variables que describen cómo las variables relevantes cambian a medida que los dispositivos envejecen.

2.4.3. Sobre la metodología de implementación en la plataforma LEAP del sector transporte.

Los pasos para realizar el análisis por medio de la plataforma LEAP son las siguientes:

1. Construir un inventario en el año base (Current Accounts) del consumo de combustibles y de emisiones de toda la flota
2. Definir la tendencia de asunciones clave que sean consideradas como influyentes para la tendencia futura de los equipos a evaluar.
3. Crear un escenario de referencia, en el que se proyecta el consumo y las emisiones a futuro bajo el supuesto de que no habrá nuevas políticas tendientes a reducirlos.
4. Crear y comparar una serie de escenarios que examinan medidas diseñadas para reducir el consumo de combustibles y las emisiones.

2.4.4. Principales ecuaciones del modelo de análisis de existencias en el transporte

2.4.4.1. Rotación de existencias

Las existencias de vehículos en un año son la suma de las existencias de cada tipo de tecnología de cada año. Las expresiones vienen dadas por:

$$Existencias_{t,y,v} = Ventas_{t,v} \cdot Supervivencia_{t,y-v} \quad (1)$$

$$Existencias_{t,y} = \sum_{v=0 \dots v} Existencias_{y,v,t} \quad (2)$$

Dónde:

- t : Tipo de vehículo (es decir, la rama de tecnología)
- v : Antigüedad (es decir, el año del modelo de vehículo)
- y : Año calendario
- T : Número de tipos de vehículos
- Ventas : Número de vehículos agregados en un año en particular: ingresado como una expresión
- Existencias : Cantidad de vehículos existentes en un año en particular: ingresado como una expresión para el año base o calculado internamente en base a las ventas históricas

- Supervivencia : Fracción de vehículos que sobrevive después de varios años. Se ingresa como un perfil de ciclo de vida
- V : Número máximo de años de vida: determinado automáticamente a partir del perfil del ciclo de vida de supervivencia, con un máximo de 30 años.

2.4.4.2. Economía de combustible

$$EconomíaCombustible_{t,y,v} = EconomíaCombustible_{t,v} \times DegradaciónEco_{t,y-v} \quad (3)$$

Dónde:

Economía de Combustible viene a ser la cantidad de combustible por unidad de distancia recorrida por el vehículo. La degradación (DegradaciónEco) es un factor que representa la disminución en la economía de combustible a medida que un vehículo envejece. Es igual a 1 cuando $y = v$. Se puede considerar como un perfil de ciclo de vida.

2.4.4.3. Kilometraje

$$Recorrido_{t,y,v} = Recorrido_{t,v} \times DegradaciónRec_{t,y-v} \quad (4)$$

Dónde:

El Recorrido es la distancia anual recorrida por vehículo. Ingresado como expresión.

La Degradación Rec es un factor que representa el cambio en el

kilometraje a medida que un vehículo envejece. Es igual a 1 cuando $y = v$. Ingresado como perfil de ciclo de vida .

2.4.4.4. Consumo de energía

El consumo de energía por cada tipo de vehículo por año de antigüedad viene dado por las existencias por el recorrido por la economía de combustible.

$$\text{ConsumoEnergía}_{t,y,v} = \text{Existencias}_{t,y,v} \times \text{Recorrido}_{t,y,v} \times \text{EconomíaCombustible}_{t,y,v} \quad (5)$$

2.4.4.5. Emisiones de contaminación basadas en la distancia (por ejemplo, contaminantes atmosféricos de criterio)

La emisión por cada tipo contaminante se calcula para cada tipo de vehículo existente de cada año de antigüedad.

$$\text{Emisión}_{t,y,v,p} = \text{Existencias}_{t,y,v} \times \text{Recorrido}_{t,y,v} \times \text{FactorEmisión}_{t,v,p} \times \text{EmDegradación}_{t,y-v,p} \quad (6)$$

Dónde:

- | | | |
|---------------|---|--|
| p | : | Cualquier contaminante atmosférico |
| FactorEmisión | : | Tasa de emisiones del contaminante p (por ejemplo, gramos / milla vehicular) de vehículos nuevos de época v . Se ingresó como expresión |
| EmDegradación | : | Factor que representa el cambio en el factor de emisión del contaminante p a medida que un vehículo envejece. Es igual a 1 cuando $y = v$. Ingresado como perfil de ciclo de vida |

2.4.4.6. Emisiones basadas en energía (por ejemplo, CO2 y otros gases de efecto invernadero)

Las emisiones se calculan en función del consumo de energía multiplicado por los factores de emisión y el factor de degradación.

$$Emisión_{t,y,v,p} = ConsumoEnergía_{t,y,v} \times FactorEmisión_{t,v,p} \times EmDegradación_{t,y-v,p} \quad (7)$$

2.5. Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados para el cálculo de emisiones se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Factores de emisión en unidades móviles por tipo de combustible

Tecnología	Factor de emisión (kg CO ₂ /TJ)
Diesel B5	70395.00
Diesel B5 S50	70395.00
GLP	63100.00
GNV	56100.00
GASOLINA	69300.00
GASOHOL	63894.60
HIBRIDO (HEV)	63894.60
HIBRIDO ENCHUFABLE (PHEV)	63894.60
ELECTRICO (BEV)	0

Fuente: Ministerio del Ambiente [16]

CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

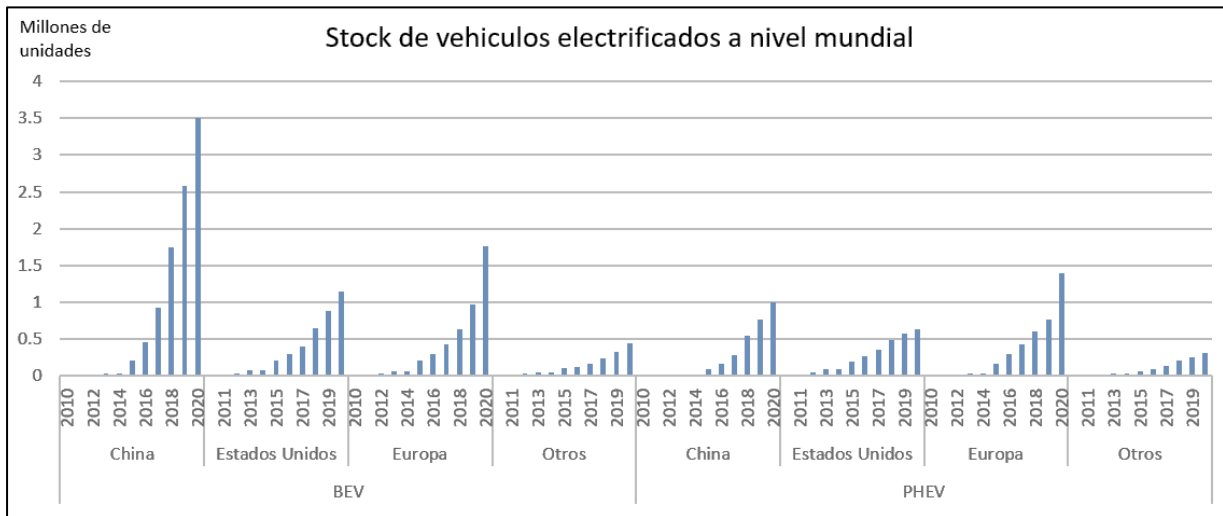
3.1. Sobre la situación mundial de la movilidad eléctrica

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía en su publicación EV Outlook 2021 [17] luego de una década de rápido crecimiento, en 2020 el stock mundial de automóviles eléctricos alcanzó la marca de los 10 millones de unidades, un aumento del 43% con respecto a 2019 y que representa una participación del mercado de vehículos del 1%. Los vehículos eléctricos de batería (BEV) representaron dos tercios de las matriculaciones de vehículos eléctricos nuevos y dos tercios del stock en 2020. China, con 4,5 millones de coches eléctricos, tiene la flota más grande, aunque en 2020 Europa tuvo el mayor aumento anual hasta alcanzar los 3.2 millones de unidades.

En general, el mercado mundial de todo tipo de automóviles fue afectado significativamente por las repercusiones económicas de la pandemia de Covid-19. En la primera parte de 2020, las matriculaciones de automóviles nuevos cayeron alrededor de un tercio con respecto al año anterior. Esto se vio parcialmente compensado por una mayor actividad en el segundo semestre, lo que se tradujo en una caída del 16% en términos generales interanuales. En particular, con la caída de las matriculaciones de automóviles convencionales y en general, la participación mundial en las ventas de automóviles eléctricos aumentó un 70% a un récord de 4.6% en 2020.

En 2020 se registraron alrededor de 3 millones de automóviles eléctricos nuevos. Por primera vez, Europa lideró con 1,4 millones de nuevos registros. China siguió con 1,2 millones de matriculaciones y Estados Unidos registró 295 000 coches eléctricos nuevos.

Figura 1: Stock de vehículos electrificados a nivel mundial



Fuente EIA. Global EV Outlook 2021 [17]

Numerosos factores contribuyeron al aumento de las matriculaciones de automóviles eléctricos en 2020. En particular, los automóviles eléctricos se están volviendo gradualmente más competitivos en algunos países sobre la base del costo total de propiedad. Varios gobiernos proporcionaron o ampliaron incentivos fiscales que amortiguaron las compras de automóviles eléctricos de la recesión en los mercados de automóviles.

3.1.1. Sobre las existencias mundiales por tipo de movilidad electrificada

En la Tabla 2: Existencias mundiales por tipo de movilidad electrificada se muestra que, a nivel mundial, la mayor cuota de existencias por tipo de movilidad electrificada hasta el 2020 son los vehículos con 10,23 millones de unidades seguido de buses con 0,60 millones, luego de Vans con 0,44 millones y por último camiones con 0,034 millones. El mayor crecimiento se da en los vehículos y los buses electrificados.

Tabla 2: Existencias mundiales por tipo de movilidad electrificada (millones de unidades)

Tipo	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Vehículos	0.017	0.065	0.185	0.387	0.703	1.25	2.00	3.14	5.11	7.15	10.23
Buses	0.002	0.005	0.008	0.013	0.039	0.14	0.25	0.36	0.44	0.52	0.60
Vans	0.004	0.008	0.019	0.030	0.042	0.07	0.12	0.20	0.31	0.38	0.44
Camiones	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.007	0.011	0.015	0.018	0.027	0.034
Total	0.024	0.078	0.212	0.431	0.785	1.46	2.37	3.72	5.88	8.08	11.30

Fuente IEA <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> [18]

3.1.1.1. Sobre las existencias mundiales de vehículos electrificados por tipo de tecnología

En la Tabla 3 se muestra que, a nivel mundial, la mayor cuota de vehículos electrificados hasta el 2020 son los vehículos de tipo BEV con 6,85 millones seguido de PHEV con 3,347 millones y por último con una cuota mínima los FCEV con 0,031 millones. Se observa un mayor crecimiento en la tecnología BEV y en la PHEV.

Tabla 3: Existencias mundiales de vehículos electrificados (en millones de unidades)

Tipo	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BEV	0.017	0.055	0.114	0.225	0.407	0.728	1.185	1.930	3.258	4.761	6.850
FCEV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.007	0.013	0.023	0.031
PHEV	0.000	0.009	0.070	0.162	0.296	0.517	0.808	1.208	1.836	2.362	3.347
Total	0.017	0.065	0.185	0.387	0.703	1.246	1.996	3.144	5.106	7.146	10.228

Fuente IEA <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> [18]

3.1.1.2. Sobre las existencias mundiales de buses electrificados por tipo de tecnología

En la Tabla 4 se muestra que, a nivel mundial, la mayor cuota de buses electrificados hasta el 2020 son los buses de tipo BEV con 0,515 millones seguido de PHEV con 0,082 millones y por último con una cuota

mínima los FCEV con 0,006 millones de unidades. Se observa un mayor crecimiento en la tecnología BEV.

Tabla 4: Existencias mundiales de buses electrificados (en millones de unidades)

tipo	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
EV	.002	.004	.006	.008	.022	.099	.190	.280	.367	.437	.515
CEV	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.002	.004	.006	.006
HEV	.000	.000	.001	.005	.017	.043	.059	.073	.072	.078	.082
total	.002	.005	.008	.013	.039	.143	.250	.355	.443	.521	.603

Fuente IEA <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> [18]

3.1.1.3. Sobre el stock mundial de Vans electrificados por tipo de tecnología

En la *Tabla 5* se muestra que, a nivel mundial, la mayor cuota de vans electrificados hasta el 2020 son las VANs de tipo BEV con 0,4275 millones de unidades seguido del tipo PHEV con 0,0084 millones y por último los FCEV con 0,0003 millones. Se observa un mayor crecimiento en la tecnología BEV.

Tabla 5: Stock mundial de vans electrificados (en millones de unidades)

Tipo	2010	2011	2012	2013	2014
BEV	0.0042	0.0080	0.0186	0.0295	0.0409
FCEV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001
PHEV	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0005
Total	0.0044	0.0083	0.0189	0.0299	0.0415

Fuente IEA <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> [18]

3.1.1.4. Sobre el stock mundial de camiones electrificados por tipo de tecnología

En la Tabla 6 se muestra que la mayor cuota de camiones electrificados hasta el 2020 son de tipo BEV con 0,0309 millones seguido de FCEV con 0,0032 millones y por último los PHEV con 0,0002 millones. Se observa un mayor crecimiento en la tecnología BEV, así como es en los camiones donde la tecnología FCEV se ha desarrollado un poco más frente al PHEV.

Tabla 6: Stock mundial de camiones electrificados (en millones de unidades)

Tipo	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BEV	0.0003	0.0003	0.0004	0.0007	0.0009	0.0069	0.0114	0.0152	0.0170	0.0235	0.0309
FCEV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0034	0.0032
PHEV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002
Total	0.0003	0.0003	0.0004	0.0007	0.0009	0.0069	0.0114	0.0152	0.0183	0.0270	0.0343

Fuente IEA <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> [18]

3.1.2. Sobre el desplazamiento de combustibles por electricidad por la movilidad eléctrica a nivel mundial

En la Tabla 7 se observa que en los últimos 5 años el desplazamiento de combustible es mayor en vehículos/carros con 155,42 millones de barriles de gasolina. Seguido de buses y vans con 129,60 y 27,13 millones de barriles respectivamente. Por último, se encuentran los camiones con 1,41. En total se desplazaron 313,56 millones de barriles de gasolina en los últimos 5 años. De lo que se puede observar que, pese a que las cantidades de buses es menor, su impacto en el desplazamiento de combustible es alto.

Tabla 7: Desplazamiento de combustible por el uso de movilidad eléctrica (en millones de barriles de gasolina)

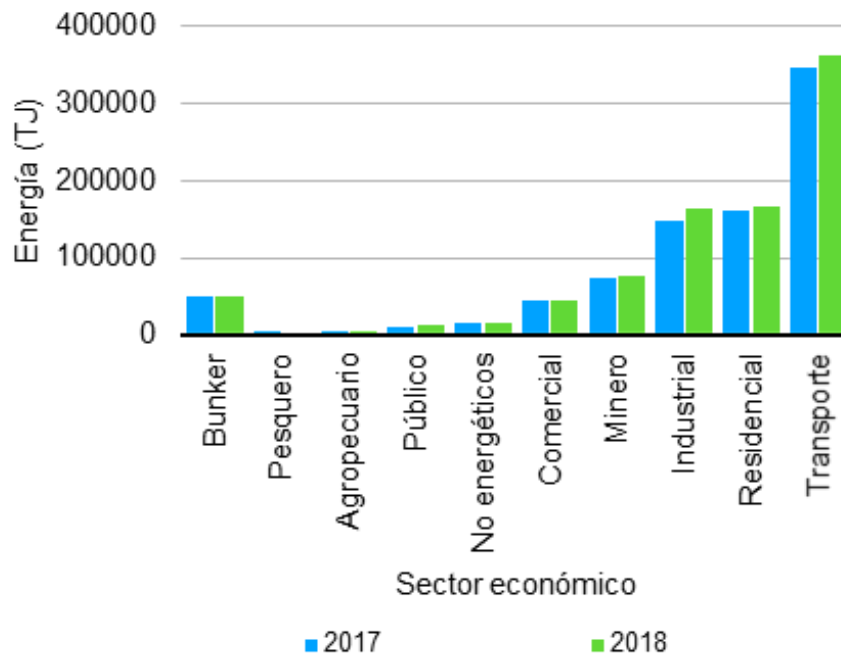
Tipos de movilidad	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total general
Buses	6.71	13.88	19.84	24.99	29.59	34.58	129.60
Vehículos	6.59	11.51	17.41	27.70	38.32	53.89	155.42
Camiones	0.13	0.15	0.19	0.22	0.31	0.41	1.41
Vans	0.44	1.81	3.67	6.04	7.34	7.82	27.13
Total general	13.87	27.35	41.11	58.96	75.56	96.70	313.56

Fuente IEA <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> [18]

3.2. Sobre el consumo de energéticos en el Perú [5]

En la *Figura 2* se muestra que en 2018, el consumo final de energía en el Perú se distribuyó de la siguiente manera: en el sector transporte fue de 359797 TJ (40.1%), en el sector residencial fue de 165053 TJ (18.6%), en el sector industrial en 163819 TJ (17.3%), en el sector minero fue de 75847 TJ (8.5%), en el comercio fue de 45651 TJ (5.1%), No energéticos de 14526 TJ (1.6%), sector público fue de 12176 TJ (1.4%), sector agropecuario en 6388 TJ (0.7%) y la pesca en 3075 TJ (0.3%).

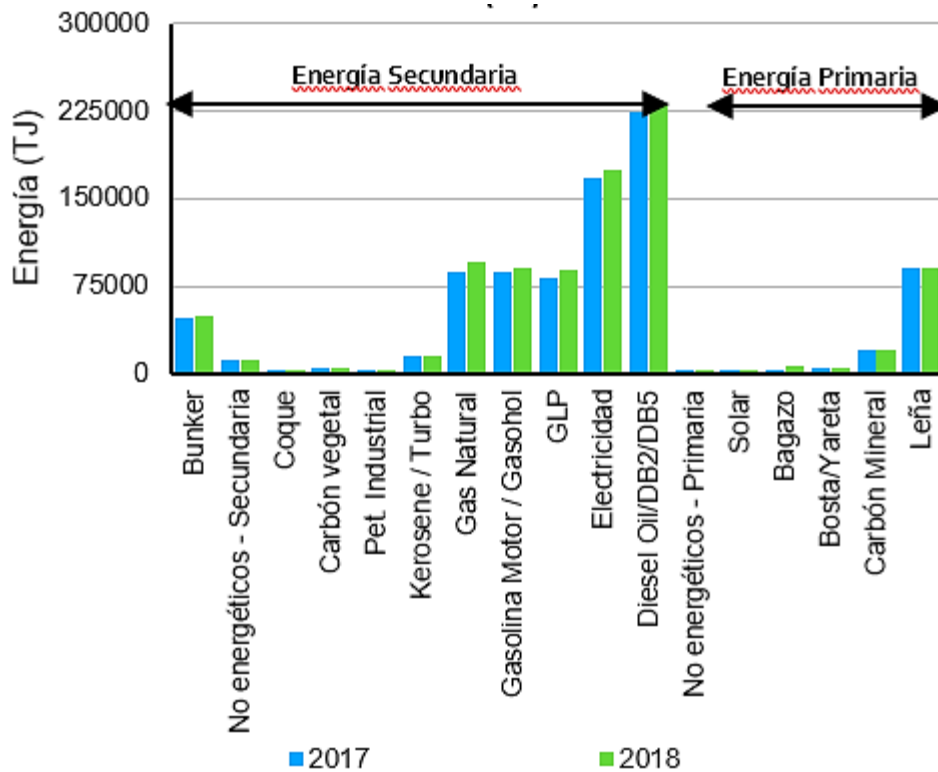
Figura 2: Evolución del Consumo Final de Energía en Perú por sectores(TJ)



Fuente: Balance Nacional de Energía 2018 [19]

En 2018, el consumo final de energéticos del Perú vino de las siguientes fuentes: Fuentes de Energía Primaria de 122280 TJ (14.2%) y de Energía Secundaria fue de 735910 TJ (85.8%). Dentro de las principales fuentes tenemos Diésel fue de 230326 TJ (25.7%), electricidad de 173767 TJ (19.4%), Gas Natural de 96262 TJ (10.7%), Gasolina/Gasohol de 91215 TJ (10.2%) y la leña 90999 TJ (10.1%) entre otros. Ver *Figura 3*.

Figura 3: Tipo de fuente de energía en el Consumo Final (TJ)



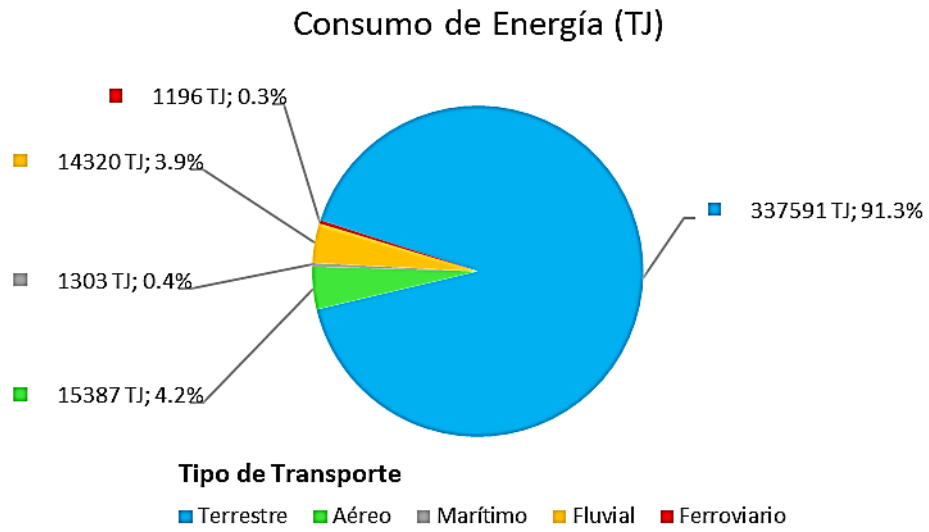
Fuente: Balance Nacional de Energía 2018 [19]

3.3. Sobre el consumo de energéticos en el sector transporte

Analizando el sector transporte, de acuerdo al Balance Nacional de Energía 2018 [19] alrededor del 91.3% (337591.3 TJ) fueron consumidos en 2018 en el transporte terrestre, 4.2% fueron consumidos en el transporte aéreo, 3.9% en el sector fluvial (3.9%), 0.4% fueron consumidos en el transporte marítimo y 0.3% fueron utilizados en el sector ferroviario. Para más detalle ver la Figura 4.

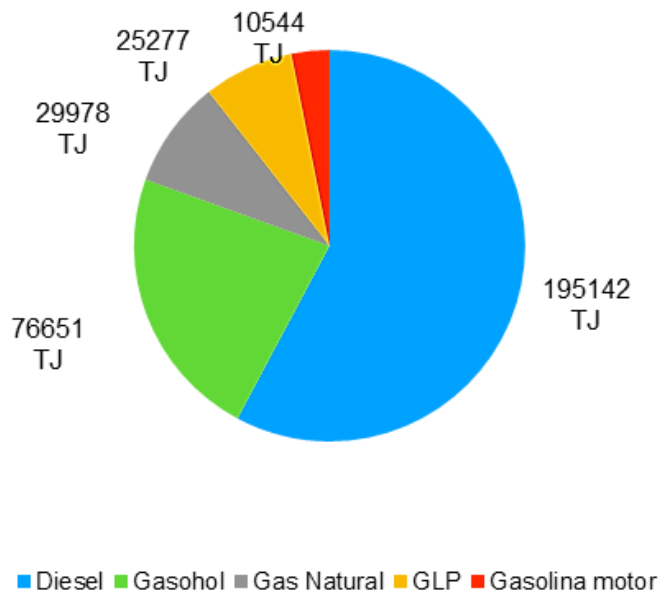
En la Figura 5 se muestra que en el sector de transporte terrestre, dentro de los energéticos más utilizados fueron el Diésel B5 con 195142 TJ (57.8%), Gasohol con 22.7%, Gas Natural con 8.9%, GLP con 7.5% y Gasolina motor de 3.1%.

Figura 4: Consumo final de energía en el Sector transporte por tipo de transporte



Fuente: Balance Nacional de Energía 2018 [19]

Figura 5: Consumo final de energía en el Transporte terrestre por tipo de combustible

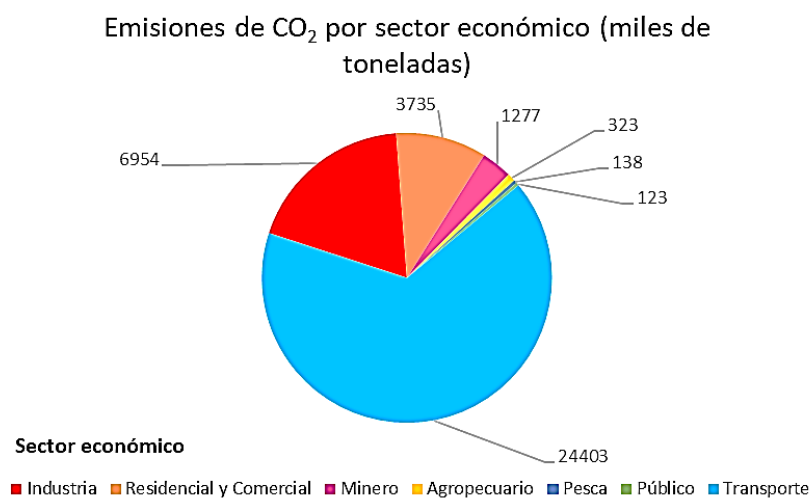


Fuente: Balance Nacional de Energía 2018 [19]

3.4. Sobre las emisiones de gases en el Perú

En el Balance Nacional de Energía 2018 [19] se estimó que en 2018 el 66% de emisiones de CO₂ (24403 ton) se dieron en el sector transporte, seguido por la industria en 18.8%, 10.1% por el sector residencial y comercial, el sector minero con 3.5% entre otros tal como se muestra en la *Figura 6*.

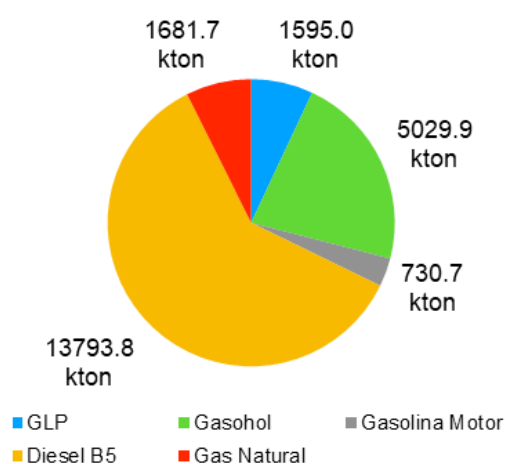
Figura 6: Emisiones 2018 en el Perú por sector



Fuente: Balance Nacional de Energía 2018 [19]

El transporte terrestre en 2018 alcanzó 22831.1 kton que representa el 93.6% del sector transporte. Así mismo en el transporte terrestre se tiene que el Diésel B5 constituye el 60.4% de las emisiones de CO₂, seguido por el gasohol en 22%, gas natural en 7.4%, GLP en 7% y gasolina motor en 3.2%. Para más detalle ver la *Figura 7*.

Figura 7: Emisiones de CO₂ por consumo de combustible en el sector transporte



Fuente: Balance Nacional de Energía 2018 [19]

3.5. Sobre el sector del transporte terrestre en el Perú

3.5.1. Sobre el tamaño del Parque Automotor Peruano

3.5.1.1. Sobre los vehículos mayores

De acuerdo a la información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [20], el parque vehicular nacional del Perú para el 2018 venía conformado por 2 894 327 unidades distribuidos de la siguiente manera:

- Automóviles	: 1 254 803
- Station Wagon	: 472 955
- Camioneta Pick Up	: 305 855
- Camioneta Rural	: 391 591
- Camioneta Panel	: 44 349
- Ómnibus	: 90 315
- Camión	: 217 931
- Remolcador	: 47 074

- Remolque y Semi-remolque : 69 454

En la Tabla 11 se muestra la estimación del parque automotor del Perú por parte del MTC.

3.5.1.2. Sobre los vehículos menores

La cantidad de vehículos menores de acuerdo a la información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [21] del 2009 al 2018 se muestran en la Tabla 8 a continuación:

Tabla 8 Parque de vehículos menores inscritos del 2009 al 2018

Año	Motos	Mototaxis	Total
2009	240869	99789	340658
2010	122868	88981	211849
2011	152822	109620	262442
2012	170220	109818	280038
2013 1/	178702	106224	284926
2014	171305	104336	275641
2015	164067	102520	266587
2016	159978	107534	267512
2017	160298	116377	276675
2018	165995	118513	284508

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP).

Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística

3.5.2. Sobre la Importación anual de vehículos automotores

De acuerdo a la información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [22], las importaciones de vehículos automotores en 2018 alcanzaron las 161 832 unidades:

- Autos y Station Wagon : 56 503 unidades
- Camionetas : 87 640 unidades

- Camiones : 10 089 unidades
- Buses y chasis : 4 741 unidades
- Tracto Camiones : 2 859 unidades

En la Tabla 12 se muestra la evolución de la importación anual de vehículos automotores en el Perú de acuerdo al MTC [22].

Así mismo en la Tabla 9 se muestra las ventas de vehículos en el 2019 y 2020 de acuerdo a la información de la Asociación Automotriz del Perú (AAP) [23], las cuales en vehículos mayores alcanzaron las 168647 unidades en 2019 y 125092 en 2020, teniendo en cuenta que en 2020 fue temporada de inicio de la temporada del COVID. En lo que respecta a vehículos menores las ventas alcanzaron las 286119 y 285661 unidades respectivamente, siendo este tipo de equipos el que resistió a los efectos de la pandemia.

Tabla 9: Ventas de vehículos en el Perú 2019 – 2020 [23]

Tipo de Unidad	2019	2020
Vehicular		
Automovil,SW	57058	37160
Camionetas	22899	15576
Pickup,furgonetas	22654	20279
SUV, todoterrenos	49386	39168
Camiones, tracto	12348	10773
Minibús, ómnibus	4302	2136
Motos	167299	194407
Trimotos	118818	91254

3.5.3. Sobre la venta de vehículos electrificados en el Perú

En la Tabla 10, de acuerdo a AEDIVE, según el Portal Movilidad la venta de Vehículos eléctricos a batería y vehículos híbridos tuvo la siguiente evolución de las ventas en Perú.

Tabla 10: Venta de vehículos electrificados [24]

Año	BEV + HEV
2012	54
2013	24
2014	104
2015	43
2016	15
2017	72
2018	156
2019	366
2020*	252
Total	1086

Fuente: Portal Movilidad

*Julio 2020 [24]

Así mismo de acuerdo al MTC la venta de vehículos híbridos hasta el 2017 fue de 357 vehículos [25].

Tabla 11: Parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo 2007-2018 [20] (en unidades vehiculares)

CLASE DE VEHÍCULO	2007R	2008R	2009	2010	2011	2012	2013R	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	1 534 303	1 640 970	1 732 834	1 849 690	1 979 865	2 137 837	2 287 875	2 423 696	2 544 133	2 661 719	2 786 101	2 894 327
Automóvil	696 897	735 314	766 742	809 967	860 366	927 698	993 705	1 058 075	1 116 226	1 167 041	1 220 121	1 254 803
Station Wagon	250 979	261 441	274 566	285 300	289 649	292 840	318 022	340 009	369 554	403 193	436 923	472 955
Camioneta Pick Up	176 111	187 940	196 833	210 988	228 321	246 205	258 028	266 305	274 153	283 479	293 292	305 855
Camioneta Rural	159 829	184 328	207 067	235 889	272 596	318 484	330 472	342 645	354 858	365 316	379 895	391 591
Camioneta Panel	29 684	32 498	34 172	36 184	37 847	39 476	40 938	41 976	42 892	43 387	43 935	44 349
Omnibus	48 542	49 882	51 563	54 389	56 704	59 088	69 128	77 773	78 579	80 119	82 377	90 315
Camión	120 661	129 295	137 407	147 293	158 939	171 407	187 970	203 180	208 216	213 155	218 006	217 931
Remolcador	20 872	24 890	26 457	28 679	30 779	33 722	36 017	39 482	41 514	43 604	45 352	47 074
Remolque y Semi-remolque	30 728	35 382	38 027	41 001	44 664	48 917	53 595	54 251	58 141	62 425	66 200	69 454

R/. Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares.

P/ : Estimación Preliminar.

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos

Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística

Tabla 12: Importación de vehículos automotores, según estado y clase vehicular: 2007-2019 [22]

ESTADO Y CLASE VEHICULAR	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	81 716	145 401	105 001	154 719	167 569	215 917	202 011	184 009	161 717	168 522	182,759	161 832
Autos Station Wagon	42 654	69 140	56 072	75 796	73 803	101 535	88 766	91 224	74 366	74 582	74,497	56 503
Camionetas	28 532	52 265	36 624	58 873	69 107	88 364	88 157	74 505	72 568	78 223	90,625	87 640
Camiones	5 051	16 040	7 803	13 638	17 205	17 994	17 435	11 801	9 103	9 350	10,382	10 089
Buses y chasis	1 843	3 042	2 761	3 918	4 690	4 002	3 626	3 530	2 986	3 256	4,322	4 741
Tracto Camiones	3 636	4 914	1 741	2 494	2 764	4 022	4 027	2 949	2 694	3 111	2,933	2 859
Nuevos	46 312	100 108	67 052	123 193	154 108	202 916	200 291	183 151	161 005	167 586	181 282	159 367
Autos Station Wagon	15 726	38 755	28 086	50 910	62 972	91 089	87 805	90 838	73 988	73 974	73,570	54 918
Camionetas	22 966	42 298	29 165	54 002	66 631	86 008	87 516	74 187	72 323	77 978	90,217	86 855
Camiones	3 250	12 842	6 393	12 860	17 094	17 815	17 320	11 660	9 020	9 276	10,256	10 006
Buses y chasis	1 475	2 186	2 221	3 552	4 658	3 992	3 626	3 527	2 984	3 255	4,311	4 738
Tracto Camiones	2 895	4 027	1 187	1 869	2 753	4 012	4 024	2 939	2 690	3 103	2,928	2 850
Usados	35 404	45 293	37 949	31 526	13 461	13 001	1 720	858	712	936	1,477	2,465
Autos Station Wagon	26 928	30 385	27 986	24 886	10 831	10 446	961	386	378	608	927	1,585
Camionetas	5 566	9 967	7 459	4 871	2 476	2 356	641	318	245	245	408	785
Camiones	1 801	3 198	1 410	778	111	179	115	141	83	74	126	83
Buses y chasis	368	856	540	366	32	10	0	3	2	1	11	3
Tracto Camiones	741	887	554	625	11	10	3	10	4	8	5	9

Fuente: Asociación Automotriz del Perú S.A. (AAP), Automás

Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística

De acuerdo a la AAP la venta de vehículos eléctricos e híbridos livianos y pesados para 2019 y 2020 fueron las siguientes:

Tabla 13: Venta de vehículos livianos y pesados – Eléctricos e híbridos 2019-2020 [26]

2019												
Mes	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
BEV	0	1	1	2	2	0	0	0	2	3	3	6
PHEV	1	0	0	1	3	1	0	1	0	0	0	0
HEV	16	11	11	36	32	40	31	37	24	33	15	53

2020												
Mes	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
BEV	1	1	1	0	0	0	11	0	1	7	3	0
PHEV	2	1	0	0	0	0	2	0	0	1	1	2
HEV	47	51	41	0	0	44	50	48	45	62	62	91

Elaborado en base a información de la Asociación Automotriz del Perú

3.5.4. Sobre los vehículos por tipo de combustible a nivel nacional

En la Tabla 14 se muestra el número de vehículos menores motorizados registrados en SUNARP en 2017, según el tipo de combustible, donde se resalta que el 96.83% de vehículos utilizaban gasolina para su funcionamiento.

Tabla 14: Número de vehículos menores según tipo de combustible, 2017

Tipo de combustible	Vehículos	Porcentaje
Gasolina	3117771	96.83%
GLP/1	83206	2.58%
GNV/2	6481	0.20%

Diésel	2404	0.07%
Otros/3	740	0.02%
Sin clasificar	9143	0.28%
TOTAL	3219745	100.00%

/1: Incluye combustible de tipo: Bi-combustible GLP y Dual GLP

/2: Incluye combustible de tipo: Bi-combustible GNV y Dual GNV

/3: Otro tipo de combustibles

Fuente: MTC – OGPP – SUNARP [25]

Así mismo en la Tabla 15 se muestra el parque circulante en 2017 de vehículos mayores donde se observaba que el 60.21% utilizaba gasolina para su funcionamiento.

Tabla 15: Número de vehículos mayores según tipo de combustible, 2017

Tipo de combustible	Vehículos*	Porcentaje
Gasolina	1706148	60.21%
Diésel	779798	27.52%
GLP/1	175449	6.19%
GNV/2	143187	5.05%
Híbridos	357	0.01%
Otros/3	1772	0.06%
Sin clasificar	27006	0.95%
TOTAL	2833717	100.00%

* Cifra estimada al 2017

/1: Incluye combustible de tipo: Bi-combustible GLP y Dual GLP

/2: Incluye combustible de tipo: Bi-combustible GNV y Dual GNV

/3: Otro tipo de combustibles

Fuente: MTC – OGPP – SUNARP [25]

3.5.5. Sobre el recorrido y consumo de combustible de los vehículos

En la tabla 15 se muestra los consumos de combustible típicos y recorridos tomados en cuenta en dicho estudio.

Tabla 16: Estructura del consumo de combustible por tipo de vehículo al 2012

Categoría	Combustible	km/Gal	km/año	Gal/Año
Automóvil 1 (95%)	Gasolina	38	14000	368.42
	Diesel	45	14000	311.11
	GLP	35.34	14000	396.15
	GNV	34.96	14000	400.46
	Eléctrico	0	14000	-
Automóvil 2 (5%)	GLP	35.34	78000	2207.13
	GNV	34.96	78000	2231.12
Station Wagon	Gasolina	38	14000	368.42
	Diesel	45	78000	1733.33
	GNV	34.96	78000	2231.12
	GLP	35.34	78000	2207.13
Camioneta	Gasolina	20	14000	700.00
PickUp	Diesel	22	35000	1590.91
	GNV	18.4	35000	1902.17
	GLP	18.6	35000	1881.72
Camioneta Rural	Gasolina	22	14000	636.36
	Diesel	32	14000	437.50
	GLP	20.46	14000	684.26
	GNV	20.24	14000	691.70
	Híbrido	80	14000	175.00
Camioneta Panel	Gasolina	20	25000	1250.00
	Diesel	22	25000	1136.36
	GNV	18.4	25000	1358.70
	GLP	18.6	25000	1344.09
Omnibus	Diesel	11	120000	10909.09
	GNV	7	60000	8571.43
Camión	Diesel	7.5	50000	6666.67

Remolcador /	Diesel	9	120000	13333.33
Remolque				
Motos	Gasolina	80	14000	180.00
Mototaxis	Gasolina	80	43200	540.00

Fuente: Proyecto Plan CC [2]

Así mismo de las diversas fuentes de información se extrajo valores típicos para poder tomar valores promedio de la economía de combustible de los diversos tipos de vehículos para el presente estudio, los cuales se muestran en la *Tabla 17. Economías de combustible de diversos vehículos*

Tabla 17. Economías de combustible de diversos vehículos

Item	Fuente	Tipo de vehículo	Tecnología del motor										Consideraciones	
			Gasolina	Diésel	Híbrido Gasolina	Híbrido Diésel	Eléctrico	GLP	GNV	PHEV Eléctrico	PHEV Gasolina			
1	[4]	Automóvil	285.0		78.0		58.0							Automóvil compacto: Gasolina: Motor de 1.6-2.4 L, transmisión manual. Potencia entre 130-180 HP. Eléctrico: transmisión automática, baterías de 20-50KWh. Híbrido: Motor de 1.0-2.0L, Unidad eléctrica auxiliar, baterías de 10-20kWh
2	[4]	Trimoto	187.5				30.6							Proyecto 01 o Moto-taxi convencional a Gasolina40: 5.7 l/100km o Moto-taxi eléctrica: 8.5 kWh 100 km con motor de 4 kW

3	[4]	Trimoto	187.5				30.6					Proyecto 02 o Moto-taxi convencional a Gasolina43: 5.7 l/100km o Moto-taxi eléctrica: 8.5 kWh por 100 km con motor de 4 kW
4	[4]	Bus		1603.5			288.0					Proyecto 03: Tamaño del bus: 8.5 m • Demanda de energía o Bus a diésel: 44 litros por 100km o Bus a eléctrico: 80 kWh / 100 km, según Obra Verde
5	[4]	Bus		1712.9			367.2					Proyecto 04, Bus 12 m • Demanda de energía o Bus a diésel: 47 litros por 100km o Bus a eléctrico: 102 kWh / 100 km
6	[4]	Automóvil	305.9				50.4					Proyecto 05: • Demanda de energía o Mitsubishi Pajero - Gasolina50: 9.3 l/100km

												o Hyundai Ioniq eléctrico: 14 kWh/100 km. Registros presentan 10 kWh/100km, aunque pruebas confirman 14 kWh/100km
7	[4]	Automóvil				50.4	394.7					<p>Proyecto 06</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demanda de energía: <ul style="list-style-type: none"> o Kia Optima GLP: 12 litros equivalentes a gasolina por /100km o Hyundai Ioniq eléctrico: 14 kWh por 100km
8	[4]	Automóvil	490.9		176.8	67.0	391.5	349.9				<ul style="list-style-type: none"> • Demanda de energía <ul style="list-style-type: none"> o Honda Civic Gasolina: 6.7 km/l o Honda Civic GNV: 9.4 km/l equivalente o Honda Civic GLP: 8.4 km/l equivalente o Toyota Prius: 18.6 l/km o Mitsubishi i-Miev: 18,6 kWh/100 km

9	[4]	Bus		1712.9		911.1	367.2		2203.5			Diesel: EPA 2004, Long. 10 - 11 m GNV: EPA 2013, Long 10-11 m Hibrido: Longitud 12m Electrico: 12 m
10	[6]	Automóvil						0.3	301.7			
11	[27]	Automóvil								69.3	185.6	2019 Chevrolet Volt 1.5 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Regular Gas or Electricity
12	[27]	Automóvil								55.9	147.0	2021 Toyota Prius Prime 1.8 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Gas and Electricity
13	[27]	Automóvil								69.3	185.6	2021 Honda Clarity Plug-in Hybrid 1.5 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Gas and Electricity
14	[27]	Automóvil								62.6	147.0	2020 Hyundai Ioniq Plug-in Hybrid 1.6 L, 4 cyl, Automatic (AM6), Gas and Electricity
15	[27]	Automóvil								71.6	193.4	2021 Ford Escape FWD PHEV 2.5 L, 4 cyl, Automatic

												(variable gear ratios), Gas and Electricity
16	[27]	Automóvil								71.6	170.2	2021 Kia Niro Plug-in Hybrid 1.6 L, 4 cyl, Automatic (AM-S6), Gas and Electricity
17	[27]	Automóvil								80.5	201.1	2021 Toyota RAV4 Prime 4WD 2.5 L, 4 cyl, Automatic (AV-S6), Gas and Electricity
18	[27]	Automóvil								73.8	185.6	2020 Ford Fusion Energi Plug-in Hybrid 2.0 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Gas and Electricity
19	[27]	Automóvil								73.8	185.6	2020 Kia Optima Plug-in Hybrid 2.0 L, 4 cyl, Automatic (AM6), Gas and Electricity
20	[27]	Automóvil								76.1	201.1	2018 Hyundai Sonata Plug-in Hybrid 2.0 L, 4 cyl, Automatic (AM6), Gas and Electricity
21	[27]	Automóvil					53.7					2021 Tesla Model 3 Standard Range Plus RWD Automatic (A1), Electricity

22	[27]	Automóvil					55.9					2019 Hyundai Ioniq Electric Automatic (A1), Electricity
23	[27]	Automóvil					60.4					2021 Hyundai Kona Electric Automatic (A1), Electricity
24	[27]	Automóvil					62.6					2021 Tesla Model S Long Range Automatic (A1), Electricity
25	[27]	Automóvil					62.6					2019 Chevrolet Bolt EV Automatic (A1), Electricity
26	[27]	Automóvil					62.6					2019 Volkswagen e-Golf Automatic (A1), Electricity
27	[27]	Automóvil					64.9					2020 Kia Soul Electric Automatic (A1), Electricity
28	[27]	Automóvil			131.5							2020 Hyundai Ioniq Blue 1.6 L, 4 cyl, Automatic (AM6), Regular Gasoline
29	[27]	Automóvil			139.2							2020 Toyota Prius Eco 1.8 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Regular Gasoline

30	[27]	Automóvil			147.0							2020 Honda Insight 1.5 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Regular Gasoline
31	[27]	Automóvil			147.0							2020 Toyota Corolla Hybrid 1.8 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Regular Gasoline
32	[27]	Automóvil			147.0							2019 Toyota Camry Hybrid LE 2.5 L, 4 cyl, Automatic (AV-S6), Regular Gasoline
33	[27]	Automóvil			147.0							2020 Hyundai Sonata Hybrid Blue 2.0 L, 4 cyl, Automatic (AM-S6), Regular Gasoline
34	[27]	Automóvil			154.7							2020 Kia Niro FE 1.6 L, 4 cyl, Automatic (AM6), Regular Gasoline
35	[27]	Automóvil			162.4							2019 Honda Accord Hybrid 2.0 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Regular Gasoline
36	[27]	SUV					78.3					2021 Volkswagen ID.4 Pro Automatic (A1), Electricity
37	[27]	SUV					87.2					2022 Volvo XC40 Recharge twin Automatic (A1), Electricity

38	[27]	SUV					105.1					2020 BYD e6 Automatic (A1), Electricity
39	[27]	SUV			185.6							2022 Lexus UX 250h 2.0 L, 4 cyl, Automatic (AV-S6), Regular Gasoline
40	[27]	SUV			185.6							2021 Ford Escape FWD HEV 2.5 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Regular Gasoline
41	[27]	SUV			193.4							2021 Toyota RAV4 Hybrid AWD 2.5 L, 4 cyl, Automatic (AV-S6), Regular Gasoline
42	[27]	SUV			201.1							2021 Toyota Venza AWD 2.5 L, 4 cyl, Automatic (AV-S6), Regular Gasoline
43	[27]	SUV			201.1							2022 Honda CR-V Hybrid AWD 2.0 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Regular Gasoline
44	[27]	SUV			201.1							2022 Hyundai Tucson Hybrid Blue 1.6 L, 4 cyl, Automatic

												(AM-S6), Turbo, Regular Gasoline
45	[27]	SUV			208.8							2021 Kia Sorento Hybrid 1.6 L, 4 cyl, Automatic (AM-S6), Turbo, Regular Gasoline
46	[27]	SUV			216.6							2021 Toyota Highlander Hybrid 2.5 L, 4 cyl, Automatic (AV-S6), Regular Gasoline
47	[27]	C. Pickup			309.4							2021 Ford F150 Pickup 2WD HEV 3.5 L, 6 cyl, Automatic (S10), Turbo, Regular Gasoline
48	[27]	C. Pickup			324.9							2021 Ford F150 Pickup 4WD HEV 3.5 L, 6 cyl, Automatic (S10), Turbo, Regular Gasoline
49	[27]	C. Pickup			332.6							2021 Ram 1500 HFE 2WD 3.6 L, 6 cyl, Automatic 8-spd, Regular Gasoline
50	[27]	C. Pickup			386.7							2018 Chevrolet Silverado 15 Hybrid 2WD 5.3 L, 8 cyl, Automatic 8-spd, Regular Gasoline

51	[27]	C. PickUp			386.7							2018 GMC Sierra 15 Hybrid 2WD 5.3 L, 8 cyl, Automatic 8-spd, Regular Gasoline
52	[28]	Bus					330.3					Proyecto Bus Minero
53	[29]	Moto	69.2									Yamaha PW50
54	[29]	Moto	69.2									KTM 50 SX
55	[29]	Moto	83.0									Yamaha Z85
56	[30]	Emoto	16.63									Tabla 1: "Larger two- and three-wheelers, including mopeds, step-through scooters, motorcycles (48)" 4.62 kWh/100 km
57	[27]	SUV								73.8	185.6	2020 Ford Escape FWD PHEV 2.5 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Gas and Electricity
58	[27]	SUV								80.5	201.1	2021 Toyota RAV4 Prime 4WD 2.5 L, 4 cyl, Automatic (AV-S6), Gas and Electricity
59	[27]	SUV								96.2	232.0	2021 Lincoln Corsair AWD PHEV 2.5 L, 4 cyl, Automatic

												(variable gear ratios), Gas and Electricity
60	[27]	SUV								85.0	224.3	2021 Subaru Crosstrek Hybrid AWD 2.0 L, 4 cyl, Automatic (variable gear ratios), Gas and Electricity
61	[27]	SUV								100.7	293.9	2021 Mitsubishi Outlander PHEV 2.4 L, 4 cyl, Automatic (A1), Gas and Electricity
62	[27]	SUV								116.3	286.2	2020 Audi Q5 2.0 L, 4 cyl, Automatic (AM-S7), Turbo, Gas and Electricity
63	[27]	SUV								109.6	309.4	2020 Mercedes-Benz GLC350e 4matic 2.0 L, 4 cyl, Automatic 9-spd, Turbo, Gas and Electricity
64	[27]	SUV								129.7	286.2	2021 Volvo XC90 AWD PHEV 2.0 L, 4 cyl, Automatic (S8), Turbo, Supercharger, Gas and Electricity

3.5.6. Sobre la antigüedad del parque automotor.

De acuerdo a la información del Ministerio de transporte y comunicaciones [31], [32] se halló los porcentajes promedio de unidades de transporte de pasajeros y transporte de carga por antigüedad del parque automotor.

Tabla 18: Porcentaje de vehiculos de transporte de carga y de pasajeros por antigüedad

Antigüedad	Vehículos de Transporte de Carga	Antigüedad	Vehículos de Transporte de Pasajeros
01 año	8.67%	01 año	8.20%
02 años	7.94%	02 años	11.79%
03 años	7.35%	03 años	11.68%
04 años	6.34%	04 años	9.47%
05 años	5.86%	05 años	8.66%
06 años	4.50%	06 años	7.82%
07 años	3.49%	07 años	6.23%
08 años	2.77%	08 años	4.48%
09 años	2.24%	09 años	3.09%
10 años	2.04%	10 años	3.50%
11 años	1.66%	11 años	2.96%
12 años	1.60%	12 años	2.04%
13 años	1.75%	13 años	2.22%
14 años	1.87%	14 años	2.29%
15 años	1.90%	15 años	1.98%
16 años	2.17%	16 años	2.11%
17 años	2.61%	17 años	2.22%
18 años	2.60%	18 años	2.26%
19 años	2.36%	19 años	1.91%
20 años	2.23%	20 años	1.36%
21 años	2.37%	21 años	1.11%
22 años	2.32%	22 años	0.69%
23 años	2.05%	23 años	0.28%
24 años	1.75%	24 años	0.25%
25 años	1.60%	25 años	0.21%
26 años	1.55%	26 años	0.28%
27 años	1.52%	27 años	0.33%
28 años	1.32%	28 años	0.22%
29 años	1.14%	29 años	0.13%
30 años	1.13%	30 años	0.12%

> 30 años	11.27%	31 años	0.06%
		> 31 años	0.04%

Elaboración propia en función de información del Ministerio de Transporte y Comunicaciones [32], [31]

3.6. Sobre el consumo de combustible en el sector de transporte terrestre

3.6.1. Sobre el consumo de combustibles líquidos

De acuerdo al portal SCOP de Osinergmin [33] el consumo de combustibles líquidos en puestos de venta al público a nivel nacional fue la siguiente. Ver Tabla 19. Este consumo será utilizado para calibrar el modelo a desarrollar.

Tabla 19: Consumo de combustibles líquidos a nivel nacional en puestos de venta al público

Combustible	2018	2019	2020
DB5	2883060	2926365	1444307
DB5 S50	25071676	25437562	22094644
GASOLINA 84	1339004	1341524	1158815
GASOLINA 90	1221123	1343112	1254379
GASOLINA 95	15757	22869	50364
GASOLINA 97	331	734	634
GASOHOL 84	1600027	1329714	968171
GASOHOL 90	9292574	9565189	7521530
GASOHOL 95	3496240	3846038	3001026
GASOHOL 97	667729	700642	580810
GASOHOL 98	340730	309410	181337

Elaborado en base a información de Osinergmin [33]

3.6.2. Sobre el consumo de GNV vehicular

De acuerdo al portal de Infogas se tuvo en cuenta el siguiente consumo de gas natural vehicular entre el 2018 y 2020. Ver Tabla 20.

Tabla 20: Consumo de GNV (miles de m3)

Tipo de movilidad	2018	2019	2020
Automóvil	598516	606367	406697
Camión	11792	12713	8527
Otros	962	983	659
Transporte Público			
Trimóvil (Mototaxi)	4612	4402	2952
Total	741450	756716	507538

Fuente: Infogas [34]

3.6.3. Sobre el consumo de GLP automotor

De acuerdo al portal SCOP de venta de GLP se tuvo en cuenta el siguiente consumo de GLP automotor entre el 2018 y 2020. Ver Tabla 21.

Tabla 21: Consumo de GLP automotor (galones)

Año	Consumo (barriles)	Consumo (galones)
2018	6348239	266626038
2019	8172269	343235298
2020	6134461	257647362

Fuente: Osinergmin [35]

3.7. Otros aspectos que influyen en la determinación del impacto de la movilidad eléctrica

3.7.1. Sobre las conversiones de vehículos a gas natural

Para el afinamiento de los cálculos de kilometraje recorrido para los vehículos de gas natural se tomó en cuenta. Ver Tabla 22.

Tabla 22: Activaciones de vehículos a GNV

Año	Automóvil	Camión	Otros	Transporte Público	Trimóvil (Mototaxi)
2005	62	-	-	-	-
2006	5357	5	-	13	1
2007	17531	7	1	16	174
2008	33396	6	8	82	965
2009	23388	22	2	87	708
2010	21914	16	5	710	385
2011	22508	29	1	384	384
2012	23860	15	1	763	1062
2013	17551	102	9	1063	725
2014	24203	221	14	1014	628
2015	19389	168	18	292	394
2016	16410	85	13	356	170
2017	17397	84	7	405	98
2018	18629	92	5	352	32
2019	21643	128	8	282	22

Fuente: Infogas – reporte estadístico mensual [36]

3.7.2. Sobre la encuesta residencial de consumo y usos de energía referente al consumo de GNV vehicular y GLP automotor

En el caso de las conversiones de GLP no se encontró evidencia que documente las cantidades de conversiones de vehículos de GLP que permitan afinar los consumos por tipos de vehículo.

La Tabla 23, de acuerdo a la encuesta residencial de consumos y usos de energía (ERCUE) realizado por Osinergmin [37] muestra el % de uso de combustibles para uso vehicular por los hogares.

Tabla 23: Usos de combustibles de uso vehicular en los hogares.

Combustible	2016	2018
GLP	8%	8%
GNV	3%	6%
Diésel	7%	7%
Gasohol	84%	80%

Fuente: Osinergmin [37]

Así mismo en la Tabla 24 se muestra el % de tenencia de vehículos motorizados (%) en el Perú de acuerdo a la encuesta ERCUE.

Tabla 24: Evolución de la tendencia de vehículos motorizados (%)

Zona	2016	2018
Rural	12%	12%
Urbano	17%	16%
Nacional	16%	15%

Fuente: Osinergmin [37]

3.7.3. Sobre del Producto Bruto Interno y la población del Perú

3.7.3.1. Sobre los datos históricos

De acuerdo al panel de expertos del Proyecto Plan CC, el consumo de vehículos mayores guarda correlación con el PBI per cápita, es decir que, a mayores ingresos en el Perú, las compras de vehículos mayores aumentan. Así mismo la compra de vehículos menores guarda correlación con el crecimiento poblacional.

En la Tabla 25 se muestran las principales variables macroeconómicas 2000-2020 publicadas por el Banco Central de

Reserva del Perú [38]. Así mismo en dicha tabla se puede ver la Población del Perú en miles de habitantes

Tabla 25: Producto Bruto Interno y otros indicadores del Perú

Año	Producto bruto interno y otros indicadores - PBI (millones S/ 2007)	Producto bruto interno y otros indicadores - Población (miles)	Producto bruto interno y otros indicadores - PBI per cápita (S/ 2007)	Producto bruto interno y otros indicadores - PBI (variación porcentual)	Producto bruto interno y otros indicadores - Población (variación porcentual)	Producto bruto interno y otros indicadores - PBI per cápita (variación porcentual)
2000	222206.7073	26390.142	8420.063539	2.694359246	1.446588274	1.229930766
2001	223579.5758	26714.547	8369.205522	0.617833916	1.229265837	-0.604009902
2002	235772.9471	26999.085	8732.630597	5.453705392	1.06510509	4.342408299
2003	245592.6138	27254.632	9011.041879	4.164882674	0.946502446	3.188171989
2004	257769.7862	27492.091	9376.143724	4.958281234	0.871261076	4.051716208
2005	273971.1539	27722.342	9882.681333	6.285208166	0.837517234	5.402408755
2006	294597.8308	27934.784	10545.9148	7.528776892	0.766320537	6.711068001
2007	319692.999	28122.158	11368.01091	8.518449753	0.670755142	7.795398783
2008	348923.0037	28300.372	12329.27269	9.143148198	0.633713814	8.455848504
2009	352584.0168	28485.319	12377.74507	1.049232382	0.653514378	0.393148721
2010	382379.9996	28692.915	13326.6348	8.450746875	0.72878243	7.66609529
2011	407051.9831	28905.725	14082.0541	6.452216002	0.741681352	5.668492498
2012	431272.9859	29113.162	14813.67726	5.95034634	0.717632926	5.195429303
2013	456448.7179	29341.346	15556.50235	5.83753976	0.78378295	5.014454372
2014	467376.4488	29616.414	15780.9939	2.394076363	0.937475738	1.443072173
2015	482676.3782	29964.499	16108.2746	3.273577319	1.175311096	2.073891545
2016	502224.7398	30422.831	16557.86401	4.049993434	1.529583391	2.791046357
2017	514655.0361	30973.992	16608.69606	2.475046589	1.811669006	0.306996405
2018	534823.1051	31562.13	16945.0891	3.918754799	1.898812397	2.025403069
2019	546730.8164	32131.4	17015.46825	2.226476612	1.803648867	0.415336533
2020	485961.3007	32625.948	14894.93273	-11.1150705	1.539142397	-12.46239884

Fuente: BCRP [38]

3.7.3.2. Sobre la proyección de crecimiento del PBI y la población

En la Tabla 26 se encuentra la proyección de las proyecciones de las variaciones del PBI y de la población del Perú de acuerdo al .

En el caso del PBI se ha tomado en cuenta

- Para los años de 2021 a 2024 se ha tomado en cuenta la actualización de proyecciones macroeconómicas 2021-2024 elaborada por el Ministerio de Energía y Minas
- Para los años 2025 a 2050 se ha calculado las variaciones de PBI de acuerdo al informe final del Proyecto Plan CC.

En el caso de la población del año 2021 a 2050 se han tomado en cuenta la variación de estimación de población del proyecto Plan CC [2].

Tabla 26: Proyección de PBI y Población 2021-2050

Año	Variación del PBI	Variación Anual Población
2021	10.0%	0.989%
2022	4.8%	0.970%
2023	4.5%	0.950%
2024	4.2%	0.930%
2025	5.5%	0.908%
2026	5.2%	0.889%
2027	5.1%	0.871%
2028	5.1%	0.851%
2029	5.0%	0.829%
2030	4.9%	0.805%
2031	4.9%	0.783%
2032	4.8%	0.763%

2033	4.7%	0.741%
2034	4.8%	0.716%
2035	4.7%	0.690%
2036	4.7%	0.664%
2037	4.6%	0.641%
2038	4.6%	0.617%
2039	4.5%	0.592%
2040	4.6%	0.567%
2041	4.6%	0.542%
2042	4.5%	0.518%
2043	4.4%	0.494%
2044	4.5%	0.470%
2045	4.5%	0.446%
2046	4.4%	0.423%
2047	4.5%	0.400%
2048	4.4%	0.377%
2049	4.4%	0.354%
2050	4.5%	0.331%

Elaborado en función de informe final Fase Plan CC [2]

CAPÍTULO IV

ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Generalidades.

Para poder realizar el análisis del impacto del ingreso de la movilidad eléctrica al transporte por carretera peruano en el mix energético, así como en las emisiones al medio ambiente se utilizará la herramienta LEAP. Para lo cual debe construirse el modelo de análisis.

Los pasos a seguir para crear el plan de trabajo fueron:

- a) Crear los elementos sobre los cuales se hará el análisis, en este caso se definió los tipos de movilidad a analizar, los tipos de combustible a analizar, así como los parámetros de emisiones a utilizar.
- b) Construir un inventario de consumo de combustibles y emisiones para para el año base, que para este caso será el año 2018 para poder ser ingresados como año base.
- c) Ingresar las asunciones clave para este estudio, que en este caso fueron Producto Bruto Interno (PBI) y Población, los cuales se usarán como inputs para los escenarios “Como usual” y todos los escenarios que se requieran analizar.
- d) Seguidamente crear un escenario de referencia Como Usual (BAU) hasta el año 2050, con los supuestos que la evolución del comportamiento de las existencias, ventas de vehículos, tipos de combustible no tendrá cambios en sus supuestos y tendencias de crecimiento, ósea considerando un crecimiento vegetativo. En este se obtendrá los consumos de energía y las emisiones proyectadas hasta

el 2050 con estas consideraciones y servirán como punto de comparación con los escenarios de movilidad eléctrica a utilizar.

- e) Finalmente crear y comparar una serie de escenarios que examinen el impacto del ingreso de diversos tipos de movilidad eléctrica para reducir el consumo de combustibles y las emisiones. Estos escenarios se pueden comparar contra el caso base y así poder cuantificar el impacto de las medidas a tomar.

4.2. Consideraciones sobre el modelo utilizado para el análisis

En la *Figura 8* líneas abajo se muestra un resumen del modelo utilizado para el cálculo de energía demandada así como las emisiones producidas. En el lado izquierdo de la *Figura 8* se puede observar que se ingresa la cantidad de vehículos existentes y las ventas del año por tipo de vehículo. Así mismo se debe ingresar los tipos de tecnología por cada tipo de vehículo y luego indicar los tipos de combustible que consume cada tipo de tecnología de cada tipo de vehículo.

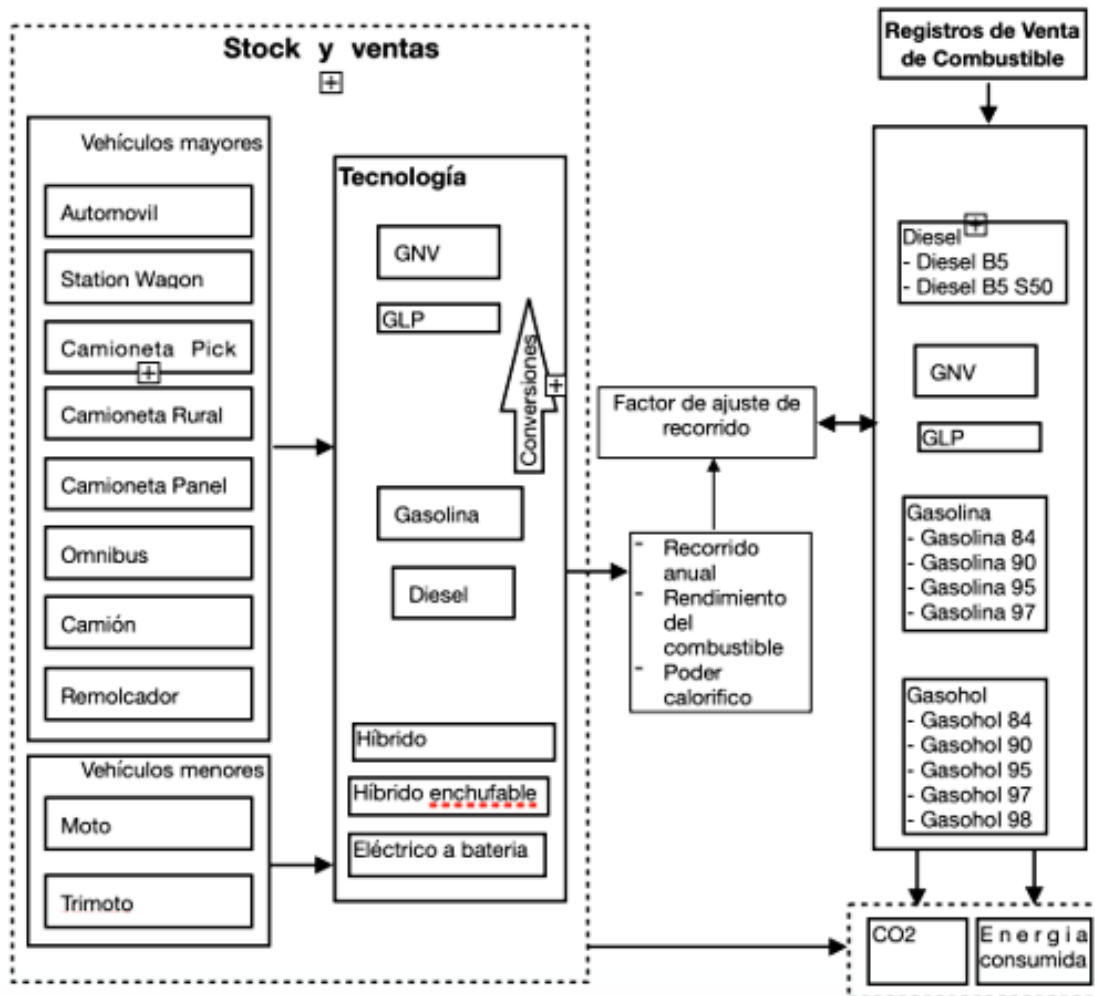
Luego se requiere los consumos específicos de combustible promedio por tipo de vehículo, tecnología y combustible utilizado, los recorridos promedio estimados por tipo de vehículo y los factores de emisión para cada tipo de combustible por tipo de tecnología y por tipo de vehículo.

Con esta información se obtiene los consumos demandados de combustible.

Sin embargo, dada la variabilidad de los factores de emisión por vehículos, los recorridos promedio, los diversos tipos de modelo existentes en el mercado, la cantidad efectiva de vehículos que se desplazan en el año se debe verificar si los consumos demandados calculados reflejan los consumos de

combustible reales que se registraron en los portales de Osinergmin e Infogas. Entonces se ajusta el recorrido de los vehículos para obtener los valores reales.

Figura 8: Modelo utilizado para el cálculo energía demandada y emisiones



Fuente: Elaboración propia

4.3. Elaboración del esquema de la propuesta

Como primer paso se definió la estructura de datos a utilizar para el análisis

4.3.1. Sobre la creación de las asunciones clave

Los parámetros de asunción clave para este estudio fueron los siguientes:

- a) Producto Bruto Interno, expresado en Soles base 2007.
- b) Población.
- c) Producto Bruto Interno per cápita, el cual se obtuvo de manera indirecta como la división de los 2 parámetros anteriores en la plataforma LEAP

Estas asunciones clave se utilizarán para estimar la proyección de ventas de vehículos en los diversos escenarios de análisis.

4.3.2. Creación de los elementos sobre los cuales se hará el análisis

Para la creación de los elementos se procedió de la siguiente manera:

- a) Creación de los tipos de vehículos
- b) Creación de los tipos de tecnología a evaluar por cada tipo de vehículo. En la Tabla 27 se muestra los elementos considerados para el modelo.

4.3.3. Creación de los tipos de combustible y/o tipos de fuente de energía utilizados en cada una de los tipos de tecnología analizados.

En la

Tabla 28 se muestran los tipos de combustibles y/o fuentes de energía utilizadas para el accionamiento de los vehículos.

Creación de las emisiones a tomar en cuenta. Se ingresó las siguientes: Dióxido de Carbono⁵, Metano y Óxidos de Nitrógeno.

Tabla 27: Tipos de vehículo y tipos de tecnología analizados

Tipo de vehículo	Tipo de Tecnología						
	Diésel	GLP	GNV	Gasolina	Híbrido	PHEV_Híbrido combustible	BEV-eléctrico
Automóviles	x	x	x	x	x	x	x
Station Wagon	x	x	x	x	x	x	x
Camioneta PickUp	x	x	x	x	x		
Camioneta Rural	x	x	x	x	x	x	x
Camioneta Panel	x	x	x	x			x
Ómnibus	x	x	x	x			x
Camión	x	x	x	x			
Remolcador	x	x	x	x			
Motos	x	x	x	x			x
Moto taxis	x	x	x	x			x

Elaboración propia en función de la información revisada

⁵ Para el presente documento, por alcance se desarrolló el análisis de los resultados de las emisiones correspondientes a CO₂

Tabla 28: Tipos de combustible y/o fuente de energía utilizada para los vehículos

Tipo de tecnología	Tipo de combustible													Electricidad	
	Diésel B5	Diesel B5	GLP	GNV	Gasolina				Gasohol						
					Gasolina 84	Gasolina 90	Gasolina 95	Gasolina 97	Gasohol 84	Gasohol 90	Gasohol 95	Gasohol 97	Gasohol 98		
Diésel	x	x													
GLP			x												
GNV				x											
Gasolina					x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Hibrido										x					
PHEV_Hibrido enchufable										x					x
BEV-eléctrico															x

Elaboración propia

4.3.4. Preparación del inventario de combustibles y emisiones para el año base (Current accounts)

Para la preparación del inventario de combustibles y emisiones para el año base se hizo por niveles de información de arriba hacia abajo. Para esto se tomó en cuenta la información mostrada en el Capítulo 3 de la presente tesis.

A continuación, describiremos las consideraciones tomadas en cuenta para cada nivel de ingreso.

- a) Nivel 1 del árbol de datos: En este nivel se define la cantidad de unidades para cada tipo de vehículos. Se ingresó la siguiente información:
- i. Cantidad de existencias (número de unidades) por tipo de vehículo en el año base: Se ingresó tomando como base la data presentada en la *Tabla 11: Parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo 2007-2018* sin considerar las ventas del año base.
 - ii. Cantidad de ventas (número de unidades) por tipo de vehículo en el año base: Se consideró para 2018 de acuerdo a la data presentada en la *Tabla 12: Importación de vehículos automotores, según estado y clase vehicular: 2007-2019*.
- b) Nivel 2 del árbol de datos: En este nivel de datos se ingresó los tipos de tecnología de motor por tipo de vehículos. Para esta parte se expresó como porcentaje de cuota con respecto a los tipos de vehículos ingresados en el Nivel 1 del árbol de datos. Las siguientes consideraciones se tomaron en cuenta:
- i. Cuota (en porcentaje) de las existencias de cada tipo de tecnología por tipo de vehículo considerado. Para esta información se tomó como base para el cálculo de las cuotas porcentuales la información presentada en la *Tabla 14: Número de vehículos menores según tipo de combustible, 2017* y *Tabla 15: Número de vehículos mayores según tipo de combustible, 2017* así como para el caso de los vehículos electrificados se tomó en cuenta la información de la *Tabla 10: Venta de vehículos electrificados* y se tomó en cuenta que en 2017 fueron 357 híbridos [25]

- ii. Perfil de antigüedad de los vehículos (en porcentaje) de cada tipo de tecnología por tipo de vehículos de las existencias. Para este perfil se tomó en cuenta la data de la *Tabla 18: Porcentaje de vehiculos de transporte de carga y de pasajeros por antigüedad del capítulo 3.*
- iii. Cuota (en porcentaje) de las ventas de cada tipo de tecnología por tipo de vehículo considerado. Para esta información se tomó en cuenta la información de la *Tabla 12: Importación de vehículos automotores, según estado y clase vehicular: 2007-2019*, *Tabla 11: Parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo 2007-2018*, *Tabla 15: Número de vehículos mayores según tipo de combustible, 2017*, *Tabla 14: Número de vehículos menores según tipo de combustible, 2017*, *Tabla 10: Venta de vehículos electrificados*, *Tabla 22: Activaciones de vehículos a GNV* y la *Tabla 23: Usos de combustibles de uso vehicular en los hogares.*

Perfil de supervivencia de los vehículos comprados. De igual manera se ingresa que de acuerdo al ciclo de vida del vehículo comprado se coloca un perfil de sobrevivencia de vehículos con respecto a la edad de los vehículos.

- c) Nivel 3 del árbol de datos: En este nivel de datos se ingresó tipos de combustible utilizado por tipos de tecnología por tipo de vehículos.
 - i. Cuota (en porcentaje) por uso de combustible utilizado: Se ingresó en porcentaje la cuota de uso de combustible por tipo de tecnología. Para el cálculo de esta información se tomó en cuenta la información correspondiente a las ventas al público de los

diversos tipos y subtipos de combustibles: Tabla 19: Consumo de combustibles líquidos a nivel nacional en puestos de venta al público, Tabla 20: Consumo de GNV (miles de m³), Tabla 21: Consumo de GLP automotor (galones) distribuido de manera ponderada entre los diversos vehículos mostrados en la Tabla 11: Parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo 2007-2018 tomando en cuenta los rendimientos y recorrido promedios de la Tabla 16: Estructura del consumo de combustible por tipo de vehículo al 2012 por tipo de vehículo y combustible.

- ii. Economía de combustible: en este nivel se ingresó la economía de combustible de cada tipo de vehículo de cada tecnología utilizando el combustible utilizado. Para esta información se tomó en cuenta la información de la Tabla 16: Estructura del consumo de combustible por tipo de vehículo al 2012.
- iii. Cuota por sub tipo de combustible, este fue utilizado en el caso de la gasolina y gasohol para ingresar que porcentaje corresponde a cada una de sus presentaciones (Gasolinas 84, 90, 95 o 97) o gasoholes (84, 90, 95, 97 o 98). Para esta información se calculó las proporciones en base a la información de la Tabla 19: Consumo de combustibles líquidos a nivel nacional en puestos de venta al público.
- iv. Recorrido: Así mismo se ingresó el recorrido anual promedio, de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 16: Estructura del consumo de combustible por tipo de vehículo al 2012

- v. Factor de ajuste por recorrido: Se calculó el factor de ajuste para que se iguale el consumo de combustible calculado con los rendimientos y recorridos promedio de todo el parque automotor con las ventas reales de los combustibles a nivel nacional. Los factores de ajuste para 2018 fueron los siguientes:

Tabla 29: Factores de ajuste por recorrido por tipo de vehículo y por tipo de combustible.

Tecnología	BEV Eléctrico	Diesel	Gasolina	GLP	GNV	Híbrido	PHEV Híbrido enchufable
Automoviles	0.3857	0.3430	0.3828	0.9880	1.0376	0.3828	0.3857
Camión		0.3411	0.2986	1.0000	0.2886		
Camioneta	0.3857	0.3411	0.3925	0.8042	1.0000		
Panel							
Camioneta	0.3857	0.3411	0.3925	0.8042	1.0000		
PickUp							
Camioneta	0.3857	0.3411	0.3925	1.0634	1.0000	0.3411	
Rural							
Motos	0.3411	0.3411	0.4266	0.6799	0.3925		
Mototaxis	0.3411	0.3411	0.4266	0.6799	0.1308		
Ómnibus	0.3411	0.3411	0.2986	1.0684	2.6492		
Remolcador		0.3411	0.2986	1.0000	0.1202		
Station	0.3857	0.3411	0.3857	0.8658	1.0376	0.3857	0.3857
Wagon							

- d) Nivel 4 del árbol de datos: En este nivel se define los efectos ambientales por tipos de combustible utilizado por tipos de tecnología por tipo de vehículos del total de unidades. En la tabla 28 se muestran los valores considerados por tipo de combustible y tipo de vehículo.

- i. Dióxido de Carbono ((kg CO₂/TJ). Se tomó en cuenta la información de la Tabla 1: Factores de emisión en unidades móviles por tipo de combustible
- ii. Metano
- iii. Óxidos de Nitrógeno

Tabla 30: Factores de emisión utilizados

	Diesel B5	Diesel B5 S50	Gasohol	Gasolina	GLP	GNV
Automóviles						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Camion						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Camioneta Panel						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Camioneta PickUp						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Camioneta Rural						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Motos						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Mototaxis						

Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Omnibus						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Remolcador						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00
Station Wagon						
Carbon Dioxide	70395.00	70395.00	63894.60	69300.00	63100.00	56100.00
Methane	3.70	3.70	3.50	33.00	62.00	92.00
Nitrous Oxide	3.71	3.71	5.26	3.20	0.20	3.00

4.3.5. Creación del escenario de referencia Como Usual (BAU – Business as Usual)

En este paso se definió las asunciones clave a tener en cuenta para estimar la evolución de las ventas de los diversos tipos de vehículos y el uso de los diversos tipos de combustible al 2050 sin mayores cambios.

4.3.5.1. Definición de las asunciones clave.

Las asunciones clave tomadas en cuenta para el modelo son PBI y Población. A continuación, empezaremos a explicar los criterios utilizados para cada uno de ellos.

i. Producto Bruto interno (PBI): para el PBI se tomó en cuenta las siguientes consideraciones: los valores reales 2019 y 2020 de acuerdo a los valores del Banco Central de Reserva del Perú (BCR), para los años 2021 al 2024 de acuerdo a las proyecciones del ministerio de

economía y finanzas [19] y los demás fueron estimados de acuerdo a los porcentajes presentados en el Informe del Proyecto PlanCC [2]. La data ingresada se encuentra en la Tabla 26: Proyección de PBI y Población 2021-2050.

ii. Población: De igual manera para 2019 y 2020 la data se ingresó de acuerdo a data del BCRP [38] y a partir del 2021 se estimó de acuerdo a los porcentajes calculados en base a las estimaciones del Informe del Proyecto Plan CC [2]. La data ingresada se encuentra en la Tabla 26: Proyección de PBI y Población 2021-2050.

iii. PBI per cápita: Se ingresa como un cálculo de PBI/Población.

4.3.5.2. Preparación del inventario de combustibles y emisiones para el caso base (Business as Usual – BAU)

Para la preparación del caso base Como Usual (BAU) se tomó en cuenta la siguiente información en los siguientes niveles del árbol de datos:

a) Nivel 1 del árbol de datos

Cantidad de ventas por tipo de vehículo para el caso base:

Se ingresó para 2019 y 2020 de acuerdo a data publicada por la AAP, la cual se muestra en la Tabla 9: Ventas de vehículos en el Perú 2019 – 2020 y para 2021 al 2050 de acuerdo a curvas de regresión calculadas en función de las ventas por tipo de vehículo de acuerdo a data histórica que fueron mencionadas en las tablas Tabla 11: Parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo 2007-2018 vs el pbi per cápita de cada año para cada uno

de los vehículos mayores. Para el caso de los vehículos menores en función de la población, de acuerdo a las recomendaciones del grupo de expertos del Proyecto PlanCC [2]. La ecuación de las ventas de los vehículos mayores se muestran en la Tabla 31: Coeficientes de regresión lineal Cantidad de tipos de vehículos mayores en función del PBI y la de los vehículos menores se muestran en la Tabla 32: Coeficiente de regresión lineal Cantidad de tipos de vehículos menores en función de la población. Así mismo debido al comportamiento diferente durante la pandemia se implementó un offset (compensación) para que la curva reinicie desde 2022 con la premisa que a fines de 2021 se normalicen los valores pre-pandemia.

Tabla 31: Coeficientes de regresión lineal Cantidad de tipos de vehículos mayores en función del PBI

Tipo de vehículo	Coeficiente A	Coeficiente B	Offset
Automóvil	99.6214195	-492662.608	-31000
Station Wagon	33.5597723	-158851.379	-10000
Camioneta Pick Up	22.499135	-85755.9344	3100
Camioneta Rural	41.8524559	-318082.176	42000
Camioneta Panel	2.53039206	1863.03099	1270
Ómnibus	7.33573041	-40963.7094	-1000
Camión	18.8798301	-100554.085	-4000
Remolcador	4.4487767	-30324.7336	-800

Elaboración propia de acuerdo a información de MTC, Proyecto Plan CC y BCRP [32], [2], [38]

Tabla 32: Coeficiente de regresión lineal Cantidad de tipos de vehículos menores en función de la población

Tipo de vehículo	Coeficiente A	Coeficiente B	Offset
Motocicletas	5.398686958	-421.6224055	-10500
Trimotos (Mototaxis)	6.214129908	-78349.87571	-7900

Elaboración propia de acuerdo a información de MTC, Proyecto

Plan CC y BCRP [21], [2], [38]

b) Nivel 2 del árbol de datos: Por tipos de tecnología por tipo de vehículos del total de unidades

i. Cuota de ventas por tipo de tecnología: se ingresó el porcentaje por tipo de tecnología existente para cada uno de los tipos de vehículo. La información considerada en el escenario BAU hasta el año 2050 se muestra en la Tabla 33: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario BAU. Para esta información se tomó en cuenta lo siguiente:

- Como referencia inicial se tomó en cuenta los porcentajes del año base 2018.
- Para los casos de automóviles de GNV se mantienen los valores cuota hasta el año 2034, de ahí se asume una disminución gradual hasta 5% del 2050 debido a que los subsidios que existen actualmente están definidos hasta dicho año. Esto debido a que los incentivos de conversión a vehículos GNV.
- Así mismo para los casos de los vehículos híbridos, electrificados se tomó los valores reales de 2019 y 2020 y se mantuvo las cuotas de venta de 2020 en adelante.

- c) Nivel 3 del árbol de datos: Por tipos de combustible utilizado por tipos de tecnología por tipo de vehículos del total de unidades.
- i. Cuota por uso de combustible utilizado: Se ingresó en porcentaje la cuota de uso de combustible por tipo de tecnología y vehículo de las ventas 2019 y 2020. Para 2021 en adelante se tomó en cuenta las cuotas de 2020. Para esta información se tomó en cuenta los datos de las tablas: Tabla 19: Consumo de combustibles líquidos a nivel nacional en puestos de venta al público, Tabla 20: Consumo de GNV (miles de m³) y Tabla 21: Consumo de GLP automotor (galones).
 - ii. Economía de combustible: en este nivel se ingresó la economía de combustible de cada tipo de vehículo utilizando el combustible utilizado similar al año base.
 - iii. Cuota por sub tipo de combustible, este fue utilizado en el caso de la gasolina y gasohol para ingresar que porcentaje corresponde a cada una de sus presentaciones (Gasolinas 84, 90, 95 o 97) o gasoholes (84, 90, 95, 97 o 98). Se ingresó los valores para 2019 y 2020 calculados de manera similar al año base y de ahí se consideró constante de 2021 a 2050.
 - iv. Recorrido: Así mismo se ingresó el recorrido anual promedio similar al año base.
 - v. Factor de ajuste por recorrido: Se ingresó ajustando de acuerdo a las ventas reales de los combustibles a nivel nacional para 2019 y 2020. Se consideró para 2022 el retorno al valor del 2019, esto

debido a que por el efecto de la pandemia en el año 2020 el recorrido fue menor y atípico.

- d) Nivel 4 del árbol de datos: Efectos ambientales por tipos de combustible se mantuvieron similar al año base.

4.3.6. Definición de escenarios

Para el presente estudio se propuso estimar el impacto del cambio gradual de combustibles fósiles a electricidad en cada uno de los tipos de vehículos. Los escenarios analizados se describen a continuación:

4.3.6.1. Escenario de ingreso de automóviles eléctricos:

En este escenario se analizó el ingreso de automóviles, station wagon y camionetas de tipo electrificado al 20, 30, 50 y 70% al 2050 en reemplazo de los que usan combustibles fósiles. Las consideraciones tomadas en cuenta se muestran en la Tabla 34: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Automóviles 20%, 30%, 40%, 50% y 70% así como la Tabla 35 Para cada escenario se considera 3 sub-escenarios con la finalidad de representar el mayor o menor ingreso de automóviles híbridos y en contraposición de vehículos eléctricos a batería de manera de poder realizar una comparación entre el mayor o menor ingreso de estas tecnologías de vehículos electrificados. Este análisis se consideró para los automóviles, los station wagon y las camionetas rurales (donde se considera los vehículos SUV). En el caso de las camionetas pickup se considera un ingreso menor constante tipo híbrido debido a la tecnología en desarrollo en este campo. Para el caso de las camionetas panel se considera que los ingresos serían a batería para el presente análisis.

Tabla 33: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario BAU

Tipo de vehículo	Año	Automóviles	Station Wagon	Camioneta PickUp	Camioneta Rural	Camioneta Panel	Omnibus	Camion	Remolcador	Motos	Mototaxis
Tipo de tecnología											
Diesel	2019	7.06857854	7.07191232	completa 100%	13.41564219	34.28405282	Completa 100%	Completa 100%	Completa 100%	0.15289839	0.15289839
	2020	7.07130314	7.07191232	completa 100%	13.41564219	34.28405282	Completa 100%	Completa 100%	Completa 100%	0.15289839	0.15289839
GLP	2019	12.84100703	5.914957561	2.0744043	10.74360071	14.79481745	0.231497198	0	0	0.91167799	0.91167799
	2020	12.84595663	5.914957561	2.0744043	10.74360071	14.79481745	0.231497198	0	0	0.91167799	0.91167799
GNV	2019	15.29372823	15.30094126	0	0	0	6.19360848	2.18367383	2.18367383	1.87157722	1.87157722
	2020	15.29962323	15.30094126	0	0	0	6.19360848	2.18367383	2.18367383	1.87157722	1.87157722
Gasolina	2019	Completa 100%	Completa 100%	9.0518352 3	Completa 100%	Completa 100%	0.08567663	1.12806359	0.08913035	completa 100%	completa 100%
	2020	Completa 100%	Completa 100%	9.0518352 3	Completa 100%	Completa 100%	0.08567663	1.12806359	0.08913035	completa 100 %	completa 100 %
Híbrido	2019	0,80649357	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	2020	1.28705906		0	0	-	-	-	-	-	-

PHEV_Híbrido enchufable	2019	0.01665326	0	-	0	-	-	-	-	-	-
	2020	0.02141133		-	0	-	-	-	-	-	-
BEV_Eléctrico	2019	0.04282267	0	-	0	0	0.00447424	-	-	0.2385614	0.01771958
	2020	0.05471785		-	0	0	0.093632959		-	0.2385614	0.01771958

Nota: Para 2021 en adelante se consideró los mismos valores de 2020, solo en el caso de GNV se considera crecimiento hasta 15.3% en 2034 y de ahí un decrecimiento hasta 5% en 2050

Tabla 34: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Automóviles 20%, 30%, 40%, 50% y 70%

Tipo de vehículo Tipo de tecnología	Automóviles	Station Wagon	Camioneta PickUp	Camioneta Rural	Camioneta Panel	Omnibus	Camion	Remolcador	Motos	Mototaxis
Diesel	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU- (40%-% ingreso electrificados) ⁶	Completa 100%	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU
GLP	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
GNV	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Gasolina	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	completa 100%

⁶ 40% es la proporción entre vehículos a diésel con vehículos a gasolina de esta tecnología.

Híbrido	2019 y 2020 como escenario BAU Se consideran escenarios de crecimiento de las ventas de vehículos electrificados de 20%, 30%, 40%, 50% y 70% al 2050 en automóviles y station wagon y para las camionetas según Error!	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
PHEV_Híbrido enchufable	Not a valid result for table.. Cada escenario se divide en 3 escenarios desde un ingreso menor hasta uno mayor de vehículos eléctricos a batería con el correspondiente mayor o menor ingreso de vehículos híbridos. La distribución de los porcentajes se muestran en la Error! Not a valid result for table..	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
BEV_Eléctrico	Para los vehículos híbridos enchufables se consideran tasas de ingreso constantes principalmente por su mayor aplicación en vehículos de menor tamaño. Para las camionetas panel se considera que las ventas serían principalmente a vehículos eléctricos con batería.	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU

Tabla 35 Porcentaje de distribución de ingreso de los diversos tipos de vehículos electrificados al 2050 del escenario de ingreso de Autos eléctricos.

Tipo de vehículo	%Ingreso vehículos	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50	50	50	70	70	70
Automóviles	Hibrido	12.0	5.0		18.0	7.5		24.0	10.0		30.0	12.5		42.0	17.5	
	Hibrido enchufable	3.0	3.0		4.5	4.5		6.0	6.0		7.5	7.5		10.5	10.5	
	Baterías	5.0	12.0	20.0	7.5	18.0	30.0	10.0	24.0	40.0	12.5	30.0	50.0	17.5	42.0	70.0
Station Wagon	Hibrido	12.0	5.0		18.0	7.5		24.0	10.0		30.0	12.5		42.0	17.5	
	Hibrido enchufable	3.0	3.0		4.5	4.5		6.0	6.0		7.5	7.5		10.5	10.5	
	Baterías	5.0	12.0	20.0	7.5	18.0	30.0	10.0	24.0	40.0	12.5	30.0	50.0	17.5	42.0	70.0
Camioneta	Hibrido	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
PickUp	Hibrido enchufable															
Camioneta Rural	Hibrido	12.0	5.0		18.0	7.5		24.0	10.0		30.0	12.5		42.0	17.5	
	Hibrido enchufable	3.0	3.0		4.5	4.5		6.0	6.0		7.5	7.5		10.5	10.5	

	Baterías	5.0	12.0	20.0	7.5	18.0	30.0	10.0	24.0	40.0	12.5	30.0	50.0	17.5	42.0	70.0
Camioneta	Hibrido															
Panel	Hibrido enchufable															
	Baterías	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	40.0	40.0	40.0	50.0	50.0	50.0	70.0	70.0	70.0

4.3.6.2. Escenario de ingreso de buses eléctricos:

En este escenario se analizó el ingreso de buses eléctricos al 30%, 60% y 90% al 2050 en reemplazo de los que usan combustibles fósiles. Las consideraciones tomadas en cuenta se muestran en la Tabla 36: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Buses 30%, 60% y 90%

4.3.6.3. Escenario de ingreso de vehículos menores:

En este escenario se analizó el ingreso de motos y trimotos eléctricas al 30%, 60% y 90% al 2050 en reemplazo de las que usan combustibles fósiles. Los supuestos considerados se muestran en la Tabla 37: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Motos 30%, 60% y 90%.

4.3.6.4. Escenarios de penetración baja, intermedia y alta de vehículos electrificados:

Para esta parte se considera 3 escenarios, los cuales son una combinación de los diversos escenarios mencionados en los puntos 4.3.5.1., 4.3.5.2. y 4.3.5.4. del presente apartado. Los escenarios evaluados fueron:

- i. *Escenario de penetración baja de vehículos electrificados*, el cual combina los escenarios Autos 30%, Buses 30% y Motos 30%. Los supuestos considerados se muestran en la Tabla . Para el caso de Autos al 30% se subdividieron en 3: A. Menor ingreso de vehículos a batería y mayor ingreso de vehículos híbridos, B. Mayor ingreso de vehículos a batería y menor ingreso de vehículo híbridos y C.

Ingreso de solo vehículos a batería, esto para ver las expectativas de reducción de energía de combustibles fósiles, así como el impacto de CO₂.

- ii. *Escenario de penetración media de vehículos electrificados*, el cual combina los escenarios Autos 50%, Buses 60% y Motos 60%. Los supuestos considerados se muestran en la Tabla 39: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de penetración media de movilidad eléctrica. De igual manera se dividió en 3 sub-escenarios: menor, mayor y total de ingreso de vehículos eléctricos a batería.
- iii. *Escenario de penetración alta de vehículos electrificados*, el cual combina los escenarios Autos 70%, Buses 90% y Motos 90%. Los supuestos considerados se muestran en la
- iv.
- v.
- vi. Tabla 40: *Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de alta penetración de **movilidad eléctrica***. De igual manera se dividió en 3 sub-escenarios: menor, mayor y total de ingreso de vehículos eléctricos a batería.

Tabla 36: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Buses 30%, 60% y 90%

Tipo de vehículo <i>Tipo de tecnología</i>	Automóviles	Station Wagon	Camioneta Pickup	Camioneta Rural	Camioneta Panel	Omnibus	Camion	Remolcador	Motos	Mototaxis
Diesel	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
GLP	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
GNV	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Gasolina	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Híbrido	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
PHEV_Híbrido enchufable	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU

BEV_El�ctrico	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	7Esc. Buses 30%: a 2030: 5%, a 2040: 15%, a 2050: 30% Esc. Buses 60%: a 2030: 10%, a 2040: 30%, a 2050: 60% Esc. Buses 90%: a 2030: 15%, a 2040: 45%, a 2050: 90%	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
---------------	----------	----------	----------	----------	----------	---	----------	----------	----------	----------

⁷ Para este escenario solo se varió incrementando la participación de porcentaje de la venta de buses eléctricos. El resto se mantuvo de acuerdo a los supuestos del escenario base.

Tabla 37: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenarios Motos 30%, 60% y 90%

Tipo de vehículo Tipo de tecnología	Automóviles	Station Wagon	Camioneta PickUp	Camioneta Rural	Camioneta Panel	Omnibus	Camion	Remolcador	Motos	Mototaxis
Diesel	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
GLP	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
GNV	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Gasolina	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Híbrido	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
PHEV_Híbrido enchufable	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU

BEV_El�ctrico	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	8Esc. Motos 30%: a 2030: 5%, a 2040: 15%, a 2050: 30% Esc. Motos 60%: a 2030: 10%, a 2040: 30%, a 2050: 60% Esc. Motos 90%: a 2030: 15%, a 2040: 45%, a 2050: 90%
---------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---

⁸ Para este escenario solo se varió incrementando la participación de porcentaje de la venta de motos y moto taxis eléctricos. El resto se mantuvo de acuerdo a los supuestos del escenario base.

Tabla 38: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de baja penetración de movilidad eléctrica

Tipo de vehículo Tipo de tecnología	Automóviles	Station Wagon	Camioneta PickUp	Camioneta Rural	Camioneta Panel	Omnibus	Camion	Remolcador	Motos	Mototaxis																				
Diesel	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU	Completa 100%	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU																				
GLP	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU																				
GNV	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU																				
Gasolina	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	completa 100%																				
Híbrido	Se presentan 3 escenarios de vehículos en el escenario de penetración baja: <table border="1" style="margin-left: 40px; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>Tipo de vehículo</th> <th>%Ingreso vehículos</th> <th>Esc A</th> <th>Esc B</th> <th>Esc C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Automóviles</td> <td>Hibrido</td> <td>18</td> <td>7.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Hibrido enchufable</td> <td>4.5</td> <td>4.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Baterías</td> <td>7.5</td> <td>18</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>					Tipo de vehículo	%Ingreso vehículos	Esc A	Esc B	Esc C	Automóviles	Hibrido	18	7.5			Hibrido enchufable	4.5	4.5			Baterías	7.5	18	30	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Tipo de vehículo						%Ingreso vehículos	Esc A	Esc B	Esc C																					
Automóviles						Hibrido	18	7.5																						
	Hibrido enchufable	4.5	4.5																											
	Baterías	7.5	18	30																										
PHEV_Híbrido enchufable						Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU																				
BEV_Eléctrico						Esc. Buses 30%:	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. Motos 30%:																				

Station Wagon	Hibrido	18	7.5		a 2030: 5%, a 2040: 15%, a 2050: 30%			a 2030: 5%, a 2040: 15%, a 2050: 30%
	Hibrido enchufable	4.5	4.5					
	Baterías	7.5	18	30				
Camioneta PickUp	Hibrido	15	15	15				
	Hibrido enchufable							
	Baterías							
Camioneta Rural	Hibrido	18	7.5					
	Hibrido enchufable	4.5	4.5					
	Baterías	7.5	18	30				
Camioneta Panel	Hibrido							
	Hibrido enchufable							
	Baterías	30	30	30				

Tabla 39: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de penetración media de movilidad eléctrica

Tipo de vehículo Tipo de tecnología	Automóviles	Station Wagon	Camioneta PickUp	Camioneta Rural	Camioneta Panel	Omnibus	Camion	Remolcador	Motos	Mototaxis
Diesel	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU-(40%- % ingreso electrificados) ⁹	Completa 100%	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU
GLP	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
GNV	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Gasolina	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	completa 100%
Híbrido	Se presentan 3 sub-escenarios de vehículos en el escenario de media penetración:					Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
PHEV_Híbrido enchufable						Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
BEV_Eléctrico							Esc. BAU	Esc. BAU		

Tipo de vehículo	%Ingreso vehículos	Esc A	Esc B	Esc C
Automóviles	Hibrido	30	12.5	
	Hibrido enchufable	7.5	7.5	

⁹ 40% es la proporción entre vehículos a diésel con vehículos a gasolina de esta tecnología.

	Baterías	12.5	30	50						
Station Wagon	Hibrido	30	12.5			Esc. Buses 60%: a 2030: 10%, a 2040: 30%, a 2050: 60%			Esc. BAU	Esc. Motos 60%: a 2030: 10%, a 2040: 30%, a 2050: 60%
	Hibrido enchufable	7.5	7.5							
	Baterías	12.5	30	50						
Camioneta PickUp	Hibrido	15	15	15						
	Hibrido enchufable									
	Baterías									
Camioneta Rural	Hibrido	30	12.5							
	Hibrido enchufable	7.5	7.5							
	Baterías	12.5	30	50						
Camioneta Panel	Hibrido									
	Hibrido enchufable									
	Baterías	50	50	50						

Tabla 40: Porcentaje de ventas por tipo de vehículo y tipo de tecnología – Escenario de alta penetración de movilidad eléctrica

Tipo de vehículo	Automóviles	Station Wagon	Camioneta PickUp	Camioneta Rural	Camioneta Panel	Omnibus	Camion	Remolcador	Motos	Mototaxis
Diesel	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU- (40%-% ingreso electrificados) ¹⁰	Completa 100%	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU
GLP	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
GNV	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
Gasolina	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Completa 100%	Completa 100%	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	completa 100%	completa 100%
Híbrido	Se presentan 3 sub-escenarios de vehículos en el escenario de alta penetración:					Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU

¹⁰ 40% es la proporción entre vehículos a diésel con vehículos a gasolina de esta tecnología.

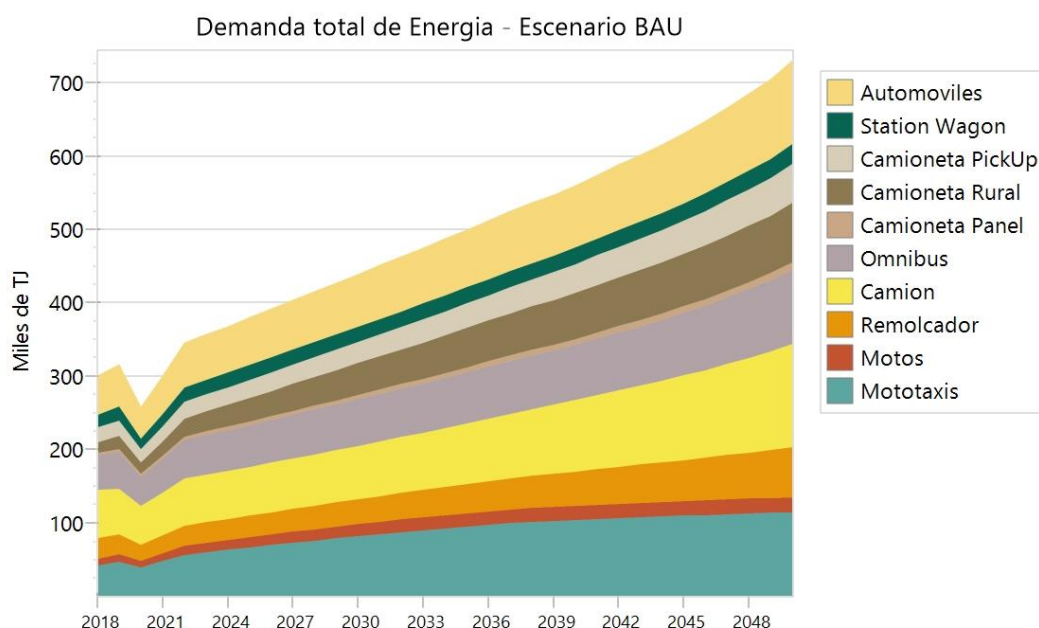
PHEV_Híbrido enchufable	Tipo de vehículo	%Ingreso vehículos	Esc A	Esc B	Esc C	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU
BEV_Eléctrico	Automóviles	Hibrido	42	17.5		Esc. Buses 90%: a 2030: 15%, a 2040: 45%, a 2050: 90%	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. BAU	Esc. Motos 90%: a 2030: 15%, a 2040: 45%, a 2050: 90%
		Hibrido enchufable	10.5	10.5						
		Baterías	17.5	42	70					
	Station Wagon	Hibrido	42	17.5						
		Hibrido enchufable	10.5	10.5						
		Baterías	17.5	42	70					
Camioneta PickUp	Hibrido	15	15	15						
Camioneta Rural	Hibrido	42	17.5							
	Hibrido enchufable	10.5	10.5							
	Baterías	17.5	42	70						
Camioneta Panel	Hibrido									
	Hibrido enchufable									
	Baterías	70	70	70						

CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Análisis del caso base

De acuerdo al modelo desarrollado para el caso base (BAU – Business as usual) la demanda energética en la movilidad terrestre en el Perú se incrementaría desde 299 500 TJ hasta 729 650 TJ hacia el año 2050, tal como se muestra en la *Figura 9: Demanda total de energía –BAU Escenario*. Como nota adicional con el modelo se calcula que debido al menor uso de vehículos por la pandemia del COVID 19 el consumo de energía se redujo de 315 630 a 256 700 TJ entre 2019 y 2020.

Figura 9: Demanda total de energía –BAU Escenario



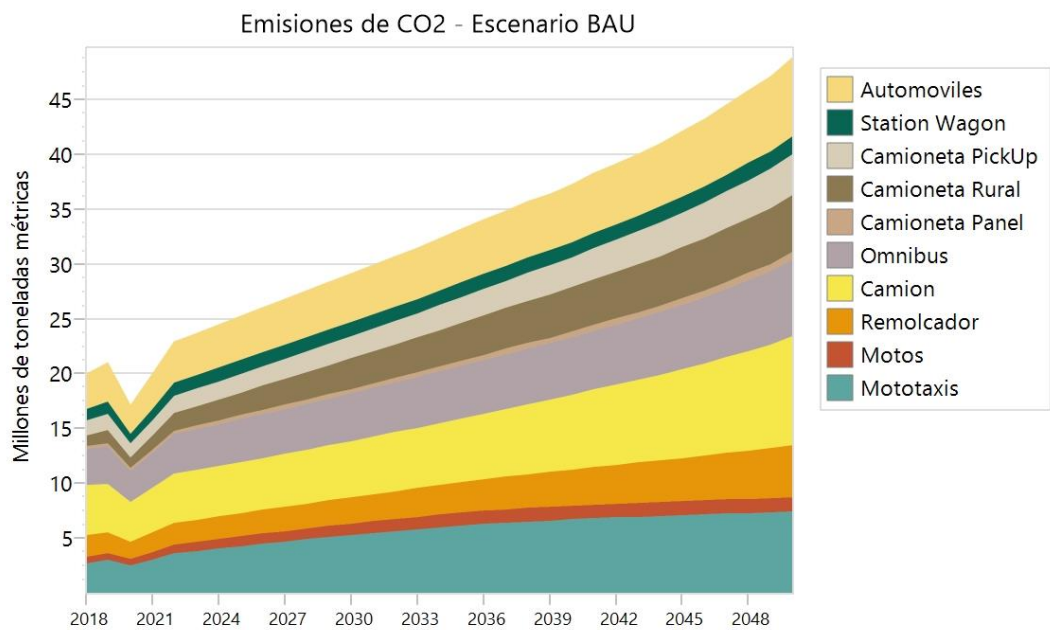
Fuente: Elaborado en LEAP [1]

Con respecto a las emisiones de CO₂ en el escenario BAU se muestra un incremento de las emisiones de 20 a 48.8 millones de toneladas de CO₂ hacia el

2050, lo que se muestra en la *Figura 10*: Emisiones totales de CO₂-Escenario BAU.

Se puede observar así mismo que en el año 2020 se tuvo un impacto en la reducción de emisiones de 21 a 17,14 millones de toneladas de CO₂ por la pandemia del COVID 19 entre 2019 y 2020.

Figura 10: Emisiones totales de CO₂-Escenario BAU



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

5.2. Análisis de los escenarios propuestos.

5.2.1. Sobre los escenarios de incremento del ingreso de automóviles eléctricos

La Figura 11: Demanda final de energía – Escenario automóviles muestra la demanda energética para los escenarios analizados de ingreso desde 20 hasta 70% de automóviles eléctricos hasta el 2050 (incluyendo station wagon y camionetas). De acuerdo a esta figura se puede observar que se puede obtener

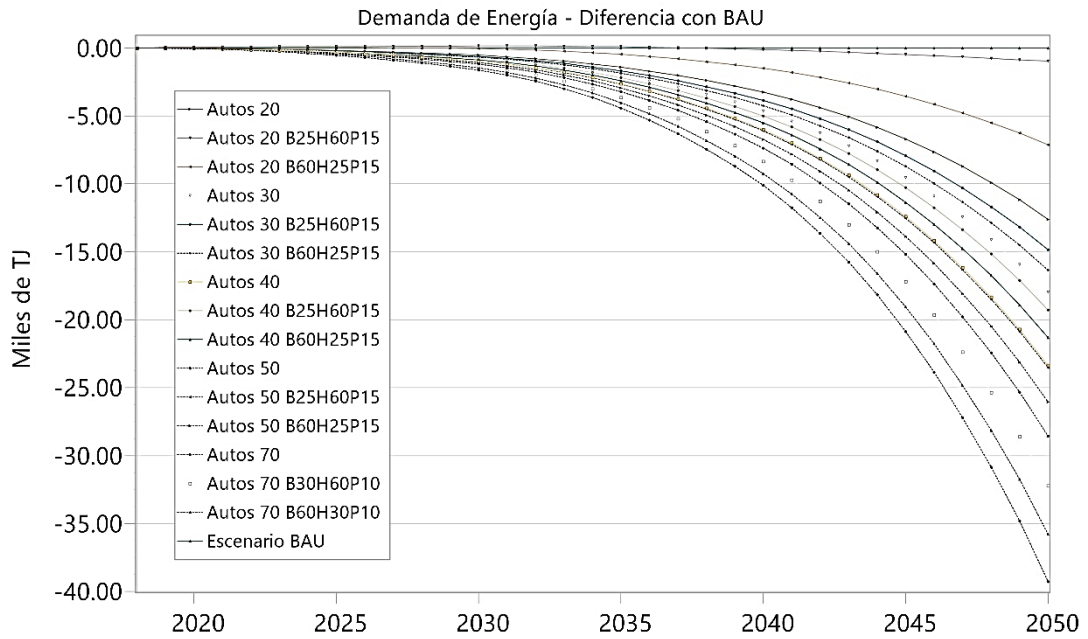
reducciones del consumo de energía en combustible en movilidad vehicular desde 960 TJ hasta 39 260 TJ según sea el escenario escogido con respecto al caso base (BAU).

Así mismo en la Tabla 41 Demanda de Total de Energía – Escenario Autos (miles de TJ) se puede observar con detalle las diversas demandas de energía entre los diversos escenarios de ingreso de automóviles y sus sub escenarios. De ellos se puede observar una menor demanda de energía conforme hay una mayor penetración de movilidad eléctrica. Así mismo se puede ver que si bien es cierto los escenarios con ingreso de más vehículos eléctricos a batería dan mejores ahorros de energía.

Así mismo se puede obtener reducciones de emisiones de CO₂ de 0,16 a 3,10 millones de toneladas de CO₂ en el escenario Automóviles 20% y Automóviles 70% respectivamente con respecto al escenario base (BAU). Los resultados se muestran en las figuras 11. Demanda final de energía – Escenario automóviles y 12. Emisiones de CO₂ – Escenario automóviles.

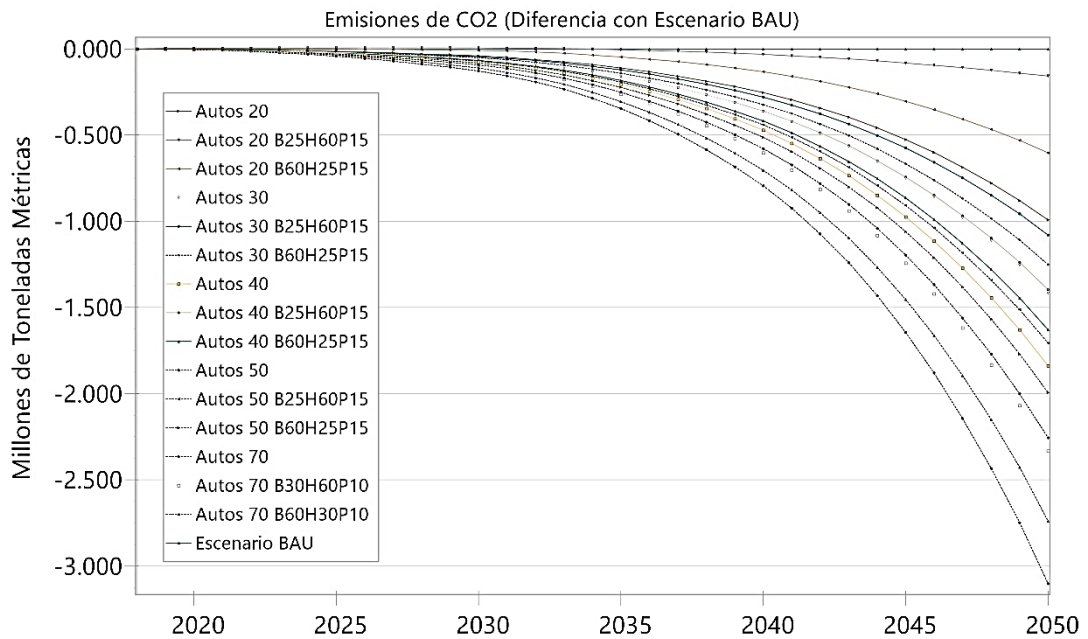
En la Tabla 42 Emisiones de CO₂ – Diferencias con Escenario BAU (Millones de TM) se puede observar de igual manera la misma tendencia.

Figura 11: Demanda final de energía – Escenario automóviles



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

Figura 12: Emisiones de CO₂-Escenario Automóviles



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

Tabla 41 Demanda de Total de Energía – Escenario Autos (miles de TJ)

Escenario	% Ingreso V. Electrificados al 2050	Demanda Energía Combustible				Demanda de Energía - Electricidad			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Escenario BAU		256.70	438.37	559.79	729.61	0.00	0.01	0.03	0.04
Autos 20 B25H60P15	20% - Batería 25%, Híbrido 60%, Híbrido enchufable 15%	256.75	438.49	559.45	727.76	0.00	0.05	0.25	0.93
Autos 30 B25H60P15	30% - Batería 25%, Híbrido 60%, Híbrido enchufable 15%	256.68	437.70	555.60	713.44	0.00	0.07	0.36	1.37
Autos 20 B60H25P15	20% - Batería 60%, Híbrido 25%, Híbrido enchufable 15%	256.75	438.27	557.87	720.80	0.00	0.08	0.45	1.73
Autos 40 B25H60P15	40% - Batería 25%, Híbrido 60%, Híbrido	256.68	437.50	554.34	708.56	0.00	0.08	0.47	1.83

	enchufable 15%								
Autos 50 B25H60P15	50% - Batería 25%, Híbrido 60%, Híbrido enchufable 15%	256.67	437.32	553.13	703.86	0.01	0.10	0.59	2.27
Autos 20	20% - Batería 100%	256.68	437.76	555.97	714.70	0.01	0.10	0.60	2.36
Autos 30 B60H25P15	30% - Batería 60%, Híbrido 25%, Híbrido enchufable 15%	256.68	437.60	554.92	710.75	0.01	0.11	0.66	2.56
Autos 70 B30H60P10	70% - Batería 30%, Híbrido 60%, Híbrido enchufable 10%	256.69	436.94	550.65	694.26	0.00	0.14	0.81	3.17
Autos 40 B60H25P15	40% - Batería 60%, Híbrido 25%, Híbrido enchufable 15%	256.67	437.36	553.43	704.93	0.01	0.15	0.87	3.42
Autos 30	30% - Batería 100%	256.68	437.49	554.30	708.17	0.01	0.15	0.89	3.52

Autos	50% - Batería								
50	60%, Híbrido	256.67	437.14	552.01	699.34	0.01	0.18	1.08	4.26
B60H25P15	25%, Híbrido enchufable 15%								
Autos	40% - Batería								
40	100%	256.67	437.22	552.62	701.64	0.01	0.19	1.18	4.67
Autos	50% - Batería								
50	100%	256.67	436.96	550.98	695.26	0.01	0.24	1.47	5.83
Autos	70% - Batería								
70	60%, Híbrido	256.69	436.69	549.08	687.92	0.00	0.24	1.50	5.95
B60H30P10	30%, Híbrido enchufable 10%								
Autos	70% - Batería								
70	100%	256.66	436.44	547.65	682.25	0.01	0.33	2.05	8.15

Tabla 42 Emisiones de CO2 – Diferencias con Escenario BAU (Millones de TM)

Scenario	2020	2030	2040	2050
Escenario BAU	17.14	29.10	37.26	48.78
Autos 20 B25H60P15	0.00	0.01	-0.03	-0.16
Autos 20 B60H25P15	0.00	-0.01	-0.13	-0.60
Autos 20	0.00	-0.04	-0.25	-0.99
Autos 30 B25H60P15	0.00	-0.04	-0.28	-1.08
Autos 30 B60H25P15	0.00	-0.05	-0.32	-1.25
Autos 40 B25H60P15	0.00	-0.06	-0.36	-1.40
Autos 30	0.00	-0.06	-0.36	-1.42
Autos 40 B60H25P15	0.00	-0.07	-0.42	-1.63
Autos 50 B25H60P15	0.00	-0.07	-0.44	-1.71
Autos 40	0.00	-0.08	-0.47	-1.84
Autos 50 B60H25P15	0.00	-0.08	-0.51	-1.99
Autos 50	0.00	-0.09	-0.58	-2.26
Autos 70 B30H60P10	0.00	-0.10	-0.60	-2.33
Autos 70 B60H30P10	0.00	-0.11	-0.70	-2.74
Autos 70	0.00	-0.13	-0.79	-3.10

5.2.2. Sobre los escenarios de incremento del ingreso de buses eléctricos

La Figura 13: Demanda final de energía - Escenario buses eléctricos muestra la demanda energética en escenarios de ingresos de 30 a 90% de buses eléctricos hasta el 2050. De la misma figura se puede desprender que se pueden reducir el consumo de energía en buses de

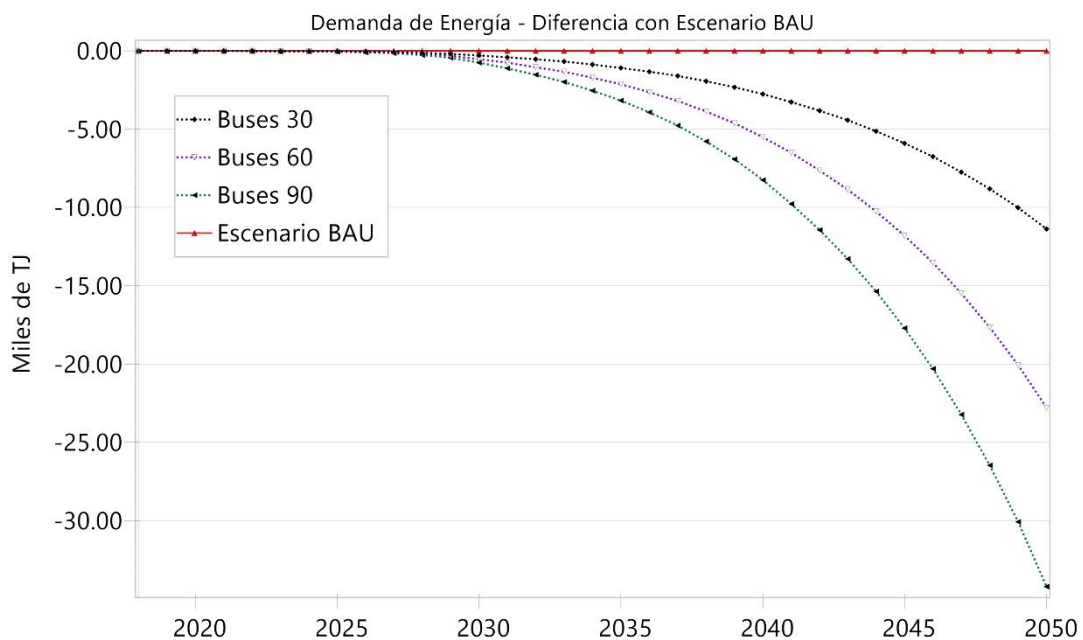
11 380 TJ hasta 34 210 TJ en combustible con referencia al caso base. Así mismo se puede indicar que la reducción de emisiones en el uso de buses eléctricos con respecto al caso base puede ser de 1,12 a 3,37 millones de toneladas de CO2. Los resultados se muestran en la

Figura 14: Emisiones de CO2 – Escenario buses eléctricos.

5.2.3. Sobre los escenarios de incremento del ingreso de vehículos menores eléctricos (motos y trimotos).

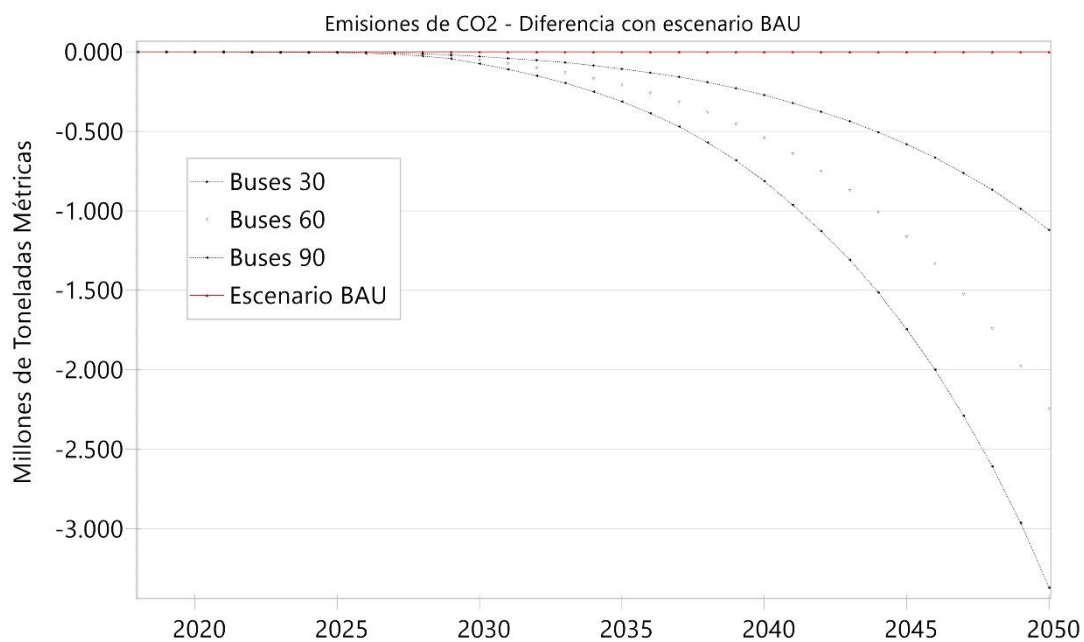
La Figura 15: Demanda de energía final-Escenario vehículos menores muestra la demanda energética en escenarios de ingreso de vehículos menores eléctricos entre 30 y 90% hasta el 2050, esta figura muestra que se puede obtener una reducción de energía entre 16 530 TJ y 49 550 TJ de la demanda de energía en combustible en los vehículos de acuerdo al escenario escogido.

Figura 13: Demanda final de energía - Escenario buses eléctricos



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

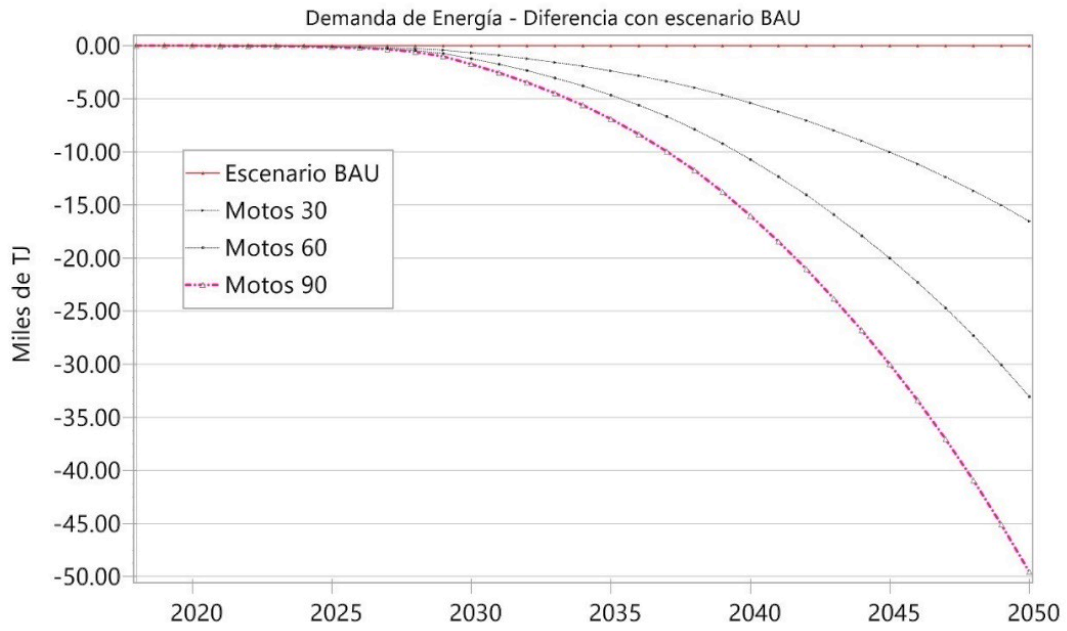
Figura 14: Emisiones de CO₂ – Escenario buses eléctricos



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

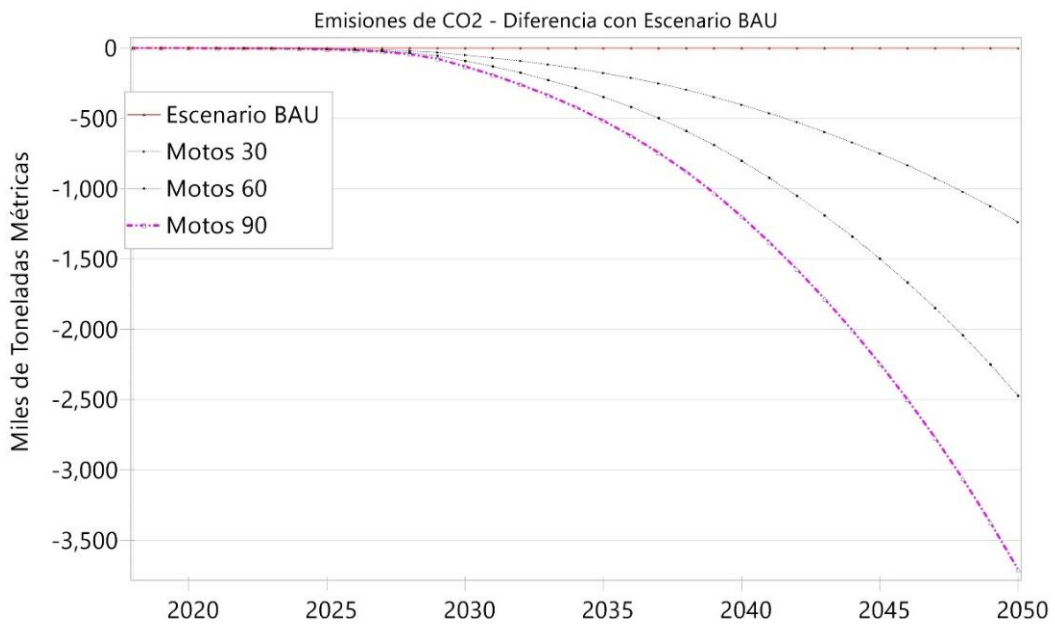
Con respecto a las emisiones de CO₂, en estos escenarios se puede obtener una reducción de emisiones de CO₂ entre 1,24 a 3,71 millones de toneladas de CO₂ con respecto al escenario base (BAU). Los valores de reducción de CO₂ con respecto al caso BAU se muestran en la Figura 16: Emisiones de CO₂ – Escenario de vehículos menores.

Figura 15: Demanda de energía final-Escenario vehículos menores



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

Figura 16: Emisiones de CO2 – Escenario de vehículos menores



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

5.2.4. Sobre los escenarios de combinación de las 3 alternativas.

En la Figura 17: Demanda final de energía – Escenarios Bajo, Medio y Alto de penetración de movilidad eléctrica se muestra la demanda de energía de los escenarios combinados bajo (automóviles 30%, buses 30% y vehículos menores 30%), medio (automóviles 30%, buses 60% y vehículos menores 60%) y alto (automóviles 70%, buses 90% y vehículos menores 90%) de penetración de movilidad eléctrica.

En la Tabla 43 Diferencias de Demanda de Energía vs el escenario BAU de los escenarios combinados de ingreso de vehículos electrificados se muestran las diferencias o menor demanda de energía requerida con referencia al escenario BAU de los diversos escenarios. En resumen, se puede observar que en los escenarios de baja penetración se obtienen reducciones de demanda de energía entre 42.75 y 45.87 TJ frente al escenario de alta penetración que se obtendría reducciones de 115 a 123 miles de TJ.

Tabla 43 Diferencias de Demanda de Energía vs el escenario BAU de los escenarios combinados de ingreso de vehículos electrificados

Escenario	2022	2030	2040	2050
Demanda de Energía - Escenario BAU (Miles de TJ)	344.93	438.39	559.81	729.65
Diferencias versus escenario BAU (Miles de TJ)				
Baja penetración Veh Electrificados A	-0.08	-1.55	-12.00	-42.75
Baja penetración Veh Electrificados B	-0.09	-1.61	-12.38	-44.24
Baja penetración Veh Electrificados C	-0.10	-1.68	-12.77	-45.87

Media penetración Veh Electrificados A	-0.12	-2.70	-22.32	-79.36
Media penetración Veh Electrificados B	-0.13	-2.79	-22.95	-81.90
Media penetración Veh Electrificados C	-0.15	-2.92	-23.58	-84.40
Alta penetración Veh Electrificados A	-0.14	-3.80	-32.62	-115.98
Alta penetración Veh Electrificados B	-0.15	-3.94	-33.51	-119.54
Alta penetración Veh Electrificados A	-0.20	-4.10	-34.39	-123.01

Con referencia a las emisiones de CO₂, la

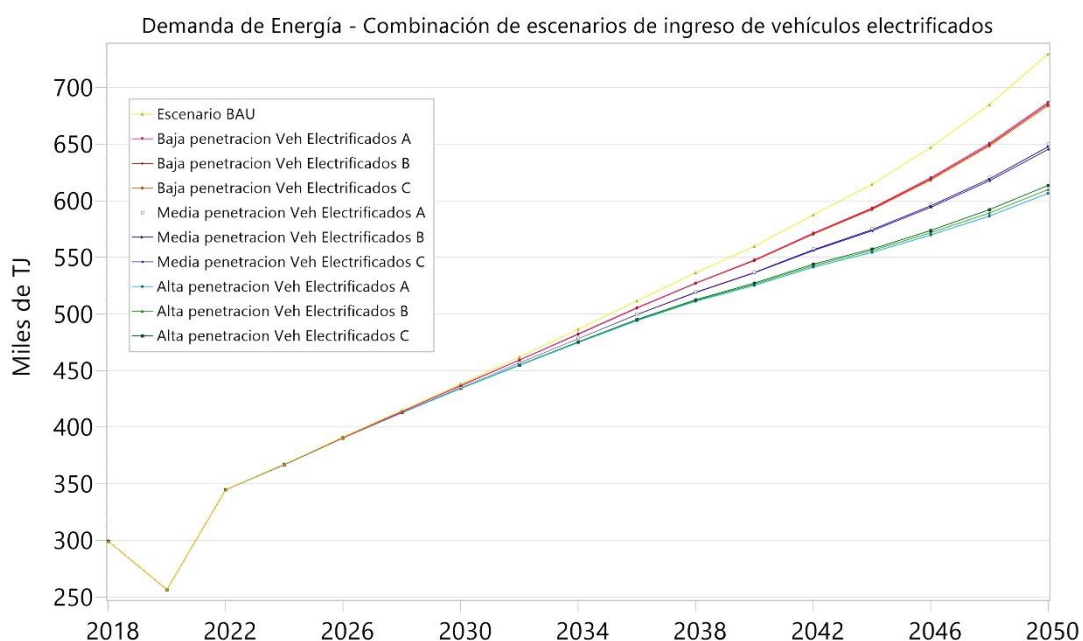
Tabla 44 Diferencias de emisiones de CO₂ a vs el escenario BAU de los escenarios combinados de ingreso de vehículos **electrificados** se muestra en los escenarios de baja penetración se obtienen reducciones de emisiones de 3.44 a 3.77 millones de TM de CO₂ frente a 9.41 a 10.18 del escenario de alta penetración de vehículos electrificados.

Tabla 44 Diferencias de emisiones de CO₂ a vs el escenario BAU de los escenarios combinados de ingreso de vehículos electrificados

Scenariio	2022	2030	2040	2050
Emisiones de CO₂ - Escenario BAU	22.92	29.10	37.26	48.78
Diferencias versus escenario BAU (Miles de TJ)				
Baja penetración Veh Electrificados A	-0.01	-0.12	-0.95	-3.44
Baja penetración Veh Electrificados B	-0.01	-0.13	-1.00	-3.61
Baja penetración Veh Electrificados C	-0.01	-0.13	-1.04	-3.77
Media penetración Veh Electrificados A	-0.01	-0.21	-1.79	-6.42
Media penetración Veh Electrificados B	-0.01	-0.22	-1.86	-6.71
Media penetración Veh Electrificados C	-0.01	-0.23	-1.92	-6.97
Alta penetración Veh Electrificados A	-0.01	-0.30	-2.61	-9.41
Alta penetración Veh Electrificados B	-0.01	-0.31	-2.72	-9.81
Alta penetración Veh Electrificados C	-0.02	-0.33	-2.81	-10.18

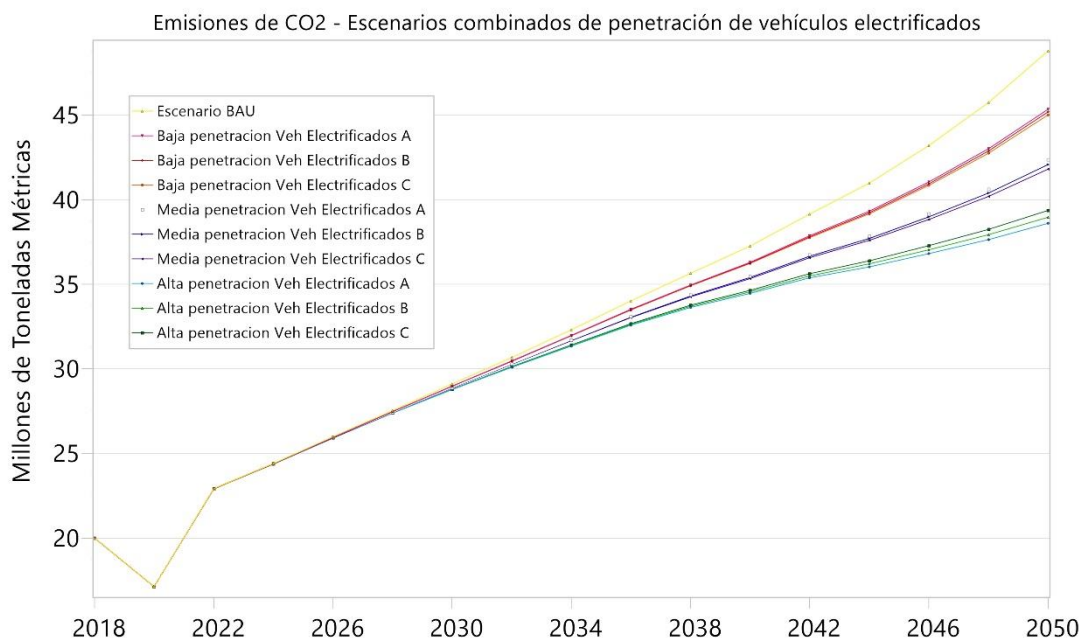
En la Figura 18: Emisiones de CO₂-Escenarios bajo, medio y alto de penetración de movilidad eléctrica se muestra las emisiones de CO₂ obtenidas en los diversos escenarios.

Figura 17: Demanda final de energía – Escenarios Bajo, Medio y Alto de penetración de movilidad eléctrica



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

Figura 18: Emisiones de CO₂-Escenarios bajo, medio y alto de penetración de movilidad eléctrica



Fuente: Elaborado en LEAP [1]

5.3. Resumen del análisis de los escenarios propuestos.

Luego de construir el modelo de consumo de energía y emisiones, así como el desarrollo de los diversos escenarios, se puede analizar y comparar dentro de los diversos escenarios, el impacto en el consumo de energía y en la cantidad de emisiones de la implementación de movilidad eléctrica de los diversos tipos de vehículo en diversas proporciones de su introducción en el parque automotor peruano.

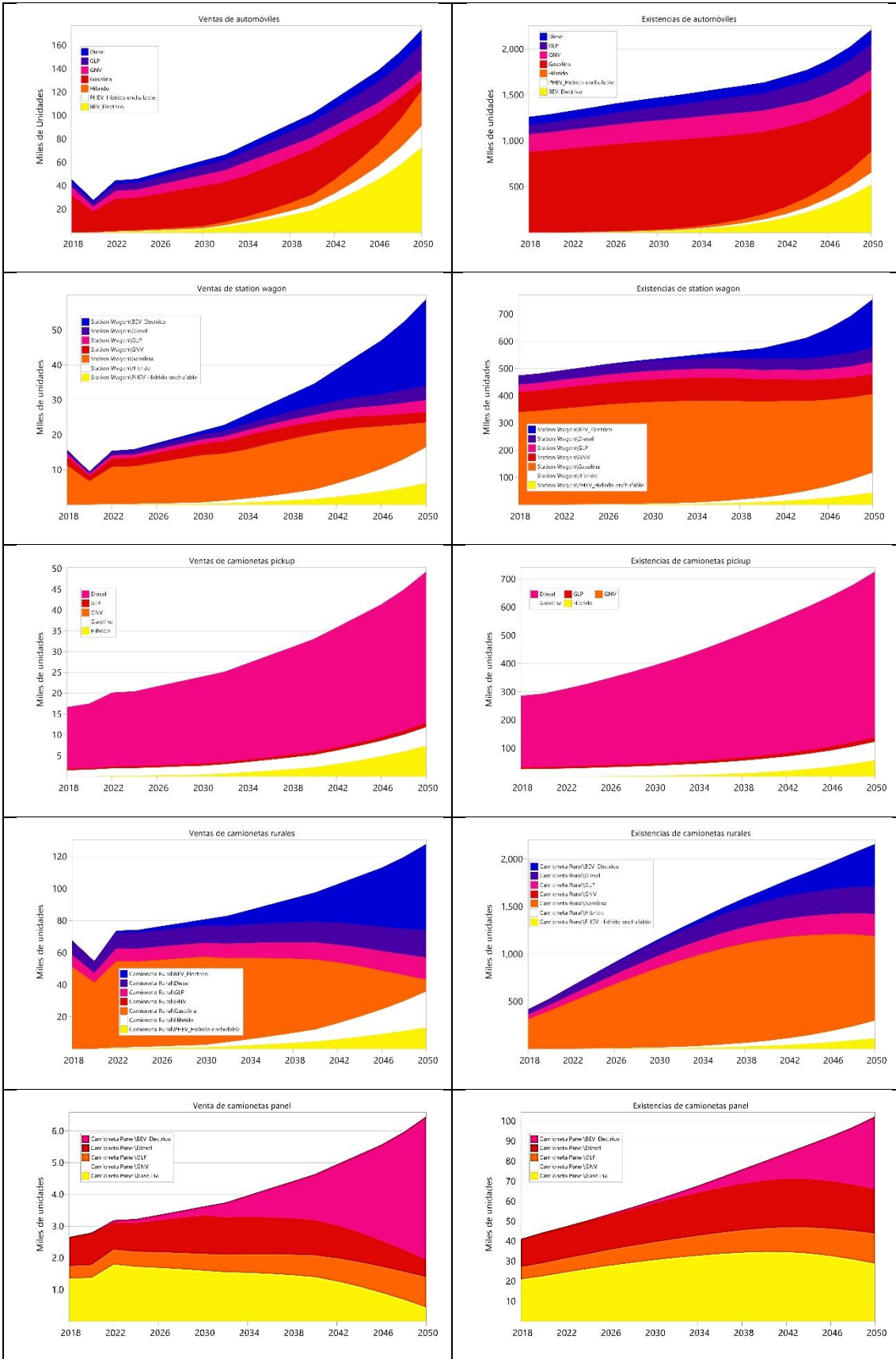
5.3.1. Análisis de las existencias de vehículos por tipo de tecnología

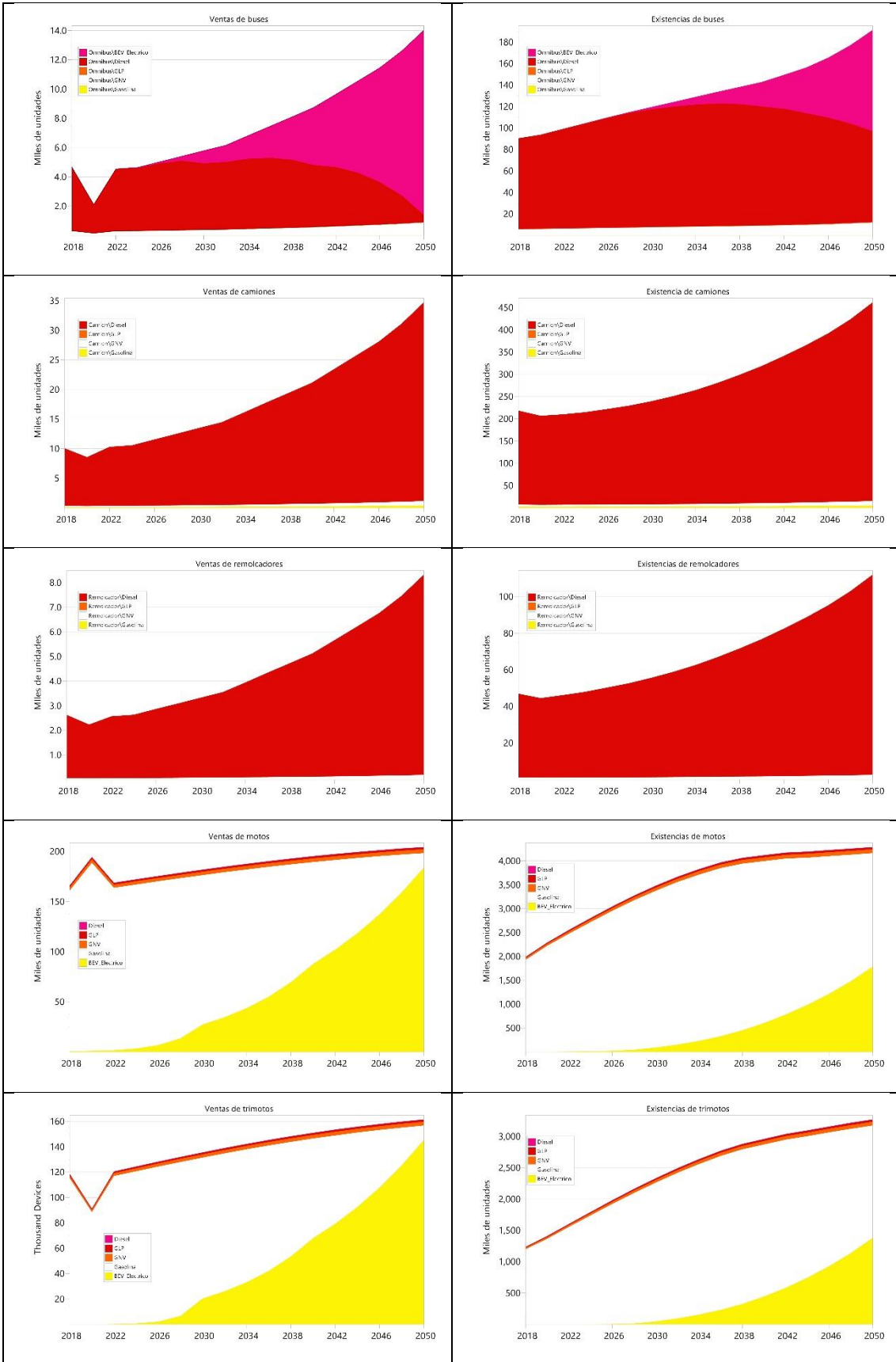
Del análisis de los resultados, se puede observar que más allá de una alta penetración de movilidad eléctrica hacia el 2050 se ve que la dependencia de los combustibles fósiles aun será una parte relevante de la demanda de energía para el transporte por carretera. Para el presente análisis se escogió el escenario de alta penetración B de movilidad eléctrica tal como se muestra en la Figura 19: Evolución de las existencias

y ventas por tipo de vehículos y tipo de tecnología (Escenario de alta penetración B) Figura 19: Evolución de las existencias y ventas por tipo de vehículos y tipo de tecnología (Escenario de alta penetración B). De lo que se puede observar como ejemplo en el caso de los automóviles, si todas las ventas al 2050 alcanzaran el 70% de vehículos electrificados, aun en el mercado se encontrarán más del 60% de combustibles fósiles. Para el caso de los buses donde el escenario indica ventas de 90% de buses eléctricos a batería al 2050, de igual manera se puede observar que en el mercado aún habría cerca del 50% de buses con combustible fósil. Similar tendencia se encuentra en las motos y trimotos, que más allá de alcanzar el 90% en ventas, se observa una tendencia similar de 60% que usarían combustibles fósiles. Esto debido a que en los casos de la implementación gradual de movilidad eléctrica deberá pasar el ciclo de vida de los nuevos vehículos con combustible que se vayan adquiriendo a lo largo de los años. Así mismo de lo asumido en esos momentos ya se deben de incluir nuevas tecnologías para reducir emisiones en camiones y remolcadores, así como en las camionetas pick up, los que no han sido considerados en este análisis debido a su proceso de llegar a un punto de equilibrio comercial, que se ve más lejano que los automóviles, buses y vehículos menores.

Figura 19: Evolución de las existencias y ventas por tipo de vehículos y tipo de tecnología (Escenario de alta penetración B)

Ventas de vehiculos por tipo de tecnología	Existencias de vehículos por tipo de tecnología
--	---





Fuente: Elaborado en LEAP [1]

5.3.2. Análisis del combustible desplazado por el ingreso de movilidad eléctrica.

De acuerdo a los resultados del modelo se puede observar en la Figura 20 y Figura 21 que a 2050 se lograría reducciones de combustibles equivalentes de 8.8 a 26.22 millones de barriles de diésel equivalente (en energía equivalentes a 51 180 a 152 450 TJ).

Figura 20: Barriles de diésel equivalente dejados de consumir

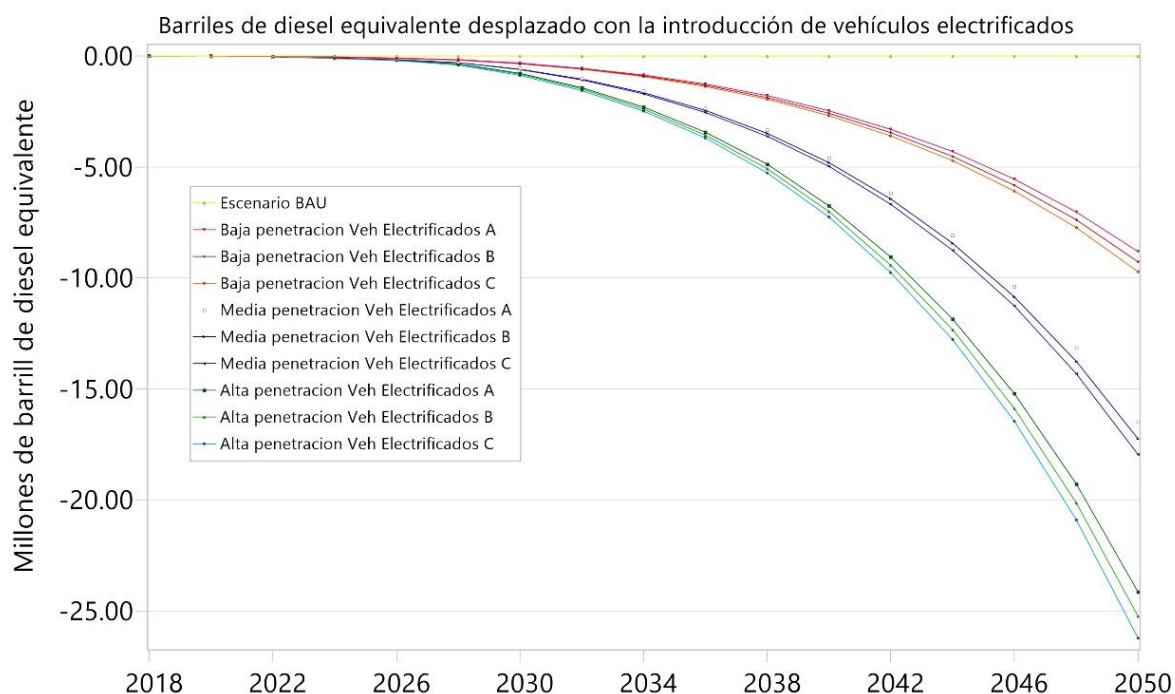
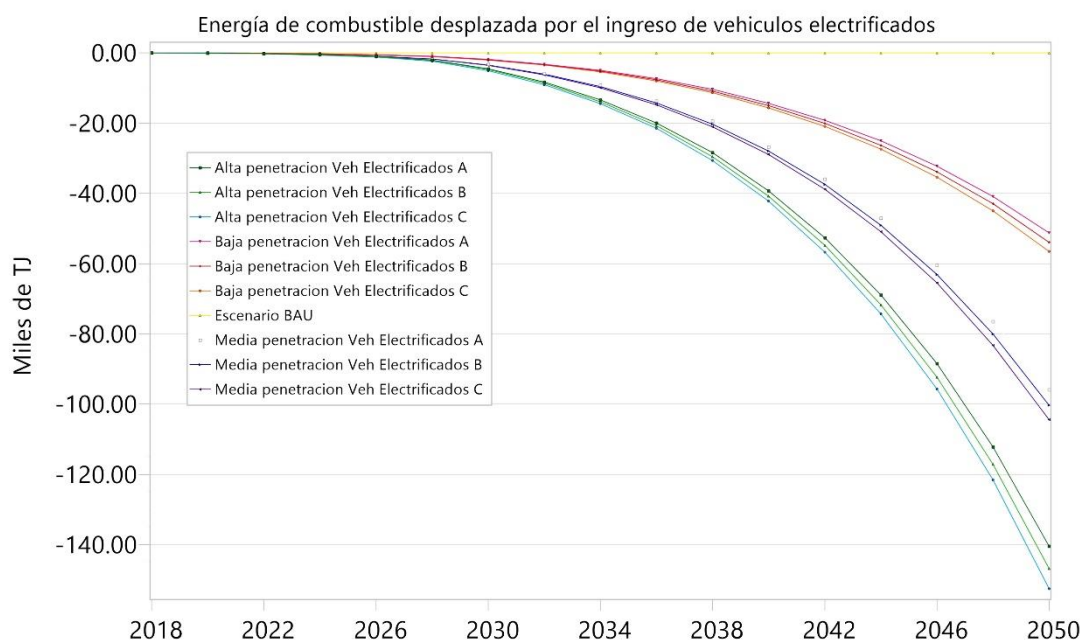


Figura 21 Energía de combustible fósil dejado de consumir.



CONCLUSIONES

- Primero. Se preparó un modelo que permite realizar el análisis del impacto de diversos escenarios de la penetración de la movilidad eléctrica en el Perú y ver su impacto en la balanza de hidrocarburos, así como en las emisiones de CO₂. Para esto se revisó información de referencia internacional a través de papers y trabajos previos realizados en Perú.
- Segundo. De acuerdo al caso base (Escenario BAU), las mejores oportunidades de desplazamiento de combustible con electricidad se encuentran en los automóviles, camionetas rurales, buses, camiones y vehículos menores.
- Tercero. De los escenarios planteados en el presente trabajo, los escenarios de cambio a movilidad eléctrica a batería son las que producen un mayor efecto como son los vehículos menores y los buses. Para el caso de automóviles es ligeramente menor el impacto debido a que los escenarios presentados son un conjunto combinado de vehículos electrificados en diversas proporciones, así como los escenarios planteados tienen una menor penetración frente a buses y motos por la mayor complejidad en su implementación.
- Cuarto. En base a la información analizada se puede observar que la introducción de movilidad eléctrica a batería es la mejor opción frente a la reducción de combustible y las emisiones a CO₂, sin embargo, en los rangos de penetración evaluados las opciones de complementar con vehículos híbridos dan resultados intermedios de reducción de combustible y emisiones de CO₂, en contraste queda la consiguiente dependencia de combustible durante el ciclo de vida de los vehículos híbridos.

Quinto. Se observa del análisis de los escenarios, que la implementación gradual de ventas de vehículos electrificados, trae como consecuencia el ingreso de nueva movilidad de combustible fósil, con lo cual el periodo del uso de combustible se alarga hacia los ciclos de vida de las nuevas unidades que ingresan. Conforme estas cuotas de participación no se incrementen pronto la dependencia del combustible permanecerá.

RECOMENDACIONES

- Primero. En esta oportunidad no se evaluó el impacto de los vehículos de transporte de carga como camiones y remolcadores, dado que al momento es una tecnología que aún está posicionándose en los diversos mercados en cuanto a su tecnología y rentabilidad. Sin embargo, podría ser incluido en futuros estudios.
- Segundo. El modelo desarrollado puede permitir el análisis de diversos parámetros ambientales según las necesidades de análisis, para el presente estudio cuyo objetivo era el desarrollo del modelo, se optó por el CO₂.
- Tercero. El modelo es fácilmente extrapolable al análisis de una región en particular con las particularidades del transporte de las mismas.
- Cuarto. Si bien es cierto se calculó el desplazamiento de combustible de las unidades vehiculares, sin duda el reemplazo con la generación de electricidad podría conducir a emisiones que no han sido consideradas en este estudio. Sin embargo, teniendo en cuenta que se toma en cuenta el ingreso de fuentes de energía renovables en adelante estas serían equivalentes a impacto nulo en base a emisiones. En el caso del uso de generación eléctrica con energías térmicas un análisis adicional se podría realizar para cuantificar su impacto.
- Quinto. Debido a la complejidad de información para un análisis referente la edad y expectativa de vidas de los vehículos en Perú, se hace necesario un mayor estudio al respecto de manera de tener una mayor claridad de los vehículos que efectivamente se encuentran en circulación.
- Sexto. Sobre los vehículos menores, los consumos y emisiones presentadas se basan en la información existente, sin embargo se debe revisar cómo

obtener un mejor registro o información de las salidas de las rutas de estos equipos.

Séptimo. Para el caso de camiones, remolcadores por ser la propulsión eléctrica de manera competitiva en investigación y desarrollo junto a la propulsión con Hidrógeno. En el caso peruano otra opción que se podría analizar es el uso del GNL.

Octavo. Una introducción de mayor movilidad eléctrica con batería trae el reto de la implementación rápida de estaciones de carga desde casa, en las vías y en el caso de los buses de estaciones de carga en centros de carga o rápida en la vía por implementar, las cuales son una de las barreras de entrada para asegurar el suministro.

Noveno. Se puede analizar opciones de reemplazo de ingreso de vehículos menores o automóviles con buses, dado el mayor impacto de los buses. En el caso de Lima y en el caso de transporte de carga de gran volumen consolidar medios de transporte como tren eléctrico puede ser incluido como escenario.

Décimo. Para el presente modelo se colocó un modelo de crecimiento de la movilidad en base al pbi per cápita para los vehículos mayores y con el crecimiento poblacional para los vehículos menores. Sin embargo al modelo se pueden incluir más escenarios con otros tipos de análisis para la proyección del incremento del parque vehicular.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AAP	: Asociación Automotriz del Perú
	: Asociación Empresarial para el Desarrollo e
AEDIVE	: Impulso del Vehículo Eléctrico
AF	: Fluidos alternativos
BAU	: Business As Usual
BEV	: Vehículos eléctricos con batería
BID	: Banco Interamericano de Desarrollo
CO ₂	: Dióxido de Carbono
DB5	: Biodiesel 5, 95% diésel y 5% de biodiesel
	: Biodiesel 5, 95% diésel y 5% de biodiesel
DB5 S50	: contenido de azufre menor a 50 ppm
DGEE	: Dirección General de Eficiencia Energética
	: Encuesta residencial de consumos y usos de
ERCUE	: energía
EV	: Vehículos eléctricos
GC	: Green car
GEI	: Gases de Efecto Invernadero
GLP	: Gas Licuado de Petróleo
GNC	: Gas Natural Comprimido
GNL	: Gas Natural Licuado
GNV	: Gas Natural Vehicular
GWP	: Potencial de calentamiento global
HEV	: Vehículos híbridos (no enchufables)

IPCC	:	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
KBOE	:	Miles de barriles de petróleo equivalente
LEAP	:	Low Emissions Analysis Platform
LEAP	:	Low Emissions Analysis Platform
MINEM	:	Ministerio de Energía y Minas
MPG	:	Millas por galón
MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NAMA	:	Acción Nacional Apropriada de Mitigación
NO _x	:	Óxidos de Nitrógeno
PBI	:	Producto Bruto Interno
PHEV	:	Vehículos híbridos enchufables
PM10	:	Material particulado
PNUMA	:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Proyecto PlanCC	:	Proyecto Planificación ante el Cambio Climático
SCOP	:	SISTEMA DE CONTROL DE ÓRDENES DE PEDIDO Movilidad sostenible utilizando un sistema
SM	:	planificado de energías alternativas de largo alcance
SUNARP	:	Superintendencia Nacional de los Registros Públicos
TCO	:	Costo Total de la Propiedad

TED	:	Base de datos de tecnología y medio ambiente
TJ	:	Terajoules
UNFCCC	:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
VEB	:	Vehículos eléctricos con batería

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1] «Heaps, C.G., 2021. LEAP: The Low Emissions Analysis Platform. [Software version: 2020.1.43] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. <https://leap.sei.org>».
- 2] PlanCC, «Escenarios de Mitigación del Cambio Climático en el Perú al 2050. Reporte Final - Proyecto Planificación ante el Cambio Climático del Perú, Resultados de la Fase 1,» 2014.
- 3] C. Capone and J. Velezmoro, "TRANSPerú - Sustainable Urban Transport NAMA Perú," Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH; Ministry of Transport and Communications; Ministry of Environment, 2015.
- 4] «Estudio de Diagnóstico, Evaluación, Análisis y Propuesta para Apoyar la NAMA de Preparación del Sector Energético para la Transformación hacia una Matriz Energética Limpia a Través del uso de Transporte Limpio en el Perú.,» Hinicio, Bogotá, 2017.
- 5] «Servicio de Consultoría para la "Estimación de los rendimientos de una flota representativa de buses en el ámbito de Lima Metropolitana a través de la aplicación de encuestas y procesos de determinación mediante pruebas de laboratorio del contenido de car,» Taryet, 2018.
- 6] «Estimación de los rendimientos de una flota representativa de automóviles usados como taxi en el ámbito de Lima Metropolitana a través de la

aplicación de encuestas y proceso de determinación de parámetros en combustibles (diesel y gasolina),» Corporación para la Energía y el Medio Ambiente - CORPOEMA, Bogotá, 2019.

- F. Ramirez Cartagena, B. Lefevre, J. Fernández-Roca y R. Capristan
- 7] Miranda, « Análisis y diseño de modelos de negocio y mecanismos de financiación para buses eléctricos en Lima, Perú,» Banco Interamericano de Desarrollo, 2020.

- EY, «Plan Nacional de Electromovilidad - Estudio elaborado para la
- 8] Asociación Automotriz del Perú,» Abril 2021. [En línea]. Available: https://aap.org.pe/descarga/electromovilidad/AAP_Plan_Nacional_de_Electromovilidad-completo.pdf. [Último acceso: 20 09 2021].

- Deloitte, «Hoja de ruta de Transición Energética en Perú - Un modelo
- 9] energético sostenible para Perú al 2050,» Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/transicion-energetica-peru-2050.html>. [Último acceso: 20 Setiembre 2021].

- N. Sitrong, K. Promjiraprawat and B. Limmeechokchai, "International
- 10] Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies," in *CO2 Mitigation in the Road Transport Sector in Thailand: Analysis of Energy Efficiency and Bio-Energy*, 2013.

- S. Hong, Y. Chung , J. Kim and D. Chun, "Analysis on the level of
- 11] contribution to the national greenhouse gas reduction target in Korean

- transportation sector using LEAP model," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, p. 11, 2015.
- L. Rivera Gonzalez, L. F. Mazadiego, D. Bolonio and K. F. Escobar Segovia,
- 12] "Long-Term Forecast of Energy and Fuels Demand Towards a Sustainable Road Transport Sector in Ecuador (2016–2035): A LEAP Model Application," *Sustainability*, 2020.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Subdirección de Licencias de conducir y Educación Vial, *Guía del Conductor*.
- 13]
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Clasificación Vehicular y Estandarización de Características Registrables Vehiculares, aprobado por R.D. 4848-2006-MTC/15.*, 2006.
- 14]
- LEAP: The Low Emissions Analysis Platform, "Leap Help - Stock TurnOver Analysis," [Online]. Available:
- 15] http://www.energycommunity.org/webhelppro/leap.htm#t=Demand%2FStock_Analysis.htm&rhsearch=stock%20turnover&rhsyns=%20. [Accessed 15 08 2021].
- Ministerio del Ambiente - Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, «Guía N° 2: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero - Sector Energía.».
- 16]
- «IEA (2021), Global EV Outlook 2021, IEA, Paris,» 2021. [En línea].
- 17] Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.

- «IEA (2021), Global EV Data Explorer, IEA, Paris,» 2021. [En línea].
- 18] Available: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>.
- Ministerio de Energía y Minas, «Balance Nacional de Energía 2018,»
- 19] Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Eficiencia Energética - Área de Planeamiento Energético, 2018.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - OGPP - Oficina de
- 20] Estadística, «Parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo: 2007-2018,» Superintendencia Nacional de los Registros Públicos, [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/cuadros/Transportes_Carretero_2_4_17.xlsx. [Último acceso: 16 08 2021].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - OGPP - Oficina de
- 21] Estadística, «PARQUE DE VEHÍCULOS MENORES INSCRITOS, SEGÚN DEPARTAMENTO: 2009-2018,» [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/cuadros/Transportes_Carretero_2_4_8.xlsx. [Último acceso: 14 09 2021].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - OGPP - Oficina de
- 22] Estadística, «IMPORTACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES, SEGÚN ESTADO Y CLASE VEHICULAR: 2007-2018,» [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/cuadros/Transportes_Carretero_2_4_19.xlsx. [Último acceso: 16 08 2021].

- Asociación Automotriz del Perú - Gerencia de Estudios Económicos,
- 23] «Informe del sector automotor a diciembre 2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://aap.org.pe/informes-estadisticos/diciembre-2020/>. [Último acceso: 16 08 2021].
- A. Rojas, «¿Cuál es el rumbo que debe seguir la electromovilidad en el
- 24] Perú?,» Portal Movilidad, [En línea]. Available: <https://portalmovilidad.com/cual-es-el-rumbo-que-debe-seguir-la-electromovilidad-en-el-peru/>. [Último acceso: 16 08 2021].
- P. Concha, «Estrategia normativa hacia la electromovilidad, Paul Concha
- 25] Revilla, Director General de Transporte terrestre Setiembre,» 2018.
- Asociación Automotriz del Perú - Gerencia de Estudios Económicos,
- 26] «Informe mensual APP Enero 2021,» 2021. [En línea]. Available: <https://aap.org.pe/informes-estadisticos/enero-2021/>. [Último acceso: 17 08 2021].
- U.S. Department of Energy - Office of ENERGY EFFICIENCY &
- 27] RENEWABLE ENERGY, «www.fueleconomy.gov - the oficial U.S. government source for fuel economy information,» [En línea]. Available: www.fueleconomy.gov. [Último acceso: 16 10 2021].
- D. Camac, «Sesión Bonus - Electromovilidad y transición energética,» de
- 28] *Curso de Electromovilidad - Un paso adelante en el transporte de la Sección Perú del IEEE*, Lima, 2020.

- CENERGIA, «Motos Eléctricas en Perú ¿Cuánto ahorran?,» [En línea].
- 29] Available: <https://cenergia.org.pe/blog/motos-electricas-peru-cuanto-ahorran/>.
[Último acceso: 16 10 2021].
- M. Weiss, K. C. Cloos y E. Helmers, «Energy efficiency trade-offs in small to
- 30] large electric vehicles,» *Enviromental Sciences Europe*, vol. 32, nº 46, p. 17,
2020.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - OGPP - Oficina de
- 31] Estadística, «'PARQUE VEHICULAR AUTORIZADO DE EMPRESAS DE
TRANSPORTE DE PASAJEROS, SEGÚN ANTIGÜEDAD: 2007-2018,» [En
línea]. Available:
https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/cuadros/Transportes_Carretero_2_4_5.xlsx. [Último acceso: 13 09 2021].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - OGPP - Oficina de
- 32] Estadística, «PARQUE VEHICULAR AUTORIZADO DEL TRANSPORTE DE
CARGA GENERAL EN EL ÁMBITO NACIONAL, SEGÚN ANTIGÜEDAD,»
[En línea]. Available:
https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/cuadros/Transportes_Carretero_2_4_10.xlsx. [Último acceso: 13 09 2021].
- Osinergmim, «Demanda Nacional de Combustibles Líquidos - Años 2018,
- 33] 2019 y 2020,» [En línea]. Available:
https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/hidrocarburos/Paginas/SCOP-DOCS/scop_docs.htm. [Último acceso: 17 08 2021].

- «Infogas - Información histórica anual,» [En línea]. Available:
- 34] http://infogas.com.pe/wp-content/uploads/2021/06/Estadisticas_Historico_Anual_al_2020.xlsx. [Último acceso: 17 08 2021].
- Osinermin, «Demanda Nacional de GLP - Años 2018, 2019 y 2020,» [En
- 35] línea]. Available:
- https://www.osinermin.gob.pe/empresas/hidrocarburos/Paginas/SCOP-DOCS/scop_docs.htm. [Último acceso: 17 08 2021].
- «Infogas - Reporte estadístico mensual,» [En línea]. Available:
- 36] <http://infogas.com.pe/estadisticas/>. [Último acceso: 17 08 2021].
- A. González, R. De la Cruz, C. Salazar, M. Llerena y J. Mostacero, «Informe
- 37] de Resultados. Consumo y Usos de los Hidrocarburos Líquidos y GLP. Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía - 2018,» Osinermin, Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Perú, 2018.
- Banco Central de Reserva del Perú - Gerencia Central de Estudios
- 38] Económicos, «PRODUCTO BRUTO INTERNO (MILLONES DE SOLES A PRECIOS DE 2007) . Cuadros Ca_001,» [En línea]. Available:
- https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/cuadros/memoria/ca_001. [Último acceso: 17 08 2021].
- "IEA-Data and Statistics," [Online]. Available: [https://www.iea.org/data-and-](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=PERU&fuel=Natural%20gas&indicator=Natural%20gas%20final%20consumption%20by%20sector)
- 39] [statistics?country=PERU&fuel=Natural%20gas&indicator=Natural%20gas%20final%20consumption%20by%20sector](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=PERU&fuel=Natural%20gas&indicator=Natural%20gas%20final%20consumption%20by%20sector).

«Marco Macroeconómico Mundial 2021-2024 – Ministerio de Energía y Minas
40] - aprobado en sesión de consejo de ministros 26 de agosto,» *Ministerio de
Energía y Minas*, 2020.

J. H. Hong, J. Kim, W. Son, H. Shin, N. Kim and W. K. Lee, "Long-term
41] energy strategy scenarios for South Korea: Transition to a sustainable energy
system," *Energy Policy*, vol. 127, p. 13, 2019.

Concha Revilla, Paul - Director de Transporte Terrestre - Ministerio de
42] Transportes y Comunicaciones, «Estrategia Normativa hacia la
electromovilidad,» de *Congreso de Electromovilidad - AAP*, Lima, 2018.