

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



**Diseños de Cadena de Suministros de Autos Eléctricos y su Impacto en la
Tasa de Adopción e Indicadores de Sostenibilidad**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN DIRECCIÓN
DE CADENAS DE APROVISIONAMIENTO OTORGADO POR
LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

PRESENTADA POR

Carol Stephanie Espinoza Castro. DNI: 47080793

Gerardo Pastor de la Rosa. DNI: 70008690

Giancarlo Renzo Tapia Rondón. DNI: 70123161

Julie Carolina Teves Aguirre. DNI: 43715484

Angello Paolo Vargas Gallardo. DNI: 46383122

ASESOR

Jorge Benzaquen de las Casas. DNI: 42800984

ORCID 0000-0001-8098-6401

JURADO

Juan O'Brien Cáceres

Jorge Benzaquen de las Casas

Carlos Antonio Mariño Del Rosario

Surco, marzo de 2022

Agradecimientos

Expresamos nuestra mayor gratitud y aprecio a:

Nuestro asesor, el profesor Jorge Benzaquen de las Casas, por su permanente guía, apoyo, disciplina y motivación para el desarrollo de la tesis.

Al profesor Carlos Mariño Del Rosario, Director de Investigación de Centrum, por su soporte en cada fase de la investigación.

A los expertos del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Ministerio del Ambiente (MINAM), Asociación Automotriz del Perú (AAP), Ministerio de transporte y Comunicaciones (MTC) y a la Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso del Vehículo Eléctrico (AEIDIVE) que amablemente participaron en el proceso de encuestas dándonos su aporte para la investigación.

A todos los profesores de CENTRUM, que con sus conocimientos y experiencias nos permitieron cumplir los objetivos de enseñanza trazados.

Dedicatoria

A mis padres, Leoncio y Norma, y a mi hermana Sheila, quienes han sido mi fortaleza y motivación en cada etapa de mi vida.

Carol Espinoza

A mis padres que me acompañaron, a mis amigos que me echaron de menos y a mis colegas de trabajo que no dudaron en cubrirme innumerables veces durante este arduo tiempo de estudio.

Gerardo Pastor

A mis padres, mi hermana y mi familia que me ayudó a enrumbarme en este reto. A mi abuelita, que partió, pero me dejó una enseñanza, siempre es mejor tener un cartón bajo el brazo, lo verá donde sea que se encuentre.

Giancarlo Tapia

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi padre, Sr. Celestino Teves León. Gracias por siempre creer en mí y darme las herramientas para salir adelante.

Julie Teves

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres, César Vargas y Adela Santana, por todo su apoyo, comprensión y respaldo brindado durante todo este tiempo. Gracias por su respaldo y confianza depositada en mi persona.

Resumen Ejecutivo

La presente investigación tiene como objetivo diseñar una cadena de suministros de automóviles eléctricos que permita el desarrollo sostenible del sector automotriz. La sostenibilidad de dicho sector se puede mejorar con el incremento de automóviles eléctricos en el parque automotor peruano y mediante la simulación de escenarios e indicadores para sustentar el diseño de la cadena de suministros. La sostenibilidad es un término que implica hacer negocios y generar rendimientos económicos perdurables, evitando posibles impactos ambientales y sociales. El parque automotor peruano actual es contaminante, antiguo y costoso por lo que no es sostenible. En el Perú, la implementación de medidas referidas a la electromovilidad y al uso de automóviles eléctricos es todavía baja. Esta investigación propone desarrollar esta tecnología en el país como posible alternativa para impactar positivamente en el mejoramiento de los indicadores de sostenibilidad del sector automotriz, tomando como base la experiencia en países de la región.

Para el presente estudio se plantearon tres diseños de cadenas de suministros de autos eléctricos. Se hizo un análisis regresional usando como base la tasa de crecimiento de uso de autos eléctricos en otros países de la región para estimar el escenario esperado en el Perú. Se aplicó la metodología SMART y la evaluación cualitativa de expertos. Se encontraron factores cualitativos relevantes a la cadena de suministros junto con el costo de vida útil de cada diseño. En base a los datos obtenidos, se eligió el mejor diseño de cadena de suministros para evaluar su impacto en los indicadores de sostenibilidad. Se evidenció que luego de seis años se logra reducir las emisiones de carbono en el ambiente en un 6.75%, haciéndolo ecológicamente amigable, permitiendo la actualización y el incremento de los indicadores de sostenibilidad del parque automotor peruano.

Abstract

This research aims to design electric vehicles supply chain that allows the sustainable development of the automotive sector. The sustainability of this sector can be improved by the increase in electric vehicles in the Peruvian vehicle fleet and by simulating scenarios and indicators to support the design of the supply chain. Sustainability is a term that implies doing business and generating lasting economic returns, avoiding possible environmental and social impacts. The current Peruvian vehicle fleet is polluting, old and expensive thus it is not sustainable. In Peru, the implementation of measures related to electromobility and the use of electric vehicles is still low. This research proposes developing this technology in the country as a possible alternative to positively impact the improvement of the sustainability indicators of the automotive sector, based on the experience of the countries in the region.

For this study, three designs of electric vehicles supply chains were proposed. A regression analysis was carried out using as information source the growth rate of the use of electric vehicles in other countries of the region to be able to estimate what the expected scenario in Peru would be. The SMART methodology and the qualitative evaluation of experts were applied. Qualitative factors were found that have relevance in the supply chain along with the useful life cost of each design. Based on the data obtained, the best supply chain design was chosen in order to assess its impact on sustainability indicators. It was proved that after six years, it is possible to reduce 6.75% of carbon emissions in the environment, making it ecologically friendly, allowing the update and increase of the sustainability indicators of the Peruvian vehicle fleet.

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas	x
Lista de Figuras.....	xiii
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema de Investigación	2
1.3 Propósito de la Investigación	3
<i>1.3.1 Objetivos específicos</i>	<i>3</i>
1.4 Importancia de la Investigación	4
1.5 Preguntan de Investigación	5
1.6 Marco Teórico.....	5
1.7 Definición de Términos Operacionales del Estudio.....	7
1.8 Supuesto de la Investigación	9
<i>1.8.1 Variables.....</i>	<i>10</i>
1.9 Limitaciones de la Investigación	11
1.10 Delimitaciones de la Investigación	11
1.11 Resumen del Capítulo	12
Capítulo II. Revisión de Literatura.....	14
2.1 Mapa Conceptual.....	14
2.2 El Desarrollo de la Electromovilidad en el Mundo.....	14
2.3 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - Chile.....	16
<i>2.3.1 Diseño de la cadena de suministros</i>	<i>16</i>
<i>2.3.2 Experiencias de ciudades</i>	<i>18</i>
<i>2.3.3 Infraestructura de carga.....</i>	<i>18</i>
<i>2.3.4 Implementaciones a replicar en Perú.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3.5 Tipo de vehículos</i>	<i>23</i>

2.4 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - Colombia.....	23
2.4.1 <i>Diseño de la cadena de suministros</i>	23
2.4.2 <i>Experiencias de ciudades</i>	24
2.4.3 <i>Infraestructura de carga</i>	24
2.4.4 <i>Implementaciones a replicar en Perú</i>	25
2.4.5 <i>Tipos de vehículos</i>	25
2.5 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - Noruega.....	26
2.5.1 <i>Diseño de la cadena de suministros</i>	26
2.5.2 <i>Experiencias de ciudades</i>	27
2.5.3 <i>Estaciones de recarga</i>	28
2.5.4 <i>Implementaciones a replicar</i>	28
2.5.5 <i>Tipos de vehículos</i>	29
2.6 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - México	30
2.6.1 <i>Diseño de la cadena de suministros</i>	30
2.6.2 <i>Experiencias de ciudades</i>	30
2.6.3 <i>Estaciones de recarga</i>	31
2.6.4 <i>Implementaciones para replicar</i>	32
2.7 Estudios Previos de Electromovilidad en Perú	32
2.8 Sector Automotriz en el Perú	33
2.9 Industria Energética Peruana.....	34
2.10 Sostenibilidad y la Cadena de Suministros en el Sector Automotriz.....	35
2.11 Indicadores de la Cadena de Suministros.....	37
2.12 Análisis del Ciclo de Vida Técnico	38
2.12.1 <i>Definición de objetivos y alcance del estudio</i>	38
2.12.2 <i>Análisis de inventario</i>	40
2.12.3 <i>Evaluación del impacto</i>	42
2.12.4 <i>Interpretación del ciclo de vida</i>	43

2.13 Simple Multi-Attribute Rating Technique	43
2.14 Regresión Múltiple	45
2.14.1 Construcción del modelo de regresión	45
2.14.2 Pasos sistemáticos de la herramienta regresión lineal multivariable.....	46
2.15 Resumen del Capítulo	47
2.16 Conclusiones	48
Capítulo III. Metodología.....	50
3.1 Diseño de la Investigación.....	50
3.1.1 Enfoque.....	50
3.1.2 Alcance	50
3.1.3 Diseño.....	50
3.2 Participantes	50
3.2.1 Población.....	50
3.2.2 Muestra.....	51
3.3 Metodologías e Instrumentos	51
3.3.1 Regresión lineal.....	51
3.3.2 Simple Muti Attribute Rating Technique	55
3.3.3 Análisis del ciclo de vida técnico.....	58
3.3.4 Indicadores clave de desempeño de sostenibilidad.....	59
3.4 Recolección de los Datos	60
3.5 Análisis de los Datos	61
3.6 Resumen del Capítulo	62
	ix
Capítulo IV. Resultados.....	63
4.1 Evaluación de la Cadena de Suministros del Sector Automotriz Convencional	63
4.1.1 Indicadores de la sostenibilidad.....	66
4.1.2 Situación actual de la cadena automotriz	67
4.1.3 Obsolescencia y destrucción.....	71

4.2 Escenarios de Estímulos Gubernamentales	71
4.3 Selección y Evaluación de Diseño	74
4.3.1 Diseño 1 – Autos eléctricos BEV y cargadores públicos	74
4.3.2 Diseño 2 – Autos eléctricos PHEV y carguío en casa.....	77
4.3.3 Diseño 3 - Autos eléctricos HEV	79
4.3.4 Comparativo de costos de los diseños propuestos	80
4.3.5 Análisis Smart.....	81
4.3.6 Análisis de regresión	85
4.4 Indicadores de Sostenibilidad.....	90
4.4.1 Indicadores ambientales.....	90
4.4.2 Indicadores económicos	94
4.5 Resumen del Capítulo	98
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones	99
5.1 Conclusiones	99
5.2 Recomendaciones	101
Referencias.....	103
Apéndice A: Encuesta SMART	112
Apéndice B: Emisiones de CO2	117
Apéndice C: Proyección del Parque Automotor	118
Apéndice D: Emisiones de CO2	119
Apéndice E: Tasas de adopción en los escenarios planteados horizonte 10 años.....	120

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Puntos de Carga para Vehículos Eléctricos en Chile</i>	19
Tabla 2 <i>Variables a Estudiar</i>	52
Tabla 3 <i>Resultados de la Multicolinealidad</i>	52
Tabla 4 <i>Estadísticas de la Regresión</i>	53
Tabla 5 <i>Análisis de la Varianza</i>	53
Tabla 6 <i>Coefficientes de Regresión</i>	53
Tabla 7 <i>Costo Total de Propiedad</i>	56
Tabla 8 <i>Costo de Inversión por parte del Estado</i>	57
Tabla 9 <i>Atributos Seleccionados SMART</i>	57
Tabla 10 <i>Costo Total de Propiedad (TCO) de un Vehículo Eléctrico</i>	59
Tabla 11 <i>Indicadores Ambientales</i>	60
Tabla 12 <i>Indicadores Económicos</i>	60
Tabla 13 <i>Costo Total de Propiedad Vehículo Sedan – Toyota Yaris</i>	66
Tabla 14 <i>Emisión Vehicular Unitaria</i>	66
Tabla 15 <i>Crecimiento Parque Automotor Perú 2001 – 2020</i>	69
Tabla 16 <i>Estadísticas de Regresión – Ventas 2001 – 2020</i>	69
Tabla 17 <i>Coefficientes de la Ecuación de Regresión – Ventas Autos</i>	70
Tabla 18 <i>Estimación de Crecimiento del Mercado Automotor</i>	70
Tabla 19 <i>Variación de Costos del Escenario 1: Incentivos en la Adquisición</i>	72
Tabla 20 <i>Variación de Costos del Escenario 2: Incentivos en Mantener</i>	73
Tabla 21 <i>Variación de Costos del Escenario 3: Mixto</i>	74
Tabla 22 <i>Costo de un Auto Eléctrico Modelo Hyundai Ioniq</i>	75
Tabla 23 <i>Costo de la Infraestructura de Carga en el 2018</i>	76
Tabla 24 <i>Costo de un Auto Eléctrico Modelo Chevrolet Volt</i>	78

Tabla 25 <i>Costo de un Auto Eléctrico Modelo Toyota Prius</i>	80
Tabla 26 <i>Comparativo de Costos de los Diseños Propuestos</i>	81
Tabla 27 <i>Comparativo Diseños y Escenarios Cadena Suministros</i>	82
Tabla 28 <i>Calificación de Diseños según Atributos</i>	82
Tabla 29 <i>Normalización de Pesos según Atributos</i>	83
Tabla 30 <i>Valores Obtenidos por Cada Diseño</i>	83
Tabla 31 <i>Resumen Evaluación Costo y Atributos</i>	84
Tabla 32 <i>Ventas y Tasas de Adopción de un Vehículo Eléctrico (BEV) según CTO</i>	87
Tabla 33 <i>Ventas y Tasas de Adopción de un Vehículo Eléctrico (PHEV) según CTO</i>	88
Tabla 34 <i>Ventas y Tasas de Adopción de un Vehículo Eléctrico (HEV) según CTP</i>	89
Tabla 35 <i>Tasas de Adopción en los Escenarios Planteados 1er Año</i>	89
Tabla 36 <i>Datos para el Indicador</i>	91
Tabla 37 <i>Reducciones de CO2 según el Diseño de Cadena y Estrategias Propuestas (Gg de CO2)</i>	92
Tabla 38 <i>Datos para el Indicador</i>	94
Tabla 39 <i>Proyecciones del Consumo de Electricidad Parque Automotor Eléctrico (Gigawatt hora)</i>	94
Tabla 40 <i>Costo Total de Propiedad por Diseño</i>	95
Tabla 41 <i>Costo (Situación Actual)</i>	96
Tabla 42 <i>Costo (Escenario Conservador)</i>	96
Tabla 43 <i>Costo (Escenario Moderado)</i>	96
Tabla 44 <i>Costo (Escenario Agresivo)</i>	97
Tabla 45 <i>Inversión Pública para los Diseños de Cadena Propuestos</i>	97
Tabla B2 <i>Emisiones de CO2 por País</i>	117
Tabla C1 <i>Proyección del Parque Automotor de Lima (2022 – 2031)</i>	118

Tabla D1 <i>Emisiones de CO2 según los Diseños Planteados</i>	119
Tabla E1 <i>Tasas de Adopción en los Escenarios Planteados Diseño 1 Horizonte 10 Años</i> ...	120
Tabla E2 <i>Tasas de Adopción en los Escenarios Planteados Diseño 2 Horizonte 10 Años</i> ..	120
Tabla E3 <i>Tasas de Adopción en los Escenarios Planteados Diseño 3 Horizonte 10 Años</i> ..	121



Lista de Figuras

Figura 1 <i>Mapa de Revisión de Literatura</i>	15
Figura 2 <i>Cadena de Suministros para los Automóviles Livianos Eléctricos en Chile</i>	17
Figura 3 <i>Cadena de Suministros para los Automóviles Livianos Eléctricos en Noruega</i>	26
Figura 4 <i>Cadena de Suministro Sostenible de la Industria Automotriz</i>	37
Figura 5 <i>Límites del Sistema para el ACV del Vehículo Eléctrico Perú</i>	39
Figura 6 <i>Elementos Principales en la Fase de Uso de un Auto Eléctrico</i>	41
Figura 7 <i>Componentes del Costo del Ciclo de Vida de los Vehículos Eléctricos</i>	42
Figura 8 <i>Pasos Interactivos para Ejecutar el Método MCDM</i>	44
Figura 9 <i>Árbol de Decisión</i>	55
Figura 10 <i>Frontera Eficiencia Metodología SMART</i>	58
Figura 11 <i>Cadena de Suministro del Sector Automotriz Convencional</i>	63
Figura 12 <i>Estructura de la Cadena de Abastecimiento Automotriz en el Perú</i>	64
Figura 13 <i>Comparativo de Emisiones de CO2 por País</i>	67
Figura 14 <i>Importación Mensual de Vehículos Ligeros</i>	68
Figura 15 <i>Ventas Anuales de Vehículos Ligeros</i>	68
Figura 16 <i>SMART – Frontera de Eficiencia</i>	85
Figura 17 <i>Tasa de Adopción de Vehículos Eléctricos Ligeros</i>	86
Figura 18 <i>Tasa de Adopción de Vehículos Híbridos Enchufables Ligeros</i>	88
Figura 19 <i>Tasa de Adopción de Vehículos Híbridos Ligeros</i>	90
Figura 20 <i>Producción de Energía en el Perú</i>	93

Capítulo I. Introducción

1.1 Antecedentes

Uno de los conceptos que ha tenido una mayor relevancia en los últimos años, tanto en las industrias como en los gobiernos, es la “sostenibilidad”. Este término es un concepto que aparece por primera vez en 1987 con la publicación del informe de Brundtland (1987) quien alertaba de las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización. En este sentido, Ai et al. (2015) puntualizaron que la sostenibilidad es una manera de hacer negocios, lo cual implica generar rendimientos económicos de forma sostenida y perdurable en el tiempo, pero sin generar un perjuicio ambiental y social, que termine por ser irreversible con el paso de los años.

Como parte de este enfoque sostenible, surge la electromovilidad como una alternativa que se está logrando materializar gracias a los avances tecnológicos. Considerando que el sector automotriz es uno de los más contaminantes a nivel mundial, varios países han adoptado fuertes políticas para el uso masivo de los diferentes autos eléctricos con los que se cuenta hoy en día en el mercado. Por ejemplo, en Noruega uno de los países más desarrollados en electromovilidad, el Plan Nacional de Transporte 2018-2029 presenta que para el 2025 todos los vehículos y camionetas ligeras y buses urbanos vendidos en el país sean eléctricos o a hidrógeno (International Energy Agency, 2009).

En Perú, la adopción de autos eléctricos es aún incipiente y necesita ser desarrollada y fomentada por el Estado; según la Asociación Automotriz del Perú (2020) la venta de vehículos híbridos y eléctricos en el primer semestre del 2020 tuvo un crecimiento significativo. Este escenario reportó un incremento del 33.3%, pero este valor solo representa un 0.5% de la venta total de autos livianos en todo el Perú. Para poder mejorar los indicadores de sostenibilidad del sector automotriz, se requiere determinar si un mayor

incremento de autos eléctricos en circulación podría generar que se mejoren los indicadores de sostenibilidad, como ocurre en otros países.

1.2 Problema de Investigación

De acuerdo con Barandiarán et al. (2012) el sector automotriz es uno de los principales ejes de crecimiento económico de la región; también se considera como uno de los principales sectores que ocasiona un impacto negativo al medio ambiente, lo cual termina afectando a la salud de la población peruano. El parque automotor es el responsable del 70% de la contaminación ambiental existente en el Perú y por tal motivo, es que se debe encontrar un equilibrio que permita minimizar los efectos negativos del sector e incrementar los beneficios que pueda otorgar para el desarrollo del país (“Parque automotor”, 2012).

Aun así, el problema no es solo plantear medidas que permitan reducir la contaminación, lo cual mejoraría el desempeño ambiental del sector, sino que las medidas que se planteen deben ayudar a perfeccionar y/o no afectar el desempeño económico ni el desempeño social que tienen en la actualidad la cadena de suministros. Según lo mencionado por Amrani et al. (2020) la sostenibilidad de una cadena de suministros permite evaluar de forma conjunta el desempeño económico, social y ambiental, los cuales son los pilares a analizar para el desarrollo sostenible de una cadena de suministros. Es por ello, que una de las alternativas para mejorar el desempeño ambiental del sector automotriz y mantener y/o mejorar el desempeño de los otros pilares, es que se dé un incremento en la tasa de adopción de autos eléctricos, lo cual permitirá ir renovando el parque automotor peruano, y reduciendo el número de autos que funcionan a través de combustibles fósiles. Según Chele (2017) el auto eléctrico es la mejor alternativa que se tiene para reducir la emisión de gases contaminantes, ya que al utilizar energía eléctrica en vez de la combustión de gasolina o petróleo, se logra reducir la emisión de gases nocivos para el ambiente. Aun así, es importante también conocer el origen de la energía eléctrica en el país, para conocer si su

producción se da a través de energías renovables o no renovables, y dependerá de ello poder definir y cuantificar cuál es el verdadero beneficio, ya que si no se podrían sesgar los resultados obtenidos y solo ver una parte de ellos.

1.3 Propósito de la Investigación

La presente investigación tiene como objetivo encontrar la mejor alternativa de diseño de una cadena de suministros de autos eléctricos en Perú, para ello cada diseño planteado será evaluado bajo tres escenarios, con un enfoque de nivel gobierno. Cada escenario fomentará el incremento de la tasa de adopción autos eléctricos en el parque automotor peruano y el incremento de la tasa de adopción permitirá estimar el impacto que se tendría en los indicadores de sostenibilidad propuestos para la cadena de suministros del sector automotriz.

1.3.1 *Objetivos específicos*

- Analizar la situación actual de la cadena de suministros del sector automotriz convencional, con un enfoque de sostenibilidad, para evaluar los costos presentes en toda la cadena de suministros, así como el impacto que genera en el medio ambiente.
- Plantear tres diferentes escenarios de sistema de incentivos para incrementar la tasa de adopción; conservador, moderado y agresivo, desde una perspectiva del gobierno.
- Elaborar tres diseños de cadena de suministros para autos eléctricos, calculando el costo total de cada diseño bajo los tres escenarios planteados y calificando a su vez, la preponderancia de cada diseño frente a los atributos cualitativos seleccionados a través de la metodología SMART.
- Pronosticar mediante regresión, la tasa de adopción de autos eléctricos para cada diseño y escenario planteado, estimando bajo cada escenario la variación que

tendrán los indicadores de sostenibilidad planteados para sector automotriz peruano en un lapso de 10 años.

1.4 Importancia de la Investigación

A partir del año 2010, el uso de vehículos eléctricos se ha extendido a nivel mundial como respuesta al cambio climático e impulsado por los avances en las tecnologías de baterías de iones de litio, lo que ha disminuido considerablemente el costo de fabricación. Esto ha logrado que ese tipo de vehículos se vuelvan económicamente más competitivos respecto aquellos de combustión interna (Hall & Lutsey, 2018). Para el 2025, Viswanathan et al. (2020) mencionaron que el precio de un auto eléctrico igualará al de un auto de combustión.

De acuerdo con el Organismo Supervisor en la Energía y Minería [OSINERGMIN] (2017) en el caso específico del Perú, la implementación de medidas referidas a electromovilidad es todavía incipiente, dado que básicamente consta de estudios de diagnóstico, pilotos a pequeña escala y proyectos financiados por agencias internacionales de cooperación. Asimismo, el uso de vehículos eléctricos en el país es mínimo, por ejemplo: las ventas de estos autos en el primer semestre del 2020 fueron de 301 unidades (Asociación Automotriz del Perú, 2020). El parque automotor peruano consume casi en su totalidad hidrocarburos, por ejemplo: 47.6% consume diésel y 18.7% consume gasohol (Ministerio de Energía y Minas, 2018); el parque automotor tiene una edad promedio de 13.6 años y una tasa de renovación del 6% (Asociación Automotriz del Perú, 2019). Además, el Perú se ubica en el puesto 22 del *ranking* mundial de países con mayor grado de contaminación ambiental del aire (IQAir, 2018) y el 90% de zonas en Lima exceden los estándares de calidad de ruido (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2015).

Por todo ello, se considera que el sector automotriz enfrenta importantes retos para su sostenibilidad, y es por ello por lo que la presente investigación tiene una gran relevancia, ya

que se intentará demostrar que el desarrollo de la electromovilidad en el Perú es una alternativa viable para alcanzar un mejor desempeño en los indicadores de sostenibilidad del sector automotriz.

1.5 Preguntas de Investigación

¿Cuál es el diseño idóneo de la cadena de suministros del sector automotriz peruano, que permita mejorar los indicadores de sostenibilidad mediante el aumento de la tasa de adopción de autos eléctricos?

1.6 Marco Teórico

La presente investigación aborda los conceptos de sostenibilidad en la cadena de suministros y electromovilidad; la primera (sostenibilidad) hace referencia a la capacidad de una organización para seguir funcionando con éxito sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (Anderson, 2006). Por ello, la importancia de insertar este concepto en la gestión de cadenas de suministros. Tal como lo sostuvieron Ahi y Searcy (2013) una cadena de suministro sostenible se refiere a las cadenas de suministros coordinadas a través de la integración voluntaria de consideraciones económicas, ambientales y sociales con sistemas comerciales clave entre organizaciones.

La electromovilidad hace referencia al uso de vehículos eléctricos (VE) en calles y carreteras (Cabrera & García, 2019). Su uso impacta en una cadena de suministro automotriz volviéndola más sostenible, ya que permite sustituir el parque automotor, que depende de combustible, por vehículos eléctricos que disminuirán las emisiones de gases tóxicos a la atmósfera. Esto repercutirá positivamente en el medio ambiente y en la salud de las personas, además que disminuirá la contaminación acústica que producen los motores convencionales (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012). Por este motivo, la investigación se centra en los vehículos eléctricos de carácter automóvil, existen diferentes tipos de los cuales destacan los siguientes según Cabrera y García (2019):

- Vehículos 100% eléctricos, los cuales poseen un sistema de propulsión netamente eléctrica, y se pueden dividir en vehículos eléctricos de baterías, pila de combustible y eléctrico solar; su fuente de abastecimiento es mediante un punto de recarga, hidrógeno o paneles solares relacionados en el mismo orden mencionado por tipo de vehículo eléctrico.
- Vehículos híbridos, en los cuales la batería se recarga mediante energía cinética del vehículo que se genera al activar la propulsión mediante un motor de combustión en paralelo, y la fuente de energía de este tipo de carros suele ser de origen gasolina o diésel.

El desarrollo de la electromovilidad viene acompañado por el desarrollo de cadenas adyacentes que contribuyen a este objetivo como son: las fuentes de energías eléctricas, baterías de almacenamiento de energía (Tracción) y una adecuada infraestructura de recarga para el funcionamiento. Actualmente, se manejan estas principales fuentes de energía eléctrica: de origen por combustión térmica, hidráulica, solares y eólicas; siendo las dos primeras mencionadas el 95% del total de generación eléctrica en el Perú (OSINERGMIN, 2019). Respecto a las baterías, existen las baterías de tracción que permiten el almacenamiento de energía eléctrica y la posterior propulsión del vehículo eléctrico. En la actualidad, las tecnologías disponibles son las baterías de plomo ácido, baterías de níquel metal hidruro y baterías de litio, siendo estas últimas las de preferencia por su mayor densidad de energía; lo que quiere decir mayor energía en menos peso, este tipo de batería sería parte del estudio en la cadena de abastecimiento automotriz (OSINERGMIN, 2019).

La infraestructura de recarga o sistema de recarga se refiere a puntos de carga de energía de vehículos cuando se encuentran circulando en las vías. Esto es una parte importante en el desarrollo de la electromovilidad, ya que su disponibilidad, cobertura y facilidad de carga impulsa la compra de vehículos eléctricos. Hoy en día, se cuenta con

niveles de recarga según potencia con rangos que van de 0-10 KW, el cual tiene un tiempo de recarga de aproximadamente 20 horas y se maneja mediante corriente continua o alterna; rango de 10-50 KW, el cual tiene un tiempo de recarga de cinco horas y se maneja mediante corriente alterna o continua. Por último, se tiene con potencia arriba de los 50 KW, el cual tiene un tiempo de recarga de 30 min el 80% del total y se maneja mediante una corriente solamente continua para su menor tiempo de recarga.

La contaminación atmosférica se refiere a la presencia en el aire de partículas, materias, gases o sustancias que representan riesgos para la salud de las personas; de hecho, la mayor parte de esta contaminación se produce por la combustión incompleta de combustible fósil de automóviles (Otero, 2020). Los siguientes tipos de contaminantes según el informe presentado por el Organismo Supervisor en la Energía y Minería (2019) son los mayormente emitidos por los automóviles: los de índole particulado como: PM 2.5 y PM 10; a su vez de los contaminantes gaseosos, donde destacan los compuestos de azufre (SO₃), nitrógeno, carbono (CO₂, CO, etc.), halógenos y compuestos orgánicos volátiles. Como se puede observar los agentes contaminantes dañan el medio ambiente y perjudican el bienestar socio-medioambiental de las personas, por ello el objetivo en la presente investigación es mejorar la sostenibilidad en la cadena, a través de la introducción de vehículos eléctricos que no producen estos agentes contaminantes.

1.7 Definición de Términos Operacionales del Estudio

A continuación, se definirán los términos claves en la investigación:

- La Electromovilidad

Es un término para describir el desarrollo y uso de vehículos eléctricos (VE) en calles y carreteras; su fomento a nivel mundial responde a diferentes razones, siendo su eje central el cambio climático, a su vez también destacan otros beneficios como: la eficiencia energética, fomento productivo e innovación (Cabrera & García, 2019).

- La Sostenibilidad

Se define como la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987). Este concepto se encuentra bastante ligado al desarrollo sostenible donde gana preponderancia un equilibrio entre desarrollo económico, social y ambiental.

- Infraestructura de Recarga o Red de Recarga o Electrolineras

Son conocidas estas estaciones por ser puntos de recarga de energía del vehículo a lo largo de las vías de circulación de la ciudad, es decir, proporcionan opciones de recarga durante su recorrido (OSINERGMIN, 2019).

- Vehículos Eléctricos

Se conoce a todo vehículo ya sea bicicleta, automóviles, tractor, etc. accionado mediante solo por un motor eléctrico o también acompañado por un motor de combustión, destacando entre sus más demandados el automóvil híbrido y el automóvil eléctrico de batería (OSINERGMIN, 2019). A partir de los vehículos eléctricos en general existen de diferentes tipos, entre los cuales se destacan:

- Vehículos eléctricos de baterías (BEV): Son los vehículos que se conectan a una fuente de energía eléctrica externa. Tienen un banco de baterías que coloca en funcionamiento los motores eléctricos del vehículo.
- Vehículos eléctricos con celda de combustible (FCEV): Son vehículos que utilizan el hidrógeno como fuente de energía, en este caso no existe un banco de baterías como los autos eléctricos BEV, sino una pila de celdas que generan electricidad a partir del hidrógeno.
- Vehículos eléctricos híbridos (HEV): Son los vehículos que utilizan combustible como fuente de energía para el funcionamiento de un motor de

combustión interna, adicional a ello también tienen un motor de energía eléctrica que utiliza como fuente la energía producida por la combustión y la almacena en una batería.

- Vehículos eléctricos híbridos de rango extendido (EREV): Son los vehículos que cuentan con un motor de combustión y eléctricos, pero el motor de combustión sirve como fuente de energía a la batería y motor eléctrico, además de no estar conectado a la tracción de las ruedas.
- Vehículos eléctricos híbridos suave (MHEV): Son vehículos eléctricos que consisten en motores convencionales con un añadido de un pequeño motor eléctrico entre 9 y 12KW para ayudar al motor de combustión en las fases de desaceleración y frenado haciéndolo más eficiente.
- Vehículos eléctricos enchufables(PHEV): A diferencia de los VEH estos tienen la opción de conectarse a una fuente externa de electricidad.

- **Baterías de Tracción**

Es un medio de almacenamiento de energía que a diferencia de las baterías de arranque para los carros de combustión, solo se utilizan para el impulso del móvil, este de tipo tracción es de carácter de almacenamiento de energía para toda la duración en movimiento del vehículo continuo y tienen mucho más complejidad entre su conexión de capacitadores, siendo en la actualidad las baterías de litio las preferidas por su mayor densidad de energía, es decir, mayor capacidad de almacenaje en un menor peso (OSINERGMIN, 2019).

1.8 Supuesto de la Investigación

La presente investigación supone de que si se logra incrementar la tasa de adopción de autos eléctricos en el parque automotor peruano, esto permitirá mejorar los indicadores de sostenibilidad de la cadena de suministros del sector automotriz en tres aspectos: a nivel

económico, se espera una reducción en el costo total de propiedad por cada vehículo eléctrico, desde el punto de vista ambiental se reducirá el uso de combustibles fósiles, lo cual conllevará a una reducción en la contaminación ambiental y desde el punto de vista social, ya que no se verá afectada la empleabilidad del sector. La estimación de la tasa de adopción será proyectada en un lapso de 10 años para ver cuál es el posible impacto que tendrá en los indicadores de la cadena. El planteamiento de las hipótesis es el siguiente:

- Hipótesis Nula (H_0): El diseño de la cadena de suministro impacta en la tasa de adopción de autos eléctricos y por ende representa una mejora en los indicadores de sostenibilidad.
- Hipótesis Alternativa (H_1): El diseño de la cadena de suministro impacta en la tasa de adopción de autos eléctricos, pero no necesariamente representa una mejora en los indicadores de sostenibilidad de los diferentes países emergentes.

1.8.1 Variables

Para poder obtener la tasa de adopción de autos eléctricos, se han identificado tres variables independientes relacionadas a la variable dependiente:

- Dependiente (Y_1): Tasa de adopción de autos eléctricos. Se refiere a la tasa de adopción que se tiene de este tipo de vehículos con relación al parque automotor total, permitirá contrastar el % de participación de vehículos eléctricos versus los vehículos convencionales.
- Independiente (X_1): Diseño de la de cadena de suministros. Es el diseño que se elegirá una vez evaluando a nivel cuantitativo y cualitativo. Dependiendo del diseño, habrá un efecto, en la tasa de adopción de autos eléctricos.
- Independiente (X_2): Escenarios. Son los escenarios que se propondrán a nivel gobierno, las cuales permitirán reducir las barreras de entrada y de funcionamiento

que se tienen actualmente en el sector automotriz, este tipo de estrategias también influirán en la tasa de adopción.

1.9 Limitaciones de la Investigación

La principal limitación del presente trabajo es la poca información que se tiene a nivel país sobre la electromovilidad, si bien es cierto en el Plan Nacional de Competitividad y Productividad se mencionan lineamientos para la inserción de esta tecnología en el mediano plazo aún no existe nada concreto, hay ausencia de un marco normativo que considere sus aspectos técnicos, económicos y de infraestructura (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019). Como segunda limitación, está el acceso a las fuentes primarias, como, por ejemplo: información o estudios desarrollados por empresas privadas con acceso restringido, presentando dificultad para la recolección de datos. Una limitación importante está representada por los inconvenientes para conseguir entrevistas con los actores claves de entidades públicas (Ministerio de Transporte, Autoridad de Transporte Urbano, Ministerio de Energía, OSINERGMIN, Ministerio del Ambiente) y privadas (Engie, AEDIVE, Enel, Asociación Automotriz del Perú, BYD, entre otras).

1.10 Delimitaciones de la Investigación

La investigación se basará en analizar la cadena de suministro del sector automotriz del Perú para luego realizar un diseño de una cadena de suministros compuesta de autos eléctricos, considerando solo el parque automotor de autos livianos. Para la elaboración de los indicadores, así como la ejecución de los escenarios de simulación donde se pronosticará el crecimiento del sector automotriz de autos eléctricos; se utilizará datos obtenidos de fuentes primarias, tales como estadísticas de los Ministerios de Ambiente, Economía, Energía y Transportes; planes gubernamentales; normativas; trabajos de investigación; memorias de empresas relacionados al sector y opiniones de expertos relacionados al tema.

La investigación se centrará en analizar a profundidad dos de los tres pilares de la sostenibilidad, económico y ambiental, asumiendo que el aspecto social, como la tasa de empleo, no sufrirá variación, ya que de lo contrario abrirá un mercado paralelo que busque profesionales expertos en los vehículos eléctricos, por lo tanto, no será parte de esta investigación medir como se afecta este pilar. La información que se utilizará tendrá una antigüedad de 10 años, la cual se usará para poder evaluar la situación actual y plantear los diseños y escenarios. La investigación se centrará únicamente en la ciudad de Lima, considerando que el 60% del parque automotriz se encuentra ubicado en dicha ciudad según el Ministerio de Transporte y Comunicación (2019). Así mismo, solo se considerarán autos livianos en el presente estudio.

1.11 Resumen del Capítulo

En resumen, la electromovilidad es una tendencia a nivel mundial y varios países están involucrados en cambiar el uso de vehículos convencionales a vehículos de fuente eléctrica con la finalidad de cumplir con los compromisos adquiridos frente al cambio climático. Dos claros ejemplos cercanos son Colombia y Chile, países que ya cuentan con estrategias nacionales de electromovilidad que les está sirviendo como hoja de ruta para crear las condiciones necesarias y fomentar el uso de esta tecnología en los próximos años. A pesar de las tendencias que se observan en economías similares al Perú, la adopción de autos eléctricos aún se encuentra en un desarrollo incipiente, con algunas iniciativas aisladas, pero al final aún no se tiene un plan estratégico, ni objetivos graduales y concretos por lo cual será muy difícil desplegar esta tecnología para el 2030 como se tenía previsto.

Por lo tanto, para demostrar que la adopción de autos eléctricos significa una mejora en la sostenibilidad del sector, el objetivo principal de esta investigación será plantear propuestas de diseño de cadena de suministros para el sector automotriz eléctrico, las cuales serán evaluadas para identificar cuál es la propuesta que más beneficios puede traer al sector.

A su vez estos diseños serán evaluados bajo tres escenarios de estímulos a nivel gobierno, los cuales permitirán que la tasa de adopción de los autos se pueda incrementar. Esta tasa de adopción que se calculará mediante modelos matemáticos se proyectará en un lapso de 10 años poder estimar cuál sería el impacto tendrá en los indicadores de sostenibilidad elegido y poder corroborar la hipótesis planteada.



Capítulo II. Revisión de Literatura

2.1 Mapa Conceptual

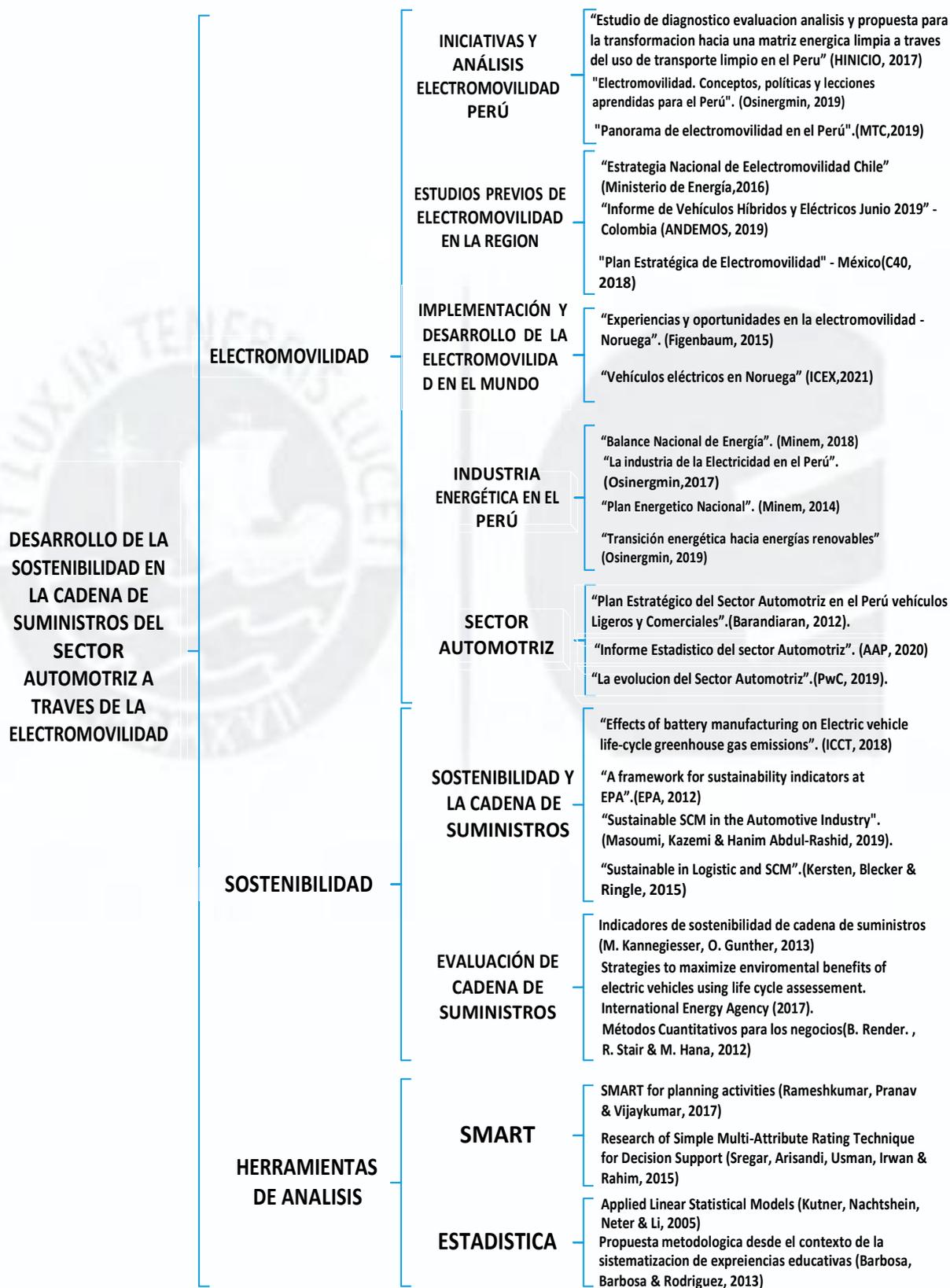
En el presente capítulo se realiza la revisión de la literatura en base al cuestionamiento de si el incremento de la tasa de adopción de autos eléctricos es un factor clave que permita lograr la sostenibilidad de la cadena de suministros del sector automotriz de una ciudad emergente como es Lima. Por este motivo es que se identifica al sector automotriz del Perú como el marco donde se desarrollará la investigación. En esa línea, se identificaron las palabras claves como cadena de suministros, herramientas de análisis, electromovilidad y sostenibilidades antes expuestas que se desarrollan mediante el modelo vertebrado para la posterior búsqueda de fuentes primarias que den sustento a la presente investigación. En la Figura 1 se puede observar el mapa conceptual realizado, donde se detallaron los puntos de la bibliografía a tocar, así como los temas que servirán como base para la ejecución de la investigación. Esta revisión permite hacer una introspección de cómo está la situación actual en el Perú y cómo está la situación en regiones similares.

2.2 El Desarrollo de la Electromovilidad en el Mundo

En el 2019, el número de vehículos eléctricos ligeros a nivel mundial alcanzó las 2'264,400 unidades, un 9% más que en 2018, representando una clara desviación de las tasas de crecimiento de los seis años anteriores, que estuvieron entre el 46% y el 69%. Las razones de este cambio se deben a la disminución de las ventas en la segunda mitad de 2019 en los dos mercados más grandes: China y EE. UU. (EV Volumes, 2020). Pero incluso con el crecimiento estancado en los dos mercados más grandes, las ventas mundiales de vehículos eléctricos aún crecieron, en gran parte por Europa se experimentó un crecimiento del 44%. Esto podría atribuirse a la introducción de Ley de la Unión Europea WLTP (*Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure*), junto con los cambios en los impuestos y subvenciones nacionales sobre vehículos.

Figura 1

Mapa de Revisión de Literatura



Según Viswanathan et al. (2020), los precios de los vehículos eléctricos se equiparán a los precios de los vehículos con motor a combustión interna aproximadamente para el 2025. Esto se debe principalmente a la caída en el precio de las baterías y a las regulaciones ambientales que encarecerán cada vez más el precio de los motores a combustión. Dicho escenario es alentador en el mercado mundial, por ello la campaña EV30 @ 30 coordinada por el Ministerio de Energía de Chile (2020) predijo que el 30% de todos los vehículos, excepto los de dos ruedas, serán eléctricos para 2030.

Sobre la incorporación de automóviles eléctricos en América Latina, Gómez et al. (2020) señaló que la consultora Frost & Sullivan en el 2015 calculó el tamaño del mercado de seis países latinoamericanos (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú) para el 2023. De acuerdo con sus estimaciones, las ventas anuales de los vehículos eléctricos enchufables en estos seis países podrían oscilar entre las 52,000 y 220,000 unidades en el 2023, dependiendo de los cambios regulatorios, aceptación del consumidor y el desarrollo de tecnología. En general, el estudio se refirió a Chile y México como los países con el panorama más prometedor, seguido por Brasil, mientras que Colombia, Argentina y Perú solamente tienen un prospecto moderado.

2.3 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - Chile

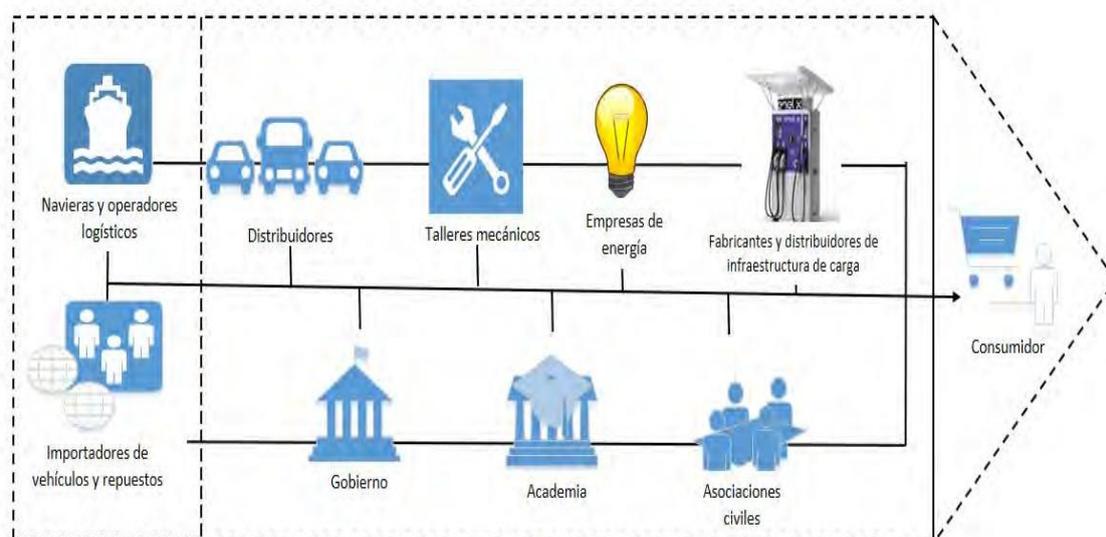
2.3.1 Diseño de la cadena de suministros

En los últimos años, Chile se ha convertido en un referente para la movilidad eléctrica en América Latina y, según Máñez et al. (2019), este país tendrá una de las mayores flotas de autobuses eléctricos del mundo, después de China. Se consideró analizar la cadena de suministros de este país por las similitudes que guarda con Perú, ya que no fabrican vehículos eléctricos y presenta potencialidad para participar en la manufactura de esta tecnología por las grandes reservas de litio y de cobre que posee.

Chile ha trabajado colaborativamente con todos los actores de la cadena de suministro de su sector automotriz, inclusive en su estrategia de electromovilidad presentada por el Ministerio de Energía de Chile (2016) se mostró las mesas de trabajos permanentes que han permitido una correcta articulación de todos los actores públicos y privados. Todo ello con el fin de promover esta tecnología y coordinar los ámbitos de desarrollo de información al mercado, regulación, estandarización, formación de capital humano y difusión de tecnologías vehiculares eficientes. Su diseño de cadena de suministros de autos eléctricos, como se puede visualizar en la Figura 2, incluye desde la importación de los vehículos eléctricos en donde entran a tallar las navieras, los operadores logísticos (agentes de carga, agentes de aduanas, almacenes aduaneros) y los importadores. Una vez arribados los vehículos son trasladados para su venta a los concesionarios (distribuidores de marcas). Asimismo, la presencia de los talleres mecánicos es importante, porque a través de ello se podrá contar con personal capacitado para esta nueva tecnología, razón por la que se considera a la academia en el diseño.

Figura 2

Cadena de Suministros para los Automóviles Livianos Eléctricos en Chile



También existen empresas de energía eléctrica, fabricantes y distribuidores de infraestructura de carga como Enelx; además, están presentes asociaciones como la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC) y por supuesto debe aparecer el Gobierno con sus diferentes instituciones como Ministerio de Energía, Ambiente, Transporte y Telecomunicaciones. Al final de la cadena se observa al consumidor con conciencia ambiental dispuesto a comprar esta tecnología.

2.3.2 Experiencias de ciudades

Santiago de Chile con una población de cinco millones de habitantes, alberga el 40% del parque automotor chileno de aproximadamente 5.6 millones de vehículos (Cámara Nacional de Comercio Automotriz de Chile, 2019). Esta ciudad ha tenido el mayor desarrollo en transporte público eléctrico con respecto a otras ciudades de ese país. Solo basta con revisar algunos proyectos de electromovilidad con los que cuenta como el “Proyecto Zona Verde para el Transporte en Santiago (ZVTS)” que es parte de las 6 Acciones Nacionales de Mitigación Ambiental (NAMAS) que tiene Chile cuyo objetivo principal está orientado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El diseño de la NAMA Zona Verde para el Transporte en Santiago considera las siguientes iniciativas que buscan reducir el impacto en las emisiones del transporte urbano de pasajeros: (a) promoción de vehículos de cero y baja emisión, (b) buses más eficientes para el transporte público, y (c) implementación de carriles exclusivos para buses del transporte público con tecnologías limpias. Asimismo, la ciudad de Santiago cuenta con el mayor número de puntos de carga (55 de 104) y conectores (81 de 149).

2.3.3 Infraestructura de carga

La electromovilidad en Chile cuenta con una infraestructura de una capacidad total de 19.2 MW operativa en 12 regiones como se muestra en la Tabla 1, donde 3.49 MW corresponden a 104 puntos de carga a vehículos particulares y 15.5 MW a seis terminales de

buses eléctricos ubicadas en la Región Metropolitana. Actualmente, existen 149 conectores para el suministro de vehículos eléctricos. Esto se debe a que un punto de carga puede albergar hasta tres conexiones, por ejemplo, puede haber tres salidas por instalación: 2 DC y 1 AC. De los 149 conectores disponibles, existen 122 puntos de carga lenta (AC) y 27 de carga rápida (DC) (“¿Cuál es mi punto de carga?”, 2019). Asimismo, Chile cuenta con seis electroterminales para buses eléctricos que totalizan 15,5 MW de potencia instalada, repartidos en 37 conectores con una potencia de 150 kW cada uno. Aquí se puede satisfacer una demanda eléctrica de 75 buses, los cuales se pueden cargar entre dos y tres horas.

Tabla 1

Puntos de Carga para Vehículos Eléctricos en Chile

Región	Instalaciones	Puntos AC	Puntos DC	Potencia KW
Antofagasta	1	1	0	7
Coquimbo	2	3	0	14
Valparaíso	18	19	6	608
Metropolitana	55	71	10	1752.4
O’Higgins	4	4	4	288
Maule	4	4	4	288
Ñuble	3	4	2	188
Bio Bio	7	4	1	101
Araucanía	2	4	0	88
Los Ríos	2	2	0	51
Los Lagos	4	4	0	93
Aysén	2	2	0	14

El Ministerio de Energía de Chile creó la aplicación móvil EcoCarga, la cual indica la posición geográfica de todas las estaciones de carga públicas disponibles en el país. Además, para aquellos usuarios que posean vehículos eléctricos les indica el tiempo que demora que toma cada cargador en realizar el 80% de la carga de la batería, según marca y modelo específico. Para cada punto de carga de acceso público, también se indican otras características como la potencia (kW), tipo de conector y la cantidad de conectores.

2.3.4 Implementaciones a replicar en Perú

Lo primero que se debe resaltar es que Chile ha establecido como objetivo tener el 100% de su flota de transporte público y un 40% de vehículos particulares eléctricos para el 2050. De acuerdo con ello, desarrolló instrumentos de política pública, tales como la Ruta Energética 2018 – 2022 por el Ministerio de Energía de Chile (2018) y su Estrategia Nacional de Electromovilidad por el Ministerio de Energía de Chile (2016).

La Ruta Energética 2018 - 2022 plantea que en el corto plazo se aumente en 10 veces, al menos, la dotación de vehículos eléctricos. Sobre la estrategia se proponen cinco ejes y sus correspondientes lineamientos de acción, los cuales están basados en: (a) normativa y regulatorias, (b) transporte eficiente, (c) capital humano, (d) cuidado del medioambiente, y (e) desarrollo e investigación; las medidas que Perú podría replicar de Chile son las siguientes:

- Iniciar con la proyección de la demanda de este nuevo sistema y la identificación de la normativa técnica y económica necesaria, contemplando el desarrollo de estudios técnicos que incluyan la revisión de las experiencias extranjeras, discusión con los actores relevantes y la proposición de recomendaciones. Dentro del ámbito técnico también se deben definir los estándares de conexión exigibles para garantizar la compatibilidad de los puntos de carga con las principales tecnologías vehiculares. Y en materia económica abordar aquellas variables que garanticen las condiciones de competencia en el mercado de las electrolineras. En lo relativo a urbanismo y construcción, se deben revisar e incluir cambios a la normativa para que posibiliten tanto la adaptación del parque habitacional existente, como que los nuevos proyectos inmobiliarios cuenten con facilidades para la instalación de equipos de carga, proveyendo de las canalizaciones adecuadas para la posterior instalación de dichos

equipos por parte de los proveedores, incluyendo los medidores de consumo y equipos de almacenamiento energético.

- Impuesto verde, que significa aplicar un impuesto ambiental a la compra de los vehículos nuevos, el cual grava sus emisiones. Este impuesto a los vehículos ligeros debería estar en función del nivel de emisiones de óxidos de nitrógeno y del consumo de combustible. Cabe destacar que el impuesto ambiental, por su naturaleza, no aplica a los vehículos eléctricos y, por el contrario, castiga fuertemente a los vehículos con motores de combustión interna.
- Bono por chatarreo para la renovación a vehículos limpios, donde se otorga un bono a fin de promover que los vehículos sean renovados por tecnologías más eficientes. En el caso de Chile, para la adquisición de un vehículo híbrido, el monto del bono por chatarreo oscila entre USD 2,200 y USD 5,900, en función del rendimiento del combustible; mientras que para el caso de la adquisición de un vehículo 100% eléctrico, el bono asciende a USD 9,240. Para poder acceder a este programa, el vehículo a reemplazar debe tener, al menos, cuatro años de antigüedad y contar con inscripción vigente dentro de los últimos 18 meses (Hinicio, 2017).
- Regulación y estandarización tanto de los vehículos como de sus partes, incluida la interoperabilidad entre vehículos y la infraestructura de tarificación, con el fin de evitar y reducir divergencias normativas, la adopción de normas o reglamentos únicos para vehículos eléctricos, la adopción de estándares para la carga de vehículos eléctricos, la definición de estándares mínimos de eficiencia energética; referidos al rendimiento mínimo del promedio de vehículos que entran al parque.
- Impulsar la penetración de la tecnología eléctrica en taxis. El Gobierno de Chile brindó un monto de subsidio a taxis eléctricos del programa “Renueva tu colectivo”,

incluyendo como requisito la entrega de la información generada en la operación de vehículos eléctricos para aumentar el conocimiento de dichas tecnologías.

- Para la correcta transición a flotas públicas y privada eléctricas, Chile consideró que era importante que el capital humano esté capacitado sobre esta tecnología, para lo cual distinguió dos tipos de perfiles necesarios. En primer lugar, y quizás más evidentemente, se requería que el mercado laboral esté en condiciones de ofrecer técnicos preparados para atender las necesidades de mantenimiento eléctrico y mecánico de los vehículos, así como otras labores relacionadas de operación de los vehículos, operación y mantenimiento de la red de carga, etc. En segundo lugar, se requería también de profesionales capaces de enfrentar los desafíos más estratégicos relacionados con el desarrollo y adaptación de la tecnología, diseño de políticas públicas, generación de nuevos negocios en el ámbito de la electromovilidad, proyectos de investigación y mejoramiento de la infraestructura para I+D.
- Elaborar un plan de transformación de la flota pública a vehículos eléctricos, que incluya además un plan de instalación de infraestructura de carga en los estacionamientos de flota pública.

Para Chile, el transporte público fue el segmento inicial donde se pudo desarrollar en forma más natural la electromovilidad, pues debido su uso intensivo, el costo de operación domina al costo de capital, y es además donde tiene mayor sentido la intervención de la política pública. Actualmente, el Gobierno de este país viene trabajando para consolidar la participación de los buses eléctricos en el transporte público, pero sobre todo sentar las bases y promover la masificación de vehículos particulares de este tipo a través de mayores incentivos económicos. Ejemplos de ello son los que el Presidente de la Agrupación de Movilidad Eléctrica de Chile (AMECH) destacó: generar subsidios o exenciones de impuestos que permitan que esta tecnología sea accesible a la sociedad civil, lo que no solo

significa bajar las barreras de introducción de vehículos cero emisiones, sino que se debe tener una visión más amplia y crear estímulos proporcionales a los niveles de emisión (Escobar, 2020).

2.3.5 Tipo de vehículos

Según la Asociación Nacional Automotriz de Chile (2020) las ventas de vehículos eléctricos se dispararon en los últimos dos años en Chile, tendencia que seguiría firme en 2021. Si bien los autos híbridos, que combinan el uso de energía eléctrica con el de combustibles fósiles son más comunes, los 100% ecológicos se ven cada vez más en las calles. Los más vendidos del segmento son Nissan Leaf, que lideró las ventas del 2020 con 23 unidades y detrás está el modelo Ioniq de Hyundai con 10 ventas a nivel nacional y el híbrido enchufable de BMW, modelo 330e se estableció en tercera posición en ventas.

2.4 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - Colombia

Colombia es uno de los países que ha estado en la vanguardia de la implementación del transporte sostenible; específicamente, en el 2018, rompió el récord con más de mil vehículos eléctricos circulando, alcanzando la cifra más alta en la región. En 2012, el país adoptó la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono, la cual forma parte del Plan Nacional de Desarrollo, con el objetivo de mitigar la emisión de GEI que contribuyen al cambio climático (Organismo Supervisor en la Energía y Minería, 2019). En julio de 2018, el gobierno aprobó la Política Nacional de Crecimiento Verde para el 2030 y uno de los objetivos es llegar a cerca de 600,000 autos eléctricos para ese año.

2.4.1 Diseño de la cadena de suministros

Según BBVA Research (2018), Colombia cuenta con un parque automotor de 13 millones de los cuales 7,1 millones son motos y 5,9 millones son vehículos. El sector automotriz colombiano ocupa el 6.2% del PIB del país con actividades como el ensamblaje de vehículos y la fabricación de partes y piezas. El sector de autopartes en Colombia está

conformado por: (a) proveedores nacionales e internacionales que abastecen de piezas a fabricantes, (b) ensambladores y distribuidores, (c) empresas fabricantes de piezas que suministran a ensambladores y distribuidores, (d) compañías ensambladoras de vehículos ligeros, camiones, buses y motocicletas, (e) distribuidores para la comercialización de autopartes, y (f) transportadoras de mercancías.

2.4.2 Experiencias de ciudades

En Bogotá, se han considerado iniciativas que impulsan el uso de vehículos eléctricos, como la aparición de taxis eléctricos y algunas propuestas sobre la implementación de buses eléctricos en el sistema de transporte masivo Transmilenio. En Medellín, en 2019 se adquirió una flota de 65 buses eléctricos para ingresar al sistema de transporte público de la ciudad como también los primeros taxis eléctricos; el mismo camino ha tomado la ciudad de Cali, donde ya están en circulación una flota de 26 buses eléctricos que se integrarán al sistema MIO de esa ciudad.

2.4.3 Infraestructura de carga

Los modos de recarga que existen actualmente en Colombia son los siguientes:

- Modo 1: Enchufe doméstico y el cordón de extensión.
- Modo 2: Toma doméstica y el cable con un dispositivo de protección.
- Modo 3: Vehículo conectado directamente a la red eléctrica a través del *socket* específico, enchufe y un circuito dedicado.
- Modo 4: Conexión de corriente continua (DC) para recarga rápida.

Además, existe el intercambio/arrendamiento de batería, el cual consiste en centros especializados donde se utilizan baterías estándar, y son propiedad de la compañía prestadora del servicio. Dicho esquema de negocio cuenta con una cantidad limitada de centros de cambio, donde se canjea la batería descargada por una con la capacidad de energía completa. El cambio de batería demora entre tres y cinco minutos, y el propietario tiene dos

modalidades de acceder al esquema: la primera es a través de una mensualidad constante y la segunda se da pagando el cambio cada vez que se hace.

2.4.4 Implementaciones a replicar en Perú

La Ley 1715 de Colombia busca hacer más accesible la adquisición de vehículos eléctricos a través de los siguientes convenios que podrían replicarse en el Perú:

- **Impuesto sobre la renta:** El beneficio consiste en el derecho a reducir anualmente de su renta, por los cinco años siguientes, un año gravable en que hayan realizado la inversión, el 50% del valor total de la inversión realizada.
- **Exclusión del IVA:** En 2012, se reglamentó el otorgamiento de incentivos tributarios - exclusión del impuesto al valor agregado (IVA).
- **Depreciación acelerada:** La depreciación acelerada será aplicable con una tasa anual global de depreciación no mayor al 20%.
- **Cero de arancel:** Mediante el Decreto N° 1116 del 29 de junio de 2017, se aprobó la importación de vehículos eléctricos e híbridos con 0% y 5% de arancel, respectivamente, hasta 2027. De esta manera, se espera atraer un contingente de 52,800 unidades eléctricas e híbridas entre 2017 y 2027.

2.4.5 Tipos de vehículos

Según la Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (2019), en Colombia se han vendido 2,396 vehículos eléctricos e híbridos a junio de 2019, de los cuales 1,140 vehículos son vehículos totalmente eléctricos, 814 son vehículos híbridos. En el caso de los vehículos eléctricos (BEV), Renault se encuentra liderando con un total de 678 vehículos vendidos en el periodo de 2014 a 2019, seguido de BMW con una venta de 233 vehículos en el mismo periodo de tiempo, BYD está en tercer lugar con una venta total de 83 vehículos del 2013 al 2019. Para los vehículos híbridos (HEV), Volvo se encuentra de primero con 337 vehículos vendidos en el período de 2014 a 2016, KIA por su parte tiene una cantidad de 308 vehículos

vendidos entre los años 2018 a 2019 y Audi con 113 vehículos vendidos en el periodo 2018-2019.

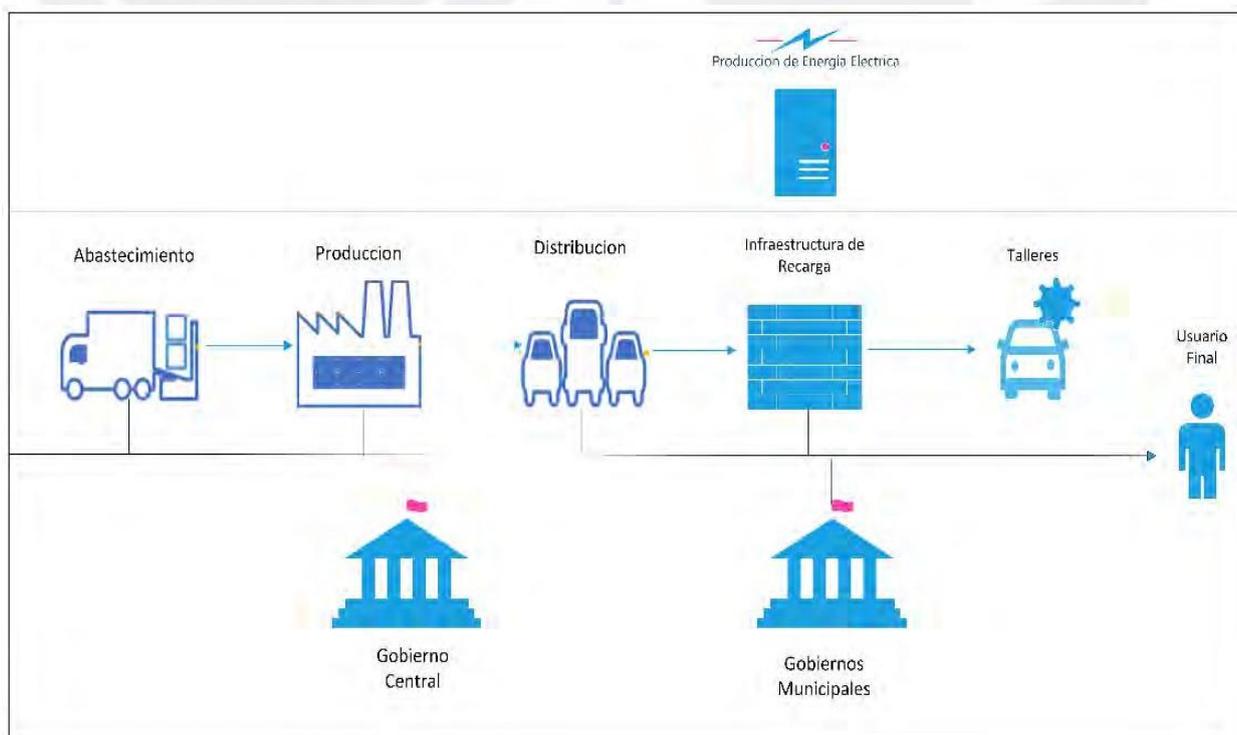
2.5 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - Noruega

2.5.1 Diseño de la cadena de suministros

La cadena automotriz eléctrica en Noruega contempla todos los eslabones clásicos de una cadena de suministro como se muestra en la Figura 3, incluyendo: abastecimiento, producción, distribución y clientes, la investigación y desarrollo de autos eléctricos en este país inició entre las décadas de 1970 y 1990 dando como resultado en 1994 la entrega de 8 modelos automóbiles, pero aún no producidos de manera masiva. Luego del año 2000, ingresó al mercado la empresa productora Ford (*Think Global*), siendo comprada por inversionistas nacionales en el 2006 para producir el modelo desarrollado por ellos.

Figura 3

Cadena de Suministros para los Automóviles Livianos Eléctricos en Noruega



La cadena automotriz eléctrica a nivel de abastecimiento se encuentra sustentada por producción de energía eléctrica renovable en un 98% y el resto como no renovable proveídas por distribuidores eléctricos o minoristas a estaciones de recarga del país, este eslabón de la cadena se les conoce como operadores de punto de recarga. El gobierno ha sido un ente bastante activo en políticas públicas en fomento de compras de vehículos eléctricos tanto del gobierno central como de parte de los gobiernos municipales desde inicios de los años 90, comenzando con el primer incentivo de cero impuestos para el registro de dichos vehículos.

2.5.2 Experiencias de ciudades

Durante el 2020, Noruega superó el 50% del total de ventas de vehículos eléctricos, siendo el primer país en el mundo históricamente en presentar estas proporciones. Actualmente, según cifras del consejo de información sobre el tráfico vial de Noruega (OFV), los vehículos eléctricos representan un 54.3% del mercado actual en el 2020, los cuatro modelos más vendidos en el país han sido Audi e-tron, Tesla Model 3, Volkswagen ID.3 y Nissan Leaf—todos eléctricos (ICEX, 2021).

En el país habitan unas 5.3 millones de personas donde la electricidad es casi en su totalidad de origen hidráulico, según las cifras mostradas anteriormente la experiencia y los beneficios en mejora de calidad de vida del país han crecido bastante. Un ejemplo que resalta ello es la ciudad de Bergen, la cual hasta hace algunos años venía arrastrando problemas de contaminación por lluvias extremas, boinas contaminantes y elevado número de vehículos; pero esta circunstancia ha cambiado siendo elegida en el 2018 como la capital del coche eléctrico de Noruega, teniendo incentivos como parqueos gratis o a mitad de precio y financiamiento de proyectos de investigación en electromovilidad por la Empresa Enova.

La principal ciudad de implementación de medidas para el apoyo de la electromovilidad en Noruega ha sido Oslo estableciendo el programa de desarrollo de estaciones de recarga, mismo que tiene como objetivo un cargador rápido por cada 250

vehículos eléctricos en la ciudad, además de incentivos de parqueo-recarga gratis y acceso a carriles para buses. En adición, esta ciudad ha desarrollado su propio operador de puntos de recarga teniendo al 2018 más de 1,200 cargadores, además de la instalación de más de 1,300 estaciones de recarga pública y más de 220 puntos de recarga rápida.

2.5.3 Estaciones de recarga

Según la administración de carreteras públicas de Noruega, a fines del año 2019 existían 254,330 vehículos eléctricos registrados en relación con 12,375 puntos de recargas teniendo una relación de 20.5 vehículos eléctricos por punto, si bien aproximadamente el 87% de las recargas se realizan en casa esto podría asegurar un problema para Noruega en un futuro. Además de los puntos de recarga normales, Noruega ha sobrepasado los 1,950 puntos de carga rápida a finales del 2019 según la asociación de automóviles eléctricos de Noruega y se necesita crecer a un ritmo de 1,200 por año para satisfacer la demanda. Los tipos de recarga que se encuentran en Noruega principalmente son: el estándar, Chademo 50 kW, CCS 50 kW y Tesla supercharger, siendo este último para vehículos de la empresa Tesla.

2.5.4 Implementaciones a replicar

Noruega empezó con su proyecto de sostenibilidad en el sector automotriz teniendo como meta actual para el 2025, según su Plan Nacional de Electromovilidad, que los vehículos, las camionetas ligeras y buses urbanos sean eléctricos o a hidrógeno y, con los planes de incentivos por los años 90 como ya se mencionó. Cabe recalcar que muchos de estos incentivos han sido promulgados por los gobiernos teniendo como base los ingresos por exportación del petróleo, ya que se sabe de los importantes recursos marítimos que posee este país. Los incentivos implementados por Noruega dados por el gobierno central han sido: (a) exención de impuesto de registro, (b) menor tasa de vehículos de empresas, (c) exención del IVA, y (d) compensación fiscal por desguace de furgonetas de combustibles fósiles. Por otro lado, desde los gobiernos municipales se tiene acceso a carriles para buses, peajes gratis,

parqueo gratis, reducción de tarifas para los pasajeros que viajan en vehículos eléctricos públicos y desarrollo de estaciones de recarga.

De los incentivos mencionados anteriormente se considera que todas las medidas implementadas por Noruega también podrían ser aplicables en el Perú, ya que actualmente se paga un impuesto selectivo al consumo del 10% y esta exención podría hacer más competitivos los precios en autos eléctricos. Asimismo, en el Perú se cobra un impuesto a la compra de vehículos nuevos por tres años por un valor del 1% anual, la exención a este impuesto puede ser también imitada por el gobierno peruano. En cuanto a las medidas municipales, en Lima se tienen ciertas restricciones para ordenar la congestión vehículos como: Pico-Placa que se aplicaba antes de la pandemia o la prohibición a vías expresas, peaje en la carretera Panamericana Norte-Sur o Evitamiento, por lo que el favorecimiento de accesibilidad en circulación o la exención de peajes también puede ser un buen motor de impulso. Algunos estudios han analizado la importancia de los diferentes incentivos, entre los que figura el realizado Figenbaum et al. (2015), quienes hallaron que los incentivos económicos y el acceso a los carriles de buses son los más importantes a la hora de elegir comprar un vehículo eléctrico. Asimismo, se encontró que el acceso a estaciones de carga también era importante en esa decisión (Organismo Supervisor en la Energía y Minería, 2019).

2.5.5 Tipos de vehículos

En el caso de Noruega como se mencionó anteriormente los cuatro modelos más vendidos durante el 2020 fueron el Audi e-tron con 9,227 unidades vendidas, el Tesla Model 3 con 7,770 unidades, Volkswagen ID.3 con 7,754 y el Nissan Leaf con 5,221 unidades, teniendo como característica principal que es un vehículo 100% eléctrico y el modelo más vendido, Audi E-tron, presenta una autonomía de hasta 409 km.

2.6 Cadena de Suministros de Autos Eléctricos - México

2.6.1 Diseño de la cadena de suministros

La cadena automotriz eléctrica en México contempla todos los eslabones clásicos de una cadena de suministro incluyendo: (a) abastecimiento, (b) producción, (c) distribución y (d) clientes. Si bien tiene producción de vehículos eléctricos en el país, este aún no se da a gran escala siendo, por lo que son solo dos conglomerados nacionales los únicos que fabrican y ensamblan dichos vehículos en México, pero se tiene la expectativa de empresas como Renault, BMW y Ford en ensamblar vehículos eléctricos interiormente. La cadena automotriz eléctrica a nivel de abastecimiento se encuentra sustentada por producción de energía eléctrica renovable en un 20% y un 80% como no renovable proveídas a través de corredores de recarga eléctrica e instalación de recarga en domicilio brindándose apoyo en la medición de consumo de energía instalándose medidores de consumo diferenciados para no tener que pagar la tarifa doméstica de alto consumo.

El gobierno ha sido un ente bastante activo en políticas públicas destinadas a fomentar compras de vehículos eléctricos, estaciones de recarga e impulsar la instalación de fábricas de ensambladores de VE. Tanto del gobierno central como de parte de los gobiernos federales desde el año 2012 incluso en el 2018 han presentado el plan estratégico de electromovilidad 2018-2030 de la ciudad de México, teniendo como objetivo de cero emisiones en movilidad para el 2030 y una venta de al menos 20% en vehículos eléctricos al año.

2.6.2 Experiencias de ciudades

México inició sus esfuerzos por la introducción de vehículos eléctricos (VE) en el año 2009 cuando el gobierno firmó un contrato con Nissan en la adquisición de 100 vehículos eléctricos para su circulación como taxis, pero el inicio de comercialización fue en el año 2014 con la introducción del modelo Leaf de Nissan al mercado, además de este modelo se

ofertan actualmente Chevrolet Spark EV, Renault Twizy, el Modelo S producido por Tesla y el BMW i3.

En el país habitan unos 128 millones de personas donde la fuente de energía eléctrica es de un 81% de origen fósil y un 20% de origen renovable, específicamente la ciudad de México tiene una tasa de urbanización del 80% y un 20% de la población del país, siendo la ciudad donde se concentran la mayoría de los incentivos hacia la compra de VE y programas como cero emisiones en taxis. La principal ciudad en donde se implementaron las medidas para el apoyo de la electromovilidad ha sido la misma capital federal Ciudad de México, la cual fue elegida por la concentración de población, carga automotriz y emisiones de CO₂. También porque tiene los siguientes incentivos: (a) excepción de pago de impuestos por autos nuevos, (b) deducción de impuesto a la renta hasta por 13,000 USD, (c) excepción de impuesto por tenencia de un VE por los primeros cinco años, (d) exoneración de programas de restricción vehicular y libre circulación, (e) estacionamientos preferenciales y (f) programas de chatarreo para la compra de VE.

2.6.3 Estaciones de recarga

La instalación de infraestructura de recarga en el país está promovida por entidades privadas que comercializan VE (BMW, Nissan y Tesla) y entidades públicas como la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En un comienzo las entidades privadas iniciaron la instalación estaciones de recarga en sus centros de distribución principales y posteriormente con un trabajo en conjunto con CFE se ha venido instalando electrolineras ubicadas en Ciudad de México y las principales vías del país. En los últimos años, en especial la empresa BMW a través de su programa global *Charge Now* incluye a las empresas Nissan y CFE para que los usuarios pueden ubicar de manera sencilla las estaciones de recarga siendo la última actualización la inserción de las estaciones al aplicativo Google Maps para una rápida búsqueda.

Se puede mencionar en adición a este programa que las más de 600 estaciones que se instalaron en México brindan una recarga gratuita a los usuarios y que se puede cargar hasta un 80% de la batería en 30 minutos. En conclusión, el impulso de desarrollo en infraestructura de recarga ha sido una combinación entre el privado y nacional donde se destaca que la Comisión Federal de electricidad ha fomentado la instalación de puntos de recarga a nivel doméstico, así como de medidores independientes de consumo eléctrico para que no se combine con el consumo del hogar y pueda tener un tarifario diferente.

2.6.4 Implementaciones para replicar

México elaboró su Plan Estratégico de Electromovilidad en el 2018, donde se planteó metas para el 2030, destacando que el 20% de la flota pública será eléctrica, el 15% de las ventas de autos serán eléctricos o híbridos y el 80% de los taxis también serán híbridos-eléctricos. Perú puede replicar algunas medidas tomadas por el gobierno de México, como el programa cero emisiones en taxis, sabiendo que el parque automotor nacional está bastante orientado a este servicio en Lima Metropolitana y otras ciudades importantes. Las acciones combinadas entre entes privados y el gobierno central son una buena manera de incentivar el desarrollo de infraestructura de recarga en el país, así como es el caso de México, Perú también cuenta con distribuidores importantes automotrices. Estos podrían impulsar la venta de VE mediante instalación de estaciones de recarga en sus centros de distribución y el gobierno puede instalar corredores eléctricos de recarga en vías principales como Panamericana Sur, Norte y Evitamiento, además de promover programas semejantes como *Charge Now* para la fácil localización de la red de recarga.

2.7 Estudios Previos de Electromovilidad en Perú

En el Perú, en el año 2015 se adoptó el compromiso de la Conferencia Climática de las Naciones Unidas (COP 21) con el proyecto de Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA, por sus siglas en inglés) con el objetivo de promover la elaboración de

políticas de alcance público que establezcan mecanismos que permitan masificar el uso de tecnologías energéticamente sostenibles, a través de vehículos eléctricos (Ministerio del Ambiente, 2015). Alineado a ello, en el Perú el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) elaboró en el 2019 un informe sobre la electromovilidad, en el cual presentó conceptos teóricos sobre vehículos eléctricos y políticas e instrumentos para la promoción de la electromovilidad, ya que hasta el momento no ha habido lineamientos claros a nivel político para su desarrollo.

Asimismo, el Ministerio de Economía y Finanzas (2019) elaboró el Plan Nacional de Competitividad y Productividad, que tiene un horizonte hasta diciembre de 2030, en donde se precisaron nueve objetivos de política y las medidas concretas para cada uno de estos ejes. Uno de estos objetivos está relacionado al mejoramiento del medio ambiente, el cual tiene como estrategia la electromovilidad y la incorporación de autobuses eléctricos en las ciudades de Lima, Arequipa y Trujillo para el año 2030, así como el establecimiento de estándares técnicos para las estaciones de carga en Perú para el año 2025.

2.8 Sector Automotriz en el Perú

Según la Asociación Automotriz del Perú (2019) el parque automotor del Perú estaba constituido por 2'981,000 vehículos (entre vehículos livianos y pesados). Este sector presentó un crecimiento de las ventas de 4.6% anual para el 2019, contando con un parque automotor concentrado en Lima. Por su parte, Barandiarán et al. (2012) destacaron que el sector automotriz en el Perú se subdivide en dos grandes rubros: (a) comercialización de vehículos y (b) autopartes. El primero está conformado por las organizaciones proveedoras de vehículos nuevos y usados procedentes de la importación. El segundo grupo está conformado por aquellas empresas productoras e importadoras de autopartes, las cuales comercializan parte de su oferta en el mercado local y la otra parte mediante exportación, a fin de llegar a los consumidores finales.

El Perú, al no desarrollar actividades de investigación, diseño, desarrollo, fabricación y ensamblaje de vehículos, mantiene relaciones comerciales con países productores como Estados Unidos, Japón, Corea y varios países de la Unión Europea. Este sector presenta desafíos importantes para su crecimiento sostenible, ya que es el principal responsable de la contaminación del aire. Esto debido a que la flota vehicular en el Perú tiene una antigüedad promedio de 14 años y su consumo energético es 66% diésel y gasolina (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Por ello, con la elaboración del Plan Nacional de Competitividad se busca que para el 2030, el panorama automotriz se transforme, reduciendo el uso de vehículos a combustión y ubicando a los vehículos eléctricos en una posición más protagónica (PricewaterhouseCoopers [PWC], 2019). Ello dado que la participación de la movilidad eléctrica en estos momentos es mínima; por ejemplo, la venta promedio de vehículos entre livianos y pesados fue de 14,000 unidades/mes en comparación a solo 50 unidades/mes en las ventas de vehículos eléctricos-híbridos, lo que indica una participación mínima de 0.35% del total (Asociación Automotriz del Perú, 2019).

2.9 Industria Energética Peruana

Según el Ministerio de Energía y Minas (2018), la matriz energética peruana está basada en un 63.5% en hidrocarburos, 19% en energía eléctrica y 5% en energía renovable, y sobre el consumo energético, el sector transporte nacional presentó el mayor consumo con 359798.1 TJ y una participación del 40.1%, seguido de los sectores industrial y minero, con un consumo conjunto de 239665.7 TJ (26.7%). El grupo de sectores residencial, comercial y público, también tuvieron un consumo significativo de 222879.7 TJ (24.9%). Por último, los sectores de menor consumo con 9463.8 TJ (1.1%) fueron el agropecuario y pesca. De ese 40.1%, el 82.3% del consumo energético que corresponde al transporte nacional fue utilizado

en la modalidad terrestre que principalmente consumió diésel B5 en un 47.6% y gasohol en un 18.7% y el gas natural se consumió en 7.3% y el GLP en 6.2%.

Por otro lado, la energía eléctrica que es obtenida principalmente por dos métodos; mediante centrales hidroeléctricas, aprovechando la energía cinética del agua, que, al caer por un desnivel, acciona generadores; y mediante centrales térmicas, que convierten la energía térmica, generada a partir de motores de combustión, en energía eléctrica. El 55.9% de la producción de electricidad proviene de centrales hidroeléctricas, el 39.9% de centrales térmicas y con una mínima participación de 1.4% y 2.7% respectivamente, se encuentran las centrales solares y eólicas (Ministerio de Energía y Minas, 2018). Sobre la energía eléctrica es importante recalcar el crecimiento anual de 8% que ha tenido en los últimos años (OSINERGMIN, 2017). Y es que la cantidad de energía eléctrica que genera el país actualmente sería suficiente para abastecer al parque automotor nacional en el hipotético caso de que todo él estuviera basado en la tecnología eléctrica.

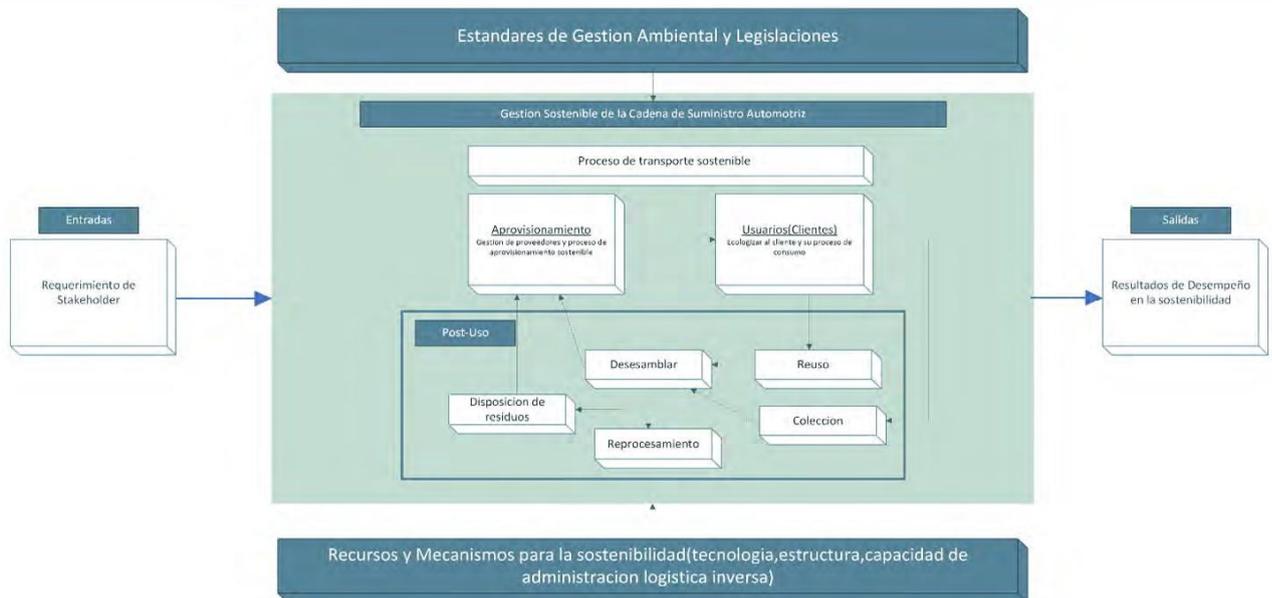
2.10 Sostenibilidad y la Cadena de Suministros en el Sector Automotriz

Según Amrani et al. (2020) la cadena de suministros pasó de ser una actividad secundaria para poder convertirse en un elemento integrativo y colaborativo con la estrategia de la compañía. Por su parte, Seuring y Müller (2008) definieron a la sostenibilidad de la cadena de suministros como la administración de materiales, información y flujo de capital así como la cooperación entre empresas. Consideraron que los objetivos de las tres dimensiones de un desarrollo sostenible, el económico, el ambiental y social, son interdependientes y se refuerzan mutuamente. Se tenía pensado que el desarrollo sostenible solo se debía enfocar en el aspecto medio ambiental, pero lo correcto es que el desarrollo sostenible combine el rendimiento de estos tres pilares, razón por la cual Amrani et al. (2020) señalaron que el pilar social debe ser una meta, el pilar económico un medio y el pilar ambiental una condición.

El concepto de sostenibilidad de la cadena de suministros (SSCM) nació por esta necesidad de analizar de manera integral qué incluye todos los agentes o puntos importantes de ella, en la Figura 4 se realiza un extracto de los puntos importantes a analizar con el objetivo de lograr una cadena de suministros sostenible sin contar con una línea de producción para un país que comercializa y aún no fabrica sus automóviles como en el caso de Perú. En dicha figura se puede apreciar una representación de una cadena de suministros con un enfoque sostenible. En relación a los estándares y legislaciones directivas juegan un papel importante en la sostenibilidad de la cadena, ya que las normas y directrices son los que fomentan la sostenibilidad como.

Esto quiere decir que normatizando que las compañías se hagan cargo del rechazo o reciclaje del producto comercializado o incentivos económicos de logística inversa sobre su producto fomentan la sostenibilidad de la cadena desde el inicio hasta el fin del producto; por ello su rol tan importante en la cadena. Los *stakeholders* o mejor dicho los individuos-grupos de entidades influenciados por la cadena pueden poner presión hacia un enfoque de sostenibilidad, ya que son los individuos afectados por la cadena de suministro: los clientes, gobierno, proveedores, comunidad, entre otros.

El aprovisionamiento sostenible consiste en escoger una compañía que tiene el mismo enfoque actual de contribución a la sostenibilidad o también el desarrollo de esta compañía alineada a ese objetivo. El transporte sostenible es uno de los puntos más críticos dentro de la cadena, ya que es la parte de la cadena que produce mayor desperdicio y gases contaminantes, por ello su importancia dentro de la misma. Los recursos de apoyo para llevar a cabo una sostenibilidad de la cadena son realmente necesarios, las tres principales según Masoumi et al. (2019) son: la tecnología, estructura y una administración de logística inversa bien manejada.

Figura 4*Cadena de Suministro Sostenible de la Industria Automotriz*

Nota. Adaptado de “Sustainable Supply Chain Management in the Automotive Industry: A Process-Oriented Review,” por M. Masoumi et al., 2019, *Sustainability*, 11(14), p. 3945 (<https://doi.org/10.3390/su11143945>).

Otra de las lecturas que se está tomando como referencia es la realizada por Kersten et al. (2015), quienes asemejaron la sostenibilidad de la cadena con el ciclo de la vida donde si un producto una vez acabado su uso, ya sea de carácter biológico, se utilizaría como nutriente para otro. En el caso de no ser biológico un rehúso y desensamblaje para su reutilización y así mantener un ciclo de producción, donde la logística inversa juega un rol importante dentro de la cadena.

2.11 Indicadores de la Cadena de Suministros

Kannengiesser y Gunther (2013) señalaron que los indicadores de sostenibilidad deben de abarcar los tres factores que determinan la sostenibilidad; costos, ambientales y sociales. Según Fiksel et al. (2012) un indicador de sostenibilidad puede definirse como un aspecto medible de los sistemas ambientales, económicos o sociales que resulta útil para supervisar los cambios en las características de un sistema. En relación con el objetivo de estudio que es la cadena de suministros del sector automotriz, el aplicar indicadores de

sostenibilidad permitirá evaluar como es el desempeño del indicador. El uso de métricas es esencial para poder afrontar los retos de la sostenibilidad en el sector.

Los indicadores que se vayan a elegir de cada uno de los tres pilares que sostienen la sostenibilidad, deben de definirse de manera que pueda ayudar a los gestores o responsables a una mejor toma de decisiones. Fiksel et al. (2012) señalaron el usar indicadores puede permitir una alerta temprana para prevenir resultados adversos, comprarse con otros sistemas haciendo un *benchmarking*, así como la toma de decisiones. En el sector automotriz, permitirán evaluar de una manera más concisa un sector que es crítico para el país, pero que a su vez genera elevados índices de contaminación. De darse un aumento en la tasa de adopción de autos eléctricos, es necesario medir qué impacto tendrá en los indicadores de sostenibilidad, ya que se debe tener en claro cuáles son los beneficios que se pueden lograr, pero también cuál es el costo que se tendrá que asumir para evaluar si el rumbo elegido es el correcto y como se apaciguarán los efectos negativos, de presentarse, de dicha adopción.

2.12 Análisis del Ciclo de Vida Técnico

La evaluación del Ciclo de Vida (ACV) de los vehículos eléctricos tiene como objetivo brindar aproximaciones técnicas a considerar para asegurar un desempeño óptimo en las dimensiones económica, social y ambiental de los vehículos eléctricos a lo largo de su vida útil. Existe un consenso internacional de que los efectos ambientales de los vehículos eléctricos solo pueden ser analizados en base a la metodología del ciclo de vida que incluye desde la producción, uso y tratamiento final de los vehículos, además que permite realizar comparaciones con vehículos convencionales (Jungmeier et al., 2013). Esta metodología presenta una estructura de cuatro fases, las cuales se presentan a continuación:

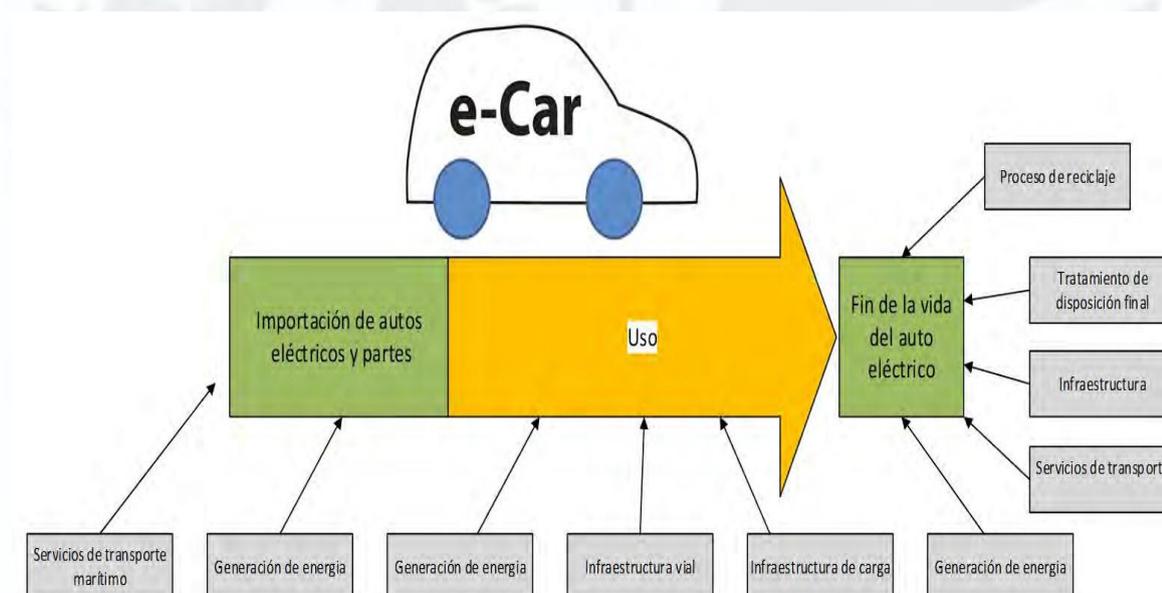
2.12.1 Definición de objetivos y alcance del estudio

Incluye tanto la definición exacta del sistema a estudiar, como el alcance y la profundidad del estudio, es decir, en esta fase de la metodología, deben definirse claramente

las características funcionales del producto que se está estudiando. La unidad funcional cuantifica las funciones identificadas que son objeto de estudio, por lo que todos los datos del sistema (tanto las entradas y salidas de materia y energía), deben ir referidos a un flujo de referencia que dé respuesta a esta unidad funcional. Además, la unidad funcional permite la comparación cuando se analizan distintos sistemas; también es importante que se definan claramente los límites del sistema a analizar que determinan qué es lo que se incluye dentro del sistema estudiado y qué es lo que queda fuera.

Figura 5

Límites del Sistema para el ACV del Vehículo Eléctrico Perú



Nota. Adaptado de “eLCAR: Guidelines for the LCA of Electric Vehicles” (p. 45), por A. Del Duce et al., 2013 (doi:10.13140/RG.2.1.2782.8244).

En la Figura 5 se pueden observar las principales actividades que formarán parte del análisis del ciclo de vida técnico de un vehículo eléctrico en el contexto peruano. En dicha figura, el ciclo está compuesto por tres actividades principales: (a) la importación de autos eléctricos, (b) el uso de auto eléctrico y (c) el fin de la vida del auto, y en cada una de estas

actividades hay elementos relevantes que podrían determinar el impacto ambiental y el costo de un auto eléctrico.

2.12.2 Análisis de inventario

En esta fase se recopilan y procesan los datos necesarios para el análisis del sistema, lo cual debe hacerse con un alto nivel de detalle, ya que esto permite identificar las criticidades del sistema. Por lo general, se requiere descomponer el sistema en todos los subprocesos relevantes para poder identificar las fuentes de los principales impactos en el sistema. Por ejemplo, en la Figura 6 se revisa la actividad de uso del auto eléctrico que tiene varios elementos como “infraestructura vial”.

El vehículo utiliza la carretera y por lo tanto su mantenimiento y desmantelamiento deben formar parte del análisis; además, el mantenimiento del vehículo es otro elemento crucial en la fase de uso. Esto es de fundamental importancia para los vehículos eléctricos en los que la batería, un componente clave del vehículo, puede tener que cambiarse durante la vida útil del vehículo. De igual manera, las emisiones que no son de escape, como las partículas generadas por la abrasión del sistema de frenos, los neumáticos y la carretera, pueden tener un impacto en el medio ambiente y deben incluirse en la fase de uso.

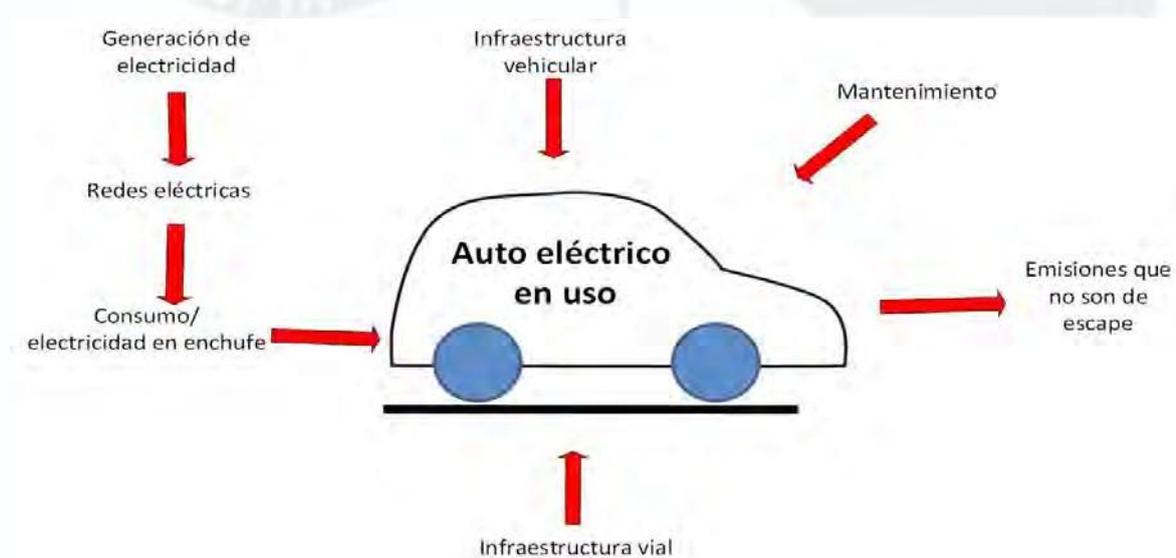
Finalmente, la energía requerida por el uso del vehículo puede tener un fuerte impacto en los resultados ya que, en función del consumo energético, se necesita generar una cierta cantidad de electricidad. Por supuesto, las tecnologías con las que se convierte la energía pueden generar impactos ambientales sustancialmente diferentes. En este sentido, para suministrar electricidad, se requieren redes eléctricas, mismas que se extienden desde las partes de alta tensión que normalmente salen de las centrales eléctricas y gestionan la transmisión de la electricidad, hasta la parte de distribución donde, en última instancia, se conecta al auto eléctrico para recargarlo. En este contexto, también deben tenerse en cuenta las tarifas de electricidad, es decir, puede ser un cargador a bordo o estaciones de carga

dedicadas que proporcionen, por ejemplo, carga de alta velocidad. En general, para tener en cuenta todos estos factores, primero es necesario estimar el consumo de energía del vehículo.

Al igual que en la fase de producción, se deben identificar todos los procesos relevantes involucrados en la fase de final de vida útil de un vehículo. Estos procesos se diferencian de la fase de producción porque el tratamiento al final de la vida útil no es el reverso de la producción y el ensamblaje. Cuando el vehículo llega al final de su vida, por ejemplo, en la Unión Europea, las regulaciones exigen que se recicle un porcentaje específico del peso (Del Duce et al., 2013). Dentro del análisis de inventario también se desarrollará el costo del ciclo de vida de vehículos eléctricos (Ayodele & Mustapa, 2020), el cual se basa principalmente en el costo tangible e intangible, como se muestra en la Figura 7. Los costos tangibles consisten en el costo de compra, el costo minorista y el costo operativo, mientras que los costos intangibles podrían ser los costos debido a restricciones de compra o costos de restricción de conducción.

Figura 6

Elementos Principales en la Fase de Uso de un Auto Eléctrico

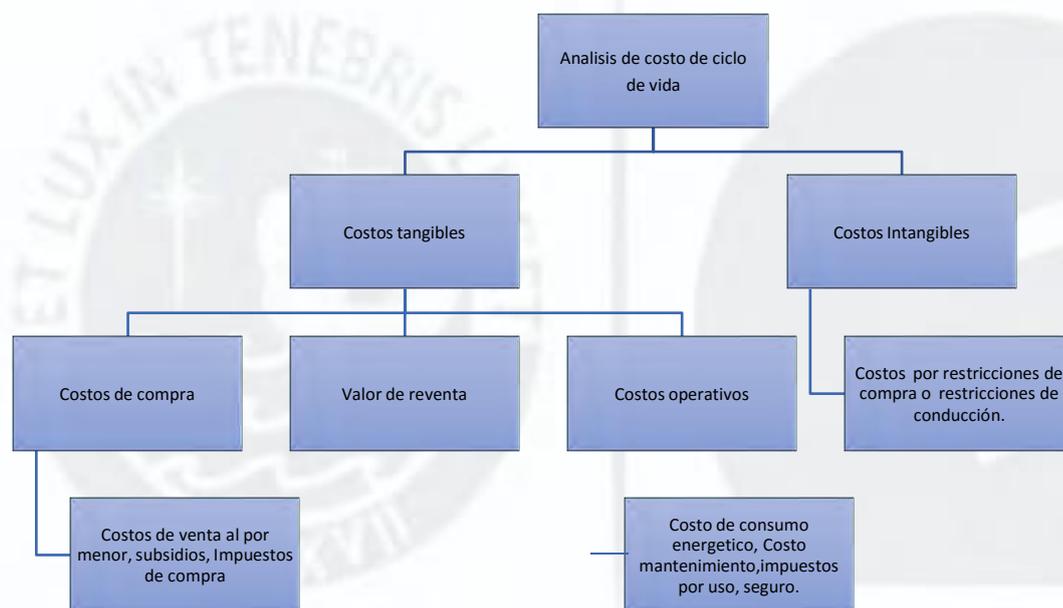


Nota. Adaptado de "eLCAR: Guidelines for the LCA of Electric Vehicles" (p. 73), por A. Del Duce et al., 2013 (doi:10.13140/RG.2.1.2782.8244).

Los costos de compra refieren a los costos de venta al por menor sugeridos por los fabricantes, los subsidios y el impuesto sobre la compra. Mientras que los costos operativos son aquellos costos asociados con el consumo de energía por parte del vehículo eléctrico (en recargas), mantenimiento (reemplazo de llantas), reemplazo de batería, impuesto de uso y seguro.

Figura 7

Componentes del Costo del Ciclo de Vida de los Vehículos Eléctricos



Nota. Adaptado de “Life Cycle Cost Assessment of Electric Vehicles: A Review and Bibliometric Analysis,” por B. V. Ayodele y S. I. Mustapa, 2020, *Sustainability*, 12(6), 4 (<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2387>).

2.12.3 Evaluación del impacto

La evaluación del impacto del ciclo de vida es la fase del análisis en la que las entradas y salidas de los flujos elementales que se han recopilado e informado en el inventario y se traducen en resultados de indicadores de impacto relacionados con la salud humana, el medio ambiente natural y el agotamiento de los recursos (energía, agua).

2.12.4 Interpretación del ciclo de vida

La interpretación del ciclo de vida consta de tres o cuatro actividades: identificación de problemas importantes, evaluación de la sensibilidad de problemas importantes, formulación de conclusiones y recomendaciones y consideraciones adicionales si el estudio incluye comparaciones.

2.13 Simple Multi-Attribute Rating Technique

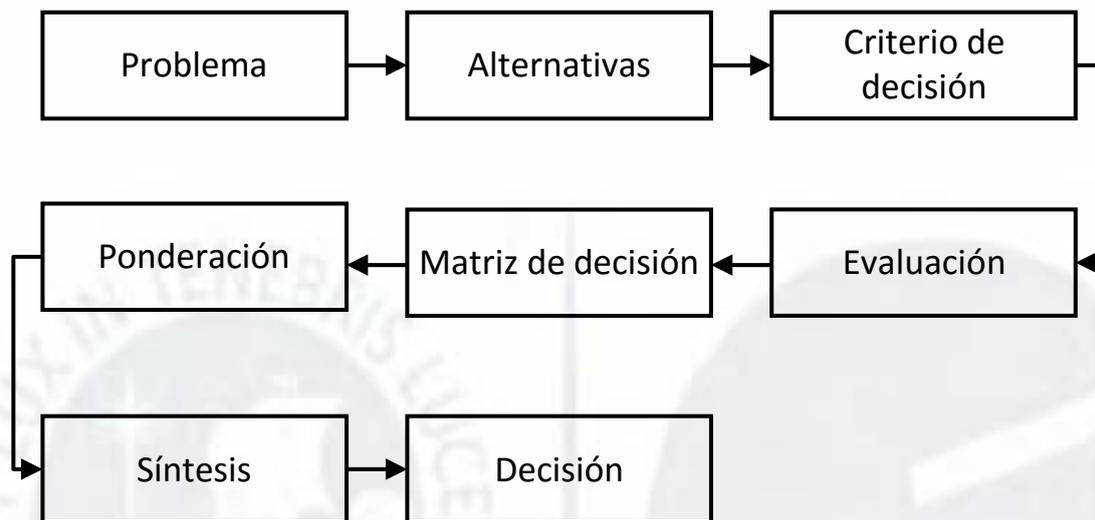
MCDM que es la abreviación de “*Multiple Criteria Decision Making*”, que traducido al español significa toma de decisiones en base a criterios múltiples, es un método que permite hacer juicio en presencia de varios criterios que puedan ser conflictivos. Según Rameshkumar et al. (2017) MCDM está relacionado a estructurar y dar solución a problemas que involucran varios criterios, un diseño de una cadena de suministros tiene varios atributos que se deben considerar al momento de su construcción. De forma que para Rameshkumar et al. (2017) existen tres pasos básicos para este proceso, como se muestra en la Figura 8: (a) identificar el problema, (b) plantear posibles alternativas, definiendo los atributos y pesos de los criterios a realizar en la evaluación, haciendo una matriz de decisión, ponderando, sintetizando y (c) definir la mejor alternativa.

Dentro de los diferentes métodos que existen en el MCDM, se encuentra el método SMART, del que Rameshkumar et al. (2017) señalaron que la aplicación de este método puede hacerse en desarrollos logísticos y de planificación. Las ventajas de este método son la aplicabilidad, interdependencia y relevancia y la simplicidad de la técnica es una ventaja de esta herramienta, ya que influye en el entendimiento de la toma de decisión sobre el proceso o la solución del problema. La técnica SMART, que se puede traducir como técnica de clasificación de multicriterio simple es un método de decisión desarrollado por Edward en el año 1977. Según Siregar et al. (2015) el propósito de esta técnica es que cada atributo de una

alternativa tenga un valor y que dicho atributo tenga un peso que indique que tan importante es en relación con los demás atributos que se van a elevar.

Figura 8

Pasos Interactivos para Ejecutar el Método MCDM



Nota. Adaptado de “SMART-Multi-Criteria Decision-Making Technique for Use in Planning Activities” (p. 1), por M. Rameshkumar et al., 2017 (https://bvhatt.com/wp-content/uploads/2018/04/NHCE-2017_SMART-Multi-criteria-decision-making-technique-for-use-in-planning-activities.pdf).

Este peso se usa para poder obtener la mejor alternativa, por lo que Mariño (2021) definición que el procedimiento para su correcta aplicación consiste en lo siguiente: (a) identificar el tomador de decisiones, (b) identificar los cursos de acción alternativos, (c) identificar los atributos relevantes, (d) evaluar el desempeño de las alternativas en cada atributo, (e) determinar un peso para cada atributo, (f) para cada alternativa tomar un promedio ponderado de los valores asignados a esa alternativa, y (g) elaborar la frontera de eficiencia. De cada alternativa se debe encontrar el costo y/o beneficio económico cuantificable y luego de ello, se debe hacer la selección de atributos, los cuales serán evaluados y ponderados en base a su importancia para poder luego realizar la frontera de eficiencia. Es importante destacar que en la frontera de eficiencia se podrá identificar que alternativa es la más adecuada.

2.14 Regresión Múltiple

Un modelo de regresión es la expresión de relación estadística entre dos variables, así por decir una tendencia de variación “Y” varió acorde a la variable “X” independiente, también cada punto de la variable es una dispersión de puntos de curva estadística, se podría decir que para cada punto “X” existe una distribución de probabilidad de “Y”, a su vez la media de distribuciones varía de manera sistemática con “X”. Los modelos de regresión pueden variar en la forma de regresión como, por ejemplo: (a) regresión lineal, (b) curvilínea, (c) simétrica, y (d) sesgada. Además de las regresiones de una sola variable predictiva descrita anteriormente existen modelos de regresión multivariable que por apreciación del equipo de trabajo sería más aplicable a la investigación que se está realizando, tomando como ejemplo un caso del libro de Kutner et al. (2005). En este caso, se evaluó la compra de tractores de una sucursal y esta variaba de acuerdo con nueve variables predictoras, entre las cuales se pueden destacar: la edad media de los tractores en las explotaciones del territorio, el número de explotaciones en el territorio, y un índice de cantidad de producción agrícola en el territorio.

2.14.1 Construcción del modelo de regresión

Selección de las variables predictoras (independientes). Se eligen posibles variables independientes que pueden afectar la variable dependiente que se quiere estudiar; se debe tener en consideración la proporción en que estas variables independientes contribuyen a reducir la variación restante a variables previas que se hayan elegido.

Identificar la forma funcional de la relación de regresión. Existen diferentes modelos de regresión, no solo la lineal, por lo que al identificar la forma de la funcionalidad esta puede darse de tipo exponencial, cuadrática, polinómica, entre otras, pero para este caso se utilizará el tipo de regresión funcional multivariable del tipo lineal.

Alcance del modelo. El alcance del modelo se encuentra determinado por el diseño de la investigación o por la variedad de datos disponibles, se necesitaría restringir la cobertura de la variable independiente, por ejemplo, la venta de autos eléctricos desde un 20% en participación del mercado actual hasta un 30% del mercado.

2.14.2 Pasos sistemáticos de la herramienta regresión lineal multivariable

Para ello se considera el caso que se tiene “p-1” variables independientes del modelo de regresión.

Forma teórica de la función tentativa: $E\{Y\} = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_{(p-1)}X_{(p-1)}$

Donde $B_0, B_1, B_2 \dots B_p$ son los parámetros.

$X_1, X_2, X_3 \dots X_{p-1}$ son las variables independientes.

- En primer lugar, se realizará la selección de las variables independientes
- En segundo lugar, se realizará una prueba de no colinealidad entre variables independientes descartando variables que demuestran correlación entre ellas.

Coeficientes de Correlación=1 o cercanos a uno se descartarán, se recomienda descartar cualquier valor mayor a 0.85.

- En tercer lugar, se hallarán los parámetros asociados a las variables independientes mediante el uso de regresión en Excel (Se tendrá como base la muestra significativa y variación de la data en relación con la variable independiente)
- Obteniendo resultados se realizará una prueba Global de test F donde se plantea:

$H_0: B_1=B_2=B_3 \dots B_{p-1}=0$

$H_1: \text{No todas } B_k (B_1 \dots B_p) \text{ son igual a cero}$

Se define un error tipo 1 de 0.05 para el estudio.

Si el valor crítico de la prueba $F < 0.05$, se puede decir que los parámetros sean iguales a cero; por ende, se procede al siguiente paso.

- Verificación del coeficiente múltiple de determinación (R^2): determina el grado de representatividad o explicación que tiene las variables independientes sobre la variable independiente.
- Por último, se realizan pruebas de hipótesis de los parámetros siendo la prueba t de probabilidad como el p-value de indicador de descarte, tomando en consideración el $\text{Alfa}=0.05$ ya determinado anteriormente.

Se concluye la construcción de modelo lineal multivariable siendo un ciclo de prueba y error hasta obtener un modelo que satisfaga el objetivo de investigación.

2.15 Resumen del Capítulo

Este capítulo se desarrolló basándose en una revisión de literatura, razón por la cual se presentaron todos los puntos claves necesarios a conocer para poder entender la relación que puede tener la adopción de autos eléctricos y la sostenibilidad. Asimismo, las referencias explicadas permitieron diseñar propuestas de cadenas y escenarios de estímulos que puedan ser implementados por el gobierno, que permita incrementar el uso de esta tecnología en el país. Como primer punto se exploró como se ha desarrollado la electromovilidad en el mundo, destacando en este punto países nórdicos de Europa como Noruega. Después, se hizo una revisión de países de la región, que son similares al Perú, para poder hacer un *benchmarking* con países que tienen un contexto económico, social y ambiental parecido. Es por eso por lo que dentro de la literatura investigada se analizaron los diseños de las cadenas de suministros de autos eléctricos de Chile, Colombia y México replicables en el Perú.

Luego, se procedió a revisar la situación en Perú en la actualidad, centrándose en los estudios previos e iniciativas de electromovilidad que se ha tenido en el país. También una revisión de la literatura relacionadas al sector automotor peruano y por último una revisión de la industria energética del Perú, ya que es importante tener en consideración cuáles son las fuentes de energía del país y el costo de esta. De igual modo, se revisaron conceptos sobre la

sostenibilidad en la cadena de suministros y estudios previos que se hayan realizado en el sector automotor. Igualmente, se revisaron los indicadores de sostenibilidad que se utilizan en una cadena de suministros para poder evaluar cuál de los disponibles, permitirá un mejor control de la sostenibilidad. Por último, para elaborar la parte metodológica se hizo la revisión de literatura de las herramientas que se utilizarán, como el análisis de ciclo de vida, toma de decisiones en base a criterios múltiples y regresión lineal, con las cuales se podrá identificar el mejor diseño de cadena y escenarios para que el desarrollo de la electromovilidad este dentro de los parámetros de sostenibilidad.

2.16 Conclusiones

- La electromovilidad es una tendencia en el mundo, en donde países como Chile, México y Colombia han hecho grandes avances en la implementación de esta tecnología, mientras tanto en Perú, se tienen iniciativas pero estas no están desarrolladas a plenitud ni integradas en un Plan Nacional de Electromovilidad que permita alcanzar el objetivo propuesto en el Plan de Competitividad Nacional en donde para el 2030 ya se debería contar con transporte público eléctrico en las tres principales ciudades del país.
- El desarrollo de la electromovilidad en el mundo es fuerte, los precios de los vehículos eléctricos se equiparán a los precios de los vehículos con motor a combustión interna aproximadamente para el 2025. Esto debido principalmente a la caída en el precio de las baterías y a las regulaciones ambientales que encarecerán cada vez más el precio de los motores a combustión. Por ejemplo: Chile y México se proyectan como los países latinoamericanos con el panorama más prometedor en implementación de electromovilidad, seguido por Brasil, mientras que Colombia, Argentina y Perú solamente tienen un prospecto moderado.

- Los estímulos que plantean para impulsar la electromovilidad en Chile, Colombia y México pueden ser replicadas por Perú, ya que se consideran viables de implementar. Por ejemplo: Exenciones arancelarias, exenciones de IVA, exenciones de impuestos vehiculares, impulso en programas de taxis eléctricos, tarifas de electricidad preferenciales o gratis, red de cargadores públicos, estacionamientos o vías preferenciales, entre otras.

Después de haber desarrollado el capítulo II de revisión de literatura se pudieron obtener las herramientas que se utilizarán para elaborar los siguientes capítulos, las cuales son la metodologías de Análisis de Costo de Ciclo de Vida en donde se requiere conocer los costos totales de propiedad por tipo de vehículo eléctrico, y la cantidad de emisiones y su costo; además de la metodología de Toma de Decisiones en base a criterios múltiples, que es un método para hacer juicio en presencia de varios criterios que pueden ser conflictivos; la Regresión Múltiple y la Simulación de Montecarlo para desarrollar los escenarios que se obtendrían de implementar cada diseño de cadena y estrategias propuestas.

Capítulo III. Metodología

En el presente capítulo se describe la metodología que se seguirá para la ejecución de la investigación, el que comprende: diseño de la investigación, población, metodologías e instrumentos, recolección de datos y análisis de datos.

3.1 Diseño de la Investigación

Para el presente trabajo se ha definido el enfoque, alcance y diseño de investigación de la siguiente manera:

3.1.1 *Enfoque*

De acuerdo con los tipos de variables que van a ser medidas, el enfoque de la investigación será de carácter **cuantitativo**, debido a que se realizará la recolección de datos, se emplearán herramientas matemáticas y técnicas estadísticas para realizar el análisis económico del diseño de la cadena de suministros que se propondrán y el pronóstico de los indicadores de sostenibilidad seleccionados en base a los tres escenarios planteados.

3.1.2 *Alcance*

Se utilizará un alcance correlacional, ya que permitirá determinar la relación entre el crecimiento de la tasa de adopción de autos eléctricos (variable independiente) que se logra en base a los diseños de cadena y escenarios planteados y la variación en los indicadores de sostenibilidad.

3.1.3 *Diseño*

Debido a que el problema se estudiará tal y como ocurre en su medio natural, es decir, no se manipularán las variables, se seleccionó el diseño no experimental longitudinal.

3.2 Participantes

3.2.1 *Población*

La población que se analizará como parte del estudio abarca a todas las instituciones, privadas y estatales que tienen relación directa en el desarrollo de la electromovilidad en el

Perú, el Ministerio del Ambiente, la Asociación Automotriz del Perú, el Ministerio de Energía y Minas, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, la Asociación de Electro Transporte, Engie y demás.

3.2.2 *Muestra*

Para la selección de la muestra, se utilizará un muestreo no probabilístico, siendo elegido en este caso un muestreo intencional o por juicio. Se ha tomado la decisión de usar este tipo de muestreo, ya que se centrará en que los participantes que tienen conocimiento específico en el tema y están involucrados en iniciativas de desarrollo, tomando en cuenta que, en la herramienta a aplicar SMART, se deben evaluar atributos que agregan un valor adicional a un carro eléctrico *versus* un carro convencional, por lo tanto, es necesario que se tenga el conocimiento previo de la electromovilidad.

3.3 Metodologías e Instrumentos

3.3.1 *Regresión lineal*

De acuerdo con el marco teórico presentado en el punto 2.14, se aplicará la metodología de “Regresión múltiple lineal” a la presente investigación, partiendo de la selección de las variables predictoras (independientes).

- Dependiente (Y1): Tasa de adopción de autos eléctricos.
- Independiente (X1): Costo de uso.
- Independiente (X2): Costo de Adquisición

$$Y1 = A + B * X1 + C * X2$$

Prueba de no colinealidad entre variables

X1: Costo de Uso

X2: Costo de Adquisición

A continuación, se muestra los pasos que se seguirá partiendo de números aleatorios generados. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de los costos que obtendrían de un diseño y qué efecto que tendrían en la tasa de adopción.

Tabla 2

Variables a Estudiar

Variable Dependiente Tasa de Adopción	Variable independiente	
	Costo Uso/mes	Costo Adquisición
5	600	20,000
8	550	18,000
10	500	16,000
12	450	14,000
14	400	12,000
16	350	10,000

Tabla 3

Resultados de la Multicolinealidad

	Tasa de Adopción	Costo de Uso Mes	Costo Adquisición
Tasa de Adopción	1		
Costo de Uso Mes	-1.00	1	
Costo Adquisición	0.74	0.68	1

En la Tabla 3 se visualiza un ejemplo de los resultados de la prueba de multicolinealidad, en que los valores mayores a 0.85 pueden afirmar la existencia de multicolinealidad entre variables, por lo tanto, se eliminaría alguna de esas dos variables para una mejor interpretación de la variable independiente, pero este ejemplo no ocurre dicho apartado. En la Tabla 4 se puede observar un ejemplo de los estadísticos de la regresión que se van a hallar y que permitirán evaluar si la técnica aplicada es la correcta y en la Tabla 5 se aprecia un ejemplo de los valores resultantes del análisis de la varianza donde se obtendrá el valor crítico de F.

Tabla 4*Estadísticas de la Regresión*

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.872974698
Coefficiente de determinación R ²	0.762084823
R ² ajustado	0.748867313
Error típico	31294.87581
Observaciones	20

Tabla 5*Análisis de la Varianza*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	56467704656	56467704656	57.65721615	5.11111E-07
Residuos	18	17628646537	979369252		
Total	19	74096351193			

Tomando como prueba de hipótesis el valor crítico de $F < 0.05$ (Prueba Global). Previo al paso del modelo matemático se realizarán las pruebas de p-value de las variables independientes en la Tabla 6, la columna llamada Probabilidad debe ser < 0.05 , sino es el caso es la variable es descartada.

Tabla 6*Coefficientes de Regresión*

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	29.97777778	1.82154E-15	1.64574E+16	4.947E-49	29.97777778	29.97777778	29.97777778	29.97777778
Costo de Uso/mes	-0.039777778	4.1073E-18	-9.68465E+15	2.4278E-48	-0.039777778	-0.039777778	-0.039777778	-0.039777778
Costo de Adquisición	-5.55556E-06	5.05618E-21	-1.09877E+15	1.6625E-45	-5.55556E-06	-5.55556E-06	-5.55556E-06	-5.55556E-06

Modelo Matemático Empírico demostrado: $Y = 29.97 - 0.04 * X1 - 0.0005 * X2$

Para establecer el costo de uso y costo de adquisición, se establecerán las siguientes ecuaciones para poder definir la mejor combinación de estrategias y diseño de cadena:

$$Ca = (1 - A1 * E1 - A2 * E2 - A3 * E3 \dots - An * En) * Ca$$

Siendo:

Ca: Costo de Adquisición

E1: Excepciones de impuestos(Iva): 1 o 0

E2: Subsidios a la compra de vehiculos(ISC): 1 o 0

E3: Bono de Chatarreo

I		I
I		I
I	.	I
I	.	I

hEn: Medidas Gubernamentales que afectan el costo de adquisicion)

Las variables $E_1, E_2 \dots E_n$ son variables de decisión del tipo booleano, bien puede ser 1 o 0, que referirán a si la estrategia es aplicada o no lo es.

A1: Porcentaje(%)disminucion del Costo de Aquisicion si se aplica E1

A2: Porcentaje(%)disminucion del Costo de Aquisicion si se aplica E2

A3: Porcentaje(%)disminucion del Costo de Aquisicion si se aplica E3

.

.

.

hAn: Porcentaje(%)disminucion del Costo de Aquisicion si se aplica En)

El costo de uso va a depender del diseño que se estaría tomando específicamente, el tipo de auto y tipo de carga que se suministrará, además de las estrategias gubernamentales que se implementarían.

Cu: Costo de Uso

$$Cu = (1 - A1 * E1 - A2 * E2 - A3 * E3 \dots - An * En) * Cu$$

E1: Excepciones de peajes: 1 o 0

E2: Reduccion de la tarifa electrica de carga: 1 o 0

E3: Excepcion de tarifas de parqueo

I		I
I		I
I	.	I
I	.	I

hEn: Medidas Gubernamentales relacionadas al costo de uso)

- A1: Porcentaje(%)disminucion del Costo de uso si se aplica E1*
A2: Porcentaje(%)disminucion del Costo de uso si se aplica E2
A3: Porcentaje(%)disminucion del Costo de uso si se aplica E3
 .
 .
 .
hAn: Porcentaje(%)disminucion del Costo de uso si se aplica En

Si bien por inferencia se podría definir que la aplicación de todas las estrategias sería el escenario ideal para incrementar la tasa de adopción, pero cada estrategia de implementación ocasiona como consecuencia un gasto público y este gasto no es ilimitado, por ello se plantea como restricción las siguientes ecuaciones:

Limitantes del diseño y la aplicación de estrategias.

$$Ie = E_1 * C_{e1} + E_2 * C_{E2} + E_3 * C_{E3} + \dots + E_n * C_{En}$$

Ie: Inversión Total del estado por la aplicación de cada diferente estrategia.

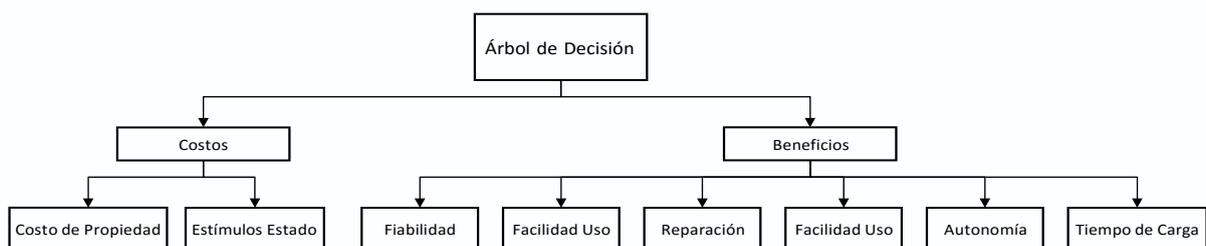
$$Ie \leq \text{"\% del Gasto Fiscal Asignado"}$$

3.3.2 Simple Muti Attribute Rating Technique

El método SMART será utilizado para realizar la evaluación de los diseños de la cadena de suministros que se propondrán, motivo por el cual en la Figura 9 se aprecia el árbol de decisión que permite evaluar dos criterios: el costo de la cadena y los beneficios que genera. En el caso de los costos se tendrá dos criterios, el costo a nivel propiedad y el costo de estímulos del Estado. El costo a nivel propiedad servirá para identificar el costo total del bien en su vida útil y el costo de estímulos es lo que asumiría el Estado en cada diseño.

Figura 9

Árbol de Decisión



Los diseños planteados a evaluar serán los siguientes:

- **Diseño 1: Autos eléctricos BEV y cargadores públicos:** Diseño que supone una inversión de cargadores públicos para lograr asegurar la autonomía de los vehículos. Los autos BEV son automóviles que no tienen motor de combustión, solo tiene un motor eléctrico, lo cual hace que tenga una total dependencia al número de cargadores públicos.
- **Diseño 2: Autos eléctricos PHVE y cargadores en casa:** Se enfocará en el % de personas que cuentan con una vivienda propia y que pueden adquirir este tipo de automóviles, los cuales requieren que se tenga la capacidad de recargar el automóvil en el lugar de estacionamiento, es por ello por lo que se deberá delimitar el público objetivo que puede llegar a abarcar este diseño de cadena de suministro.
- **Diseño 3: Autos híbridos HEV y funciona con gasolina:** Se enfocará en analizar un diseño de cadena únicamente con autos híbridos HEV que son los primeros autos con baterías eléctricas que salieron al mercado. Estos automóviles no requieren mayor cambio en el diseño de la cadena, por lo que el impacto económico debería ser menor.

Los costos que se obtengan del diseño se cuantificarán, para lograr el costo total de propiedad, tal y como se puede observar en la Tabla 7. En la Tabla 8 se puede observar cómo se verán afectados los diseños con las diversas estrategias que puede otorgar el Estado.

Tabla 7

Costo Total de Propiedad

Tipo de Diseño	Costo uso	Costo Adquisición	Costo Total
Diseño1	Cu1	Ca1	CT1
Diseño2	Cu2	Ca2	CT2
Diseño3	Cu3	Ca3	CT3

Tabla 8*Costo de Inversión por parte del Estado*

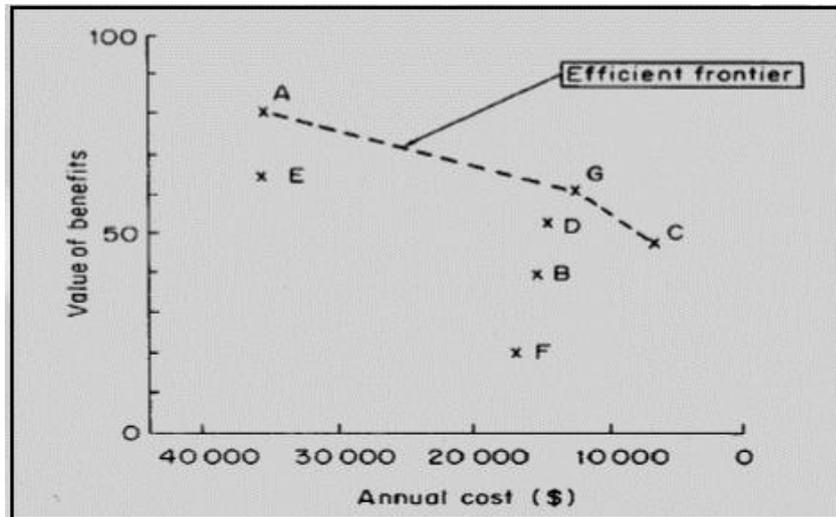
Tipo de Diseño	Beneficios Tributarios	Incentivos	Inversión Infraestructura	Costo Total
Diseño 1	BT	I1	II1	CT1
Diseño 2	Cu2	I1	II2	CT2
Diseño 3	Cu3	I1	II3	CT3

La siguiente etapa de la evaluación es realizar la calificación y ponderación de los atributos, por lo que en la Tabla 9 se puede observar un ejemplo de cómo se visualizarán los atributos que han sido seleccionados y que deberán ser evaluados por un grupo de expertos, que definirán en base a sus respuestas, la calificación que tiene cada atributo en cada diseño y que peso debería de tener el atributo en general para la cadena de suministros de autos.

Tabla 9*Atributos Seleccionados SMART*

Atributo	Ponderación	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Seguridad	20	100	60	40
Gestión de mantenimiento	20	60	40	20
Adaptabilidad	10	20	10	30
Autonomía	20	30	30	20
Tiempo de Carga	30	10	10	10
Experiencia Conducción	30	10	10	10

Los beneficios se multiplican contra el peso de cada atributo y se obtiene un valor agregado de cada diseño; por último, se grafica los costos de cada diseño y el puntaje obtenido para poder encontrar el *trade-off* de los costos y atributos. En la Figura 10 se puede visualizar una representación de la frontera de eficiencia, que permite detectar la intercepción de estos puntos. No existe una propuesta correcta, lo que se evaluará después de este paso es cómo cada diseño afecta a los indicadores de sostenibilidad.

Figura 10*Frontera Eficiencia Metodología SMART*

Nota. Tomado de “Presentación Gestión de Cadenas de Aprovisionamiento Globales” (p. 52), por C. Mariño, 2021.

3.3.3 *Análisis del ciclo de vida técnico*

La metodología del ciclo de vida (ACV) se va a utilizar específicamente para dos propósitos: (a) determinar los costos relacionados a la propiedad, funcionamiento y disposición final del vehículo eléctrico y (b) determinar el consumo energético y las emisiones contaminantes durante el ciclo de vida del auto eléctrico. En la Tabla 10 se observan los costos que se identifican para la investigación que van desde la adquisición del auto eléctrico hasta el fin de su uso, no se revisará la producción de estos vehículos porque el Perú no es fabricante de autos ni de partes.

Asimismo, cabe mencionar que, aunque el precio de compra de los vehículos eléctricos disminuye constantemente a medida que progresa la tecnología de la batería, todavía es más caro que un auto equivalente con motor diésel. No obstante, se recomienda calcular el costo total de propiedad y todos los factores implicados que permitan hallar el verdadero costo de esta tecnología, el mismo que será de mucha utilidad en la investigación para la estructura de costos de las estrategias y diseños de cadena que se propondrán.

Tabla 10*Costo Total de Propiedad (TCO) de un Vehículo Eléctrico*

Tipos de costos	Detalle de cada tipo de costo
Costo de Adquisición	Costo de venta al por menor sugerido por los fabricantes* Impuesto vehicular
Costo de uso	Consumo de energía Instalación de punto de carga** SOAT Mantenimiento y reparaciones
Costo disposición final	Bono de Chatarreo Reciclaje de la batería, motor eléctrico, llantas, carrocería, etc.

Nota.

* Dependiendo de tu lugar de residencia, se puede optar por una subvención gubernamental

**Costo a incluir solo para el diseño de cadena PHEV.

3.3.4 Indicadores clave de desempeño de sostenibilidad

A continuación, se proponen indicadores para poder medir cómo el incremento de vehículos eléctricos puede lograr mejorar la sostenibilidad de la cadena del sector automotriz peruano. Los mismos que se clasifican en indicadores económicos y ambientales. Los indicadores ambientales que se proponen para evaluar la sostenibilidad de la cadena de suministros del sector automotriz están enfocados en medir las reducciones en emisiones de CO₂ generadas por un parque automotor eléctrico sugerido y monitorear la capacidad energética para su uso en dicho parque automotor (ver Tabla 11). Con estos dos indicadores se podrá medir si alguno de los diseños propuestos de cadena cumple con el aspecto ambiental de sostenibilidad.

Por otra parte, los indicadores económicos que se observan en la Tabla 12 están enfocados en medir los costos totales de propiedad de cada tipo de vehículo eléctrico *versus* el costo total de propiedad de un auto convencional para evaluar la conveniencia de cambiar a un auto eléctrico. Asimismo, se piensa medir la inversión pública hasta el 2025, año en que según el estudio de Viswanathan et al. (2020), los autos eléctricos equiparán en precio a los

convencionales. La inversión del Estado consta de dos conceptos: incentivos en forma de descuentos para la compra y mantenimiento e inversión en infraestructura de carga (en el caso del diseño BEV sugerido es necesario para su operatividad).

Tabla 11

Indicadores Ambientales

Objetivo	Indicador	Fórmula	Frecuencia	Meta
Medir la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (CO2) generadas por el parque automotor eléctrico	% de reducción de emisión CO2	(Emisiones parque automotor convencional / Emisiones generadas por el parque automotor eléctrico según diseño propuesto - 1) * 100%	Anual	40%
Medir la capacidad energética eléctrica para su uso en vehículos eléctricos	Capacidad energética utilizada para parque automotor eléctrico	Parque automotor eléctrico propuesto según diseño * Consumo energético del vehículo * Recorrido promedio anual auto en Lima (km)	Anual	9025 gigawatts

Tabla 12

Indicadores Económicos

Objetivo	Indicador	Fórmula	Frecuencia	Meta
Medir los costos generados en la vida útil del vehículo eléctrico.	Costo Total de Propiedad	Costo de adquisición + funcionamiento + disposición final.	Anual	= < costo vehículos convencionales
Cuantificar la inversión Pública hasta el 2025	Inversión Publica total	Incentivos económicos para los usuarios finales + Inversión en infraestructura	Anual	-

3.4 Recolección de los Datos

A continuación, se describe el procedimiento de recolección de datos que fortalece la investigación, por lo que en la fase inicial se realizó la recolección de información de fuentes secundarias para determinar el estado actual de conocimiento sobre el tema de investigación

y así formular variables que se encuentran directa o indirectamente relacionadas. Según Barbosa et al. (2013), esta etapa es la piedra angular de la organización sistemática de una investigación, ya que es una forma directa de enfocar y favorecer la labor de revisión de fuentes de información, en función de los tópicos relevantes de investigación. Para tal caso, se usaron base de datos oficiales gubernamentales referentes al desarrollo de la electromovilidad de países como Colombia, Chile, Noruega y México y para el análisis del Perú, se utilizó lo siguiente:

- Uso de fuentes primarias como estadísticas e investigaciones sobre el sector automotriz y la electromovilidad, elaboradas por institutos y asociaciones ligadas al sector como la AAP y la ARAPER.
- Uso de reportes e informes sobre las emisiones de carbono generadas por parte de la industria automotriz.
- Indicadores económicos del país relacionados al sector automotriz.
- Encuestas para aplicación de herramienta SMART para el cálculo de los atributos, desarrolladas por expertos del sector (ver Apéndice A).

3.5 Análisis de los Datos

Para el análisis de datos se utilizarán modelos matemáticos que permitirán analizar la información recolectada. Se usará Excel para el análisis de las estadísticas e investigaciones pasadas, a través de modelos matemáticos, y para poder hacer el cálculo matemático en base a las metodologías que se usarán para poder cuantificar los beneficios genera el uso de vehículos eléctricos para la sostenibilidad de la cadena de suministros. De la misma manera se usará un programa estadístico, específicamente el programa *Matlab*, el cual es un *software* especializado para realizar análisis estadístico, el cual servirá para realizar el análisis regresional y poder pronosticar las tasas de adopción de autos eléctricos para los próximos 10 años.

3.6 Resumen del Capítulo

La presente investigación, tendrá un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental longitudinal con alcance correlacional y buscará analizar la relación que tiene la adopción de autos eléctricos (variable independiente) con el diseño de la cadena y las estrategias seleccionadas. Como parte del estudio, la población seleccionada será el número de vehículos livianos (modelo SW) que se tiene en el país, centrando el estudio en la ciudad de Lima. Se utilizará para ello un análisis de regresión lineal múltiple que permitirá evaluar cómo afectan las variables seleccionadas a la tasa de adopción de autos eléctricos. Tanto el diseño como las estrategias serán llevadas a costos para poder cuantificar. De igual manera apoyados en la herramienta SMART, que permite ranquear diversos atributos que no pueden ser cuantificables, pero sí calificables y ponderados por un grupo de expertos, permitirá evaluar cuál es el beneficio agregado que tiene cada diseño.

Cuando se obtenga la tasa de adopción, esta permitirá pronosticar como la proporción de autos eléctricos en el tiempo va aumentando y como los indicadores de sostenibilidad varían en base a ello. Esto hará posible que se identifique cuál *mix* de diseño y estrategia genera un mayor beneficio a la sostenibilidad de la cadena de suministros, en base a ello se podrá seleccionar uno de los diseños y estrategia(s), sabiendo qué beneficios agregados traerá, qué costos se incurrirá y qué indicadores tendrá la elección adoptada.

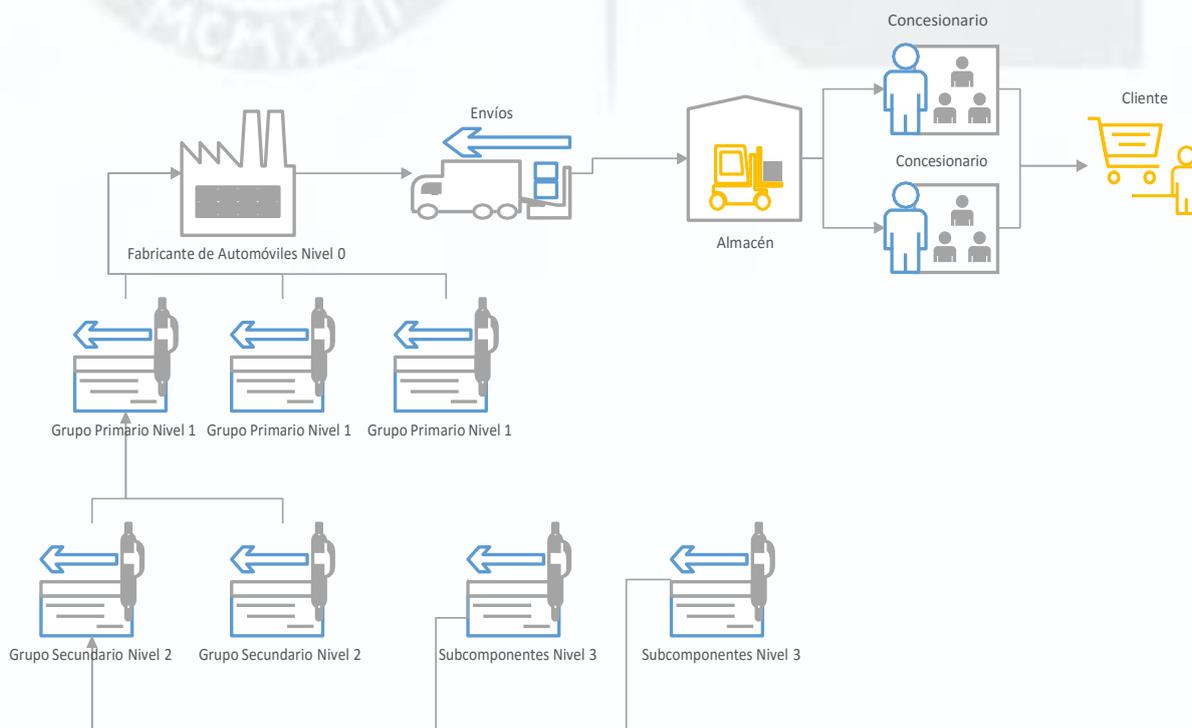
Capítulo IV. Resultados

4.1 Evaluación de la Cadena de Suministros del Sector Automotriz Convencional

Gobetto (2014) estableció una configuración con varios niveles en la cadena de suministro de la industria automotriz, que es replicada en la Figura 11, en la cual los proveedores de nivel 2 y 3 se encargan de producir componentes menores y piezas de tecnología a los proveedores de nivel 1 que producen partes modulares de los vehículos y componentes primarios. Los proveedores de nivel 1 deben tener una estrecha relación con la fábrica de ensamble final que se ubica en el nivel 0 y que se encargará de tener el producto final listo. Los vehículos terminados serán distribuidos de acuerdo con las demandas regionales y entregados a los distribuidores autorizados; dado que el Perú no es un país productor de vehículos, solo se ejercen labores comerciales para la venta y servicio postventa de vehículos a través de concesionarios de servicio que atienden al consumidor final.

Figura 11

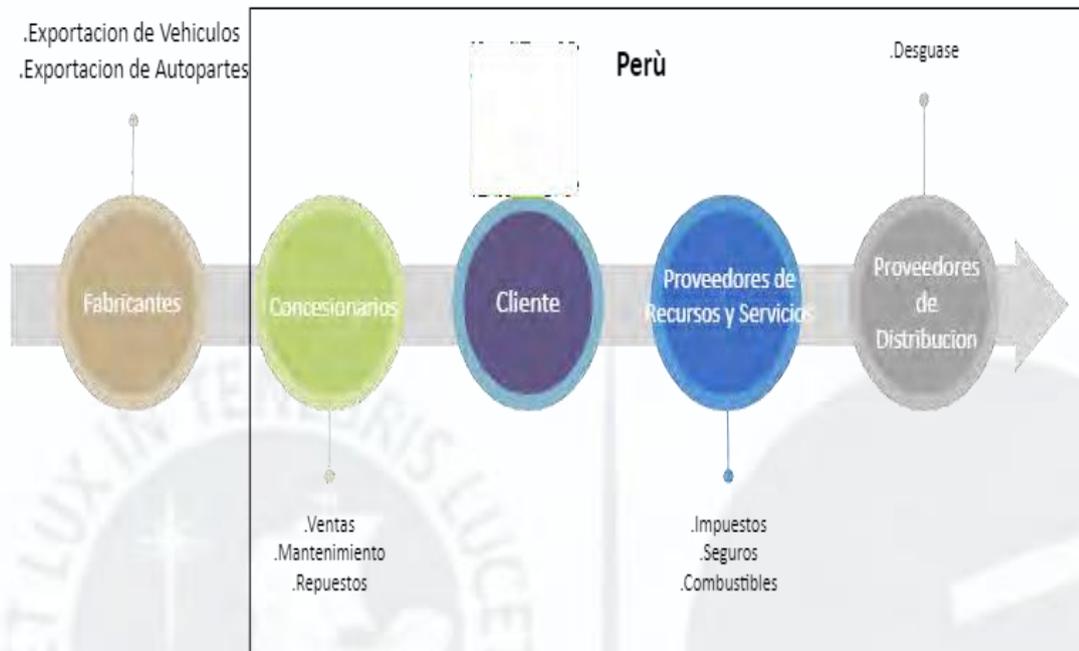
Cadena de Suministro del Sector Automotriz Convencional



Nota. Adaptado de "Operations Management in Automotive Industries" (p. 145), por Gobetto, 2014.

Figura 12

Estructura de la Cadena de Abastecimiento Automotriz en el Perú



En la Figura 12 se puede apreciar la cadena de suministro del sector automotriz del Perú, específicamente, en el primer eslabón de la cadena peruana, se tiene a los concesionarios que según su tipo pueden ser multimarca o manejo de marcas exclusivas. De acuerdo con la Asociación Automotriz del Perú (2020) los concesionarios más reconocidos son: Autoland, Auto Summit, Derco Center, Divemotor, Mitsui, Gildemeister, entre otros. De estos concesionarios se puede decir que no solo brindan el servicio de ventas de vehículos según sus marcas, sino en su mayoría brindan servicio de mantenimiento y venta de repuestos para sus marcas comercializadas.

En el segundo eslabón se identifican los clientes que bien pueden ser del tipo empresa o usuario final, siendo las ventas en Lima de automóviles en promedio de un 55% del total del Perú (Asociación Automotriz del Perú, 2020). En el tercer eslabón de la cadena proveedores de recursos y servicios se tiene a las empresas de seguro vehicular y Soat como son: Seguro Pacifico, Rímac, Mapfre, entre otras, que brindan protección para los vehículos

con una prima anual dependiendo del valor del vehículo y el riesgo evaluado del conductor adicional. El Soat se presenta de manera obligatoria para la circulación, además se tiene proveedores de combustibles como: Repsol, Prima, Petroperú, entre otros.

Aparte de los proveedores mencionados anteriormente se tiene a las entidades cobradoras de impuestos como la SAT para el cobro del impuesto vehicular, empresas de evaluación del servicio técnico y los agentes del Touring para evaluación de licencias de conducir. En el último eslabón, se tiene a las empresas que brindan el servicio de chatarreo o desguace de vehículos como, por ejemplo: Recipack y Ferrocas, entidades que luego del desguace del vehículo emiten certificados de destrucción vehicular al MTC para luego acceder a un bono económico no condicionada o condicionada a la renovación de su vehículo (Decreto Supremo N° 005-2021-MTC).

En cuanto a los costos totales de propiedad, la Asociación Automotriz del Perú (2019) estableció que el parque automotor tiene una edad promedio de 13.6 años, en el cual existen diversos actores que se requieren para la utilización del vehículo y que suministran tanto productos como servicios. Es necesario contar con empresas que abastezcan de combustible, servicios de mantenimiento y repuestos, los impuestos a los que está sujeto un vehículo nuevo y los seguros correspondientes.

Para ejemplificar el costo total se puede observar la Tabla 13 que muestra un ciclo de vida incluyendo el valor del bien y el costo de uso; para el ejemplo se utilizó el modelo Toyota Yaris, para el cual se resolvió que el costo total es de USD 41,059.54 antes de proceder a descharlo. En esta tabla se puede observar que el costo de propiedad es poco más de dos veces el valor del costo del vehículo.

Tabla 13*Costo Total de Propiedad Vehículo Sedan – Toyota Yaris*

Año	Valor del auto (\$)	Impuestos (\$)	Mantenimiento (\$)	Soat (\$)	Consumo gasolina (\$)	Total (\$)
1	15,556	156	500.00	29.00	1,259	17,499
2		156	500.00	29.00	1,259	1,944
3		156	500.00	29.00	1,259	1,944
4			500.00	29.00	1,259	1,788
5			500.00	29.00	1,259	1,788
6			500.00	29.00	1,259	1,788
7			500.00	29.00	1,259	1,788
8			500.00	29.00	1,259	1,788
9			500.00	29.00	1,259	1,788
10			500.00	29.00	1,259	1,788
11			500.00	29.00	1,259	1,788
12			500.00	29.00	1,259	1,788
13			500.00	29.00	1,259	1,788
14			500.00	29.00	1,259	1,788
Total	15,556	467	7000.00	406.00	17,631	41,060

4.1.1 Indicadores de la sostenibilidad

Dawidowski et al. (2014) expusieron los estudios realizados por el Comité de Gestión Iniciativa Aire Limpio Lima-Callao para las emisiones contaminantes por el parque automotor del año 2000 y considerando que la cantidad de vehículos ligeros en dicho año era de 988,484 de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014), se puede observar las siguientes emisiones anuales por vehículo ligero para ese período (ver Tabla 14).

Tabla 14*Emisión Vehicular Unitaria*

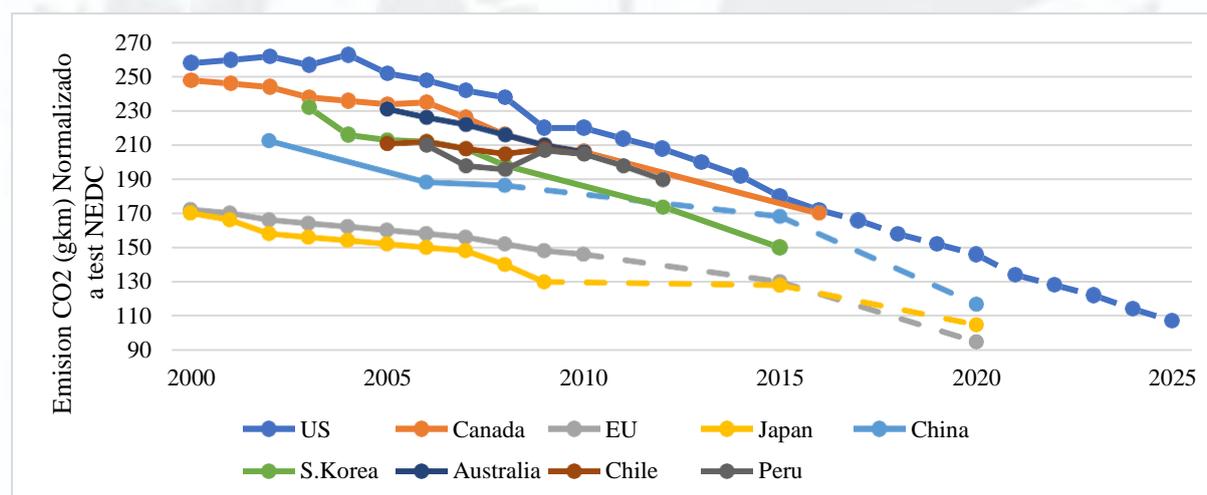
Categoría	CO2	CO	NOx	PM	SO2
Vehículo ligero	2.517	30.640	0.273	0.012	0.033

El Ministerio del Ambiente (2014) a través del informe sobre el seguimiento ambiental del mercado automotriz peruano presentó la comparación de emisiones de CO2 del

mercado peruano respecto de la situación internacional, en el cual se mostró que los países que optan por establecer políticas que fomenten la reducción de emisiones pueden lograr un impacto real; por lo cual el Perú debería seguir con esta tendencia. Según Ministerio del Ambiente (2014) bajo el tipo de prueba NDEC se recopiló la data presentada en la Figura 13, en la cual se hace un comparativo de la emisión de CO₂ que tiene el Perú en comparación de otros países, se puede observar que, de acuerdo con los niveles, se ubica casi al cuarto lugar, y que, debido a la migración a autos eléctricos por parte de los países más desarrollados, emisión tiende a bajar (ver Apéndice B).

Figura 13

Comparativo de Emisiones de CO₂ por País



Nota. Adaptado de “Seguimiento Ambiental del Mercado Automotriz Peruano” (p. 19), por Ministerio del Ambiente, 2014.

4.1.2 Situación actual de la cadena automotriz

Debido a la pandemia que ha generado el Covid-19, las importaciones de vehículos ligeros al país se redujeron drásticamente durante abril y mayo de 2020; específicamente en la Tabla 14 se muestra un restablecimiento paulatino en los meses siguientes hasta volver al flujo regular en setiembre. Mientras que las ventas anuales de dichos vehículos reflejan una caída del 26.2% en el 2020 respecto al 2019 (Asociación Automotriz del Perú, 2020). Sin

embargo, se espera que el 2021 se mantenga un ritmo estable dado que los indicadores económicos muestran signos de mejoría. El efecto de una pandemia tiene un impacto igual al de una crisis económica, donde las economías se enfrían. Fueron justamente los tres meses de confinamiento en los cuales las importaciones bajaron casi a un mínimo. En ese sentido, en la Figura 15 se puede observar cómo es la tendencia de las ventas en los últimos años. Se puede apreciar que de vender poco más de 10,000 automóviles se pasó a tener un pico de 163,000 unidades vendidas, esto también demuestra que existe un crecimiento del parque automotor. Se pasó de no tener una demanda mínima de autos nuevos versus la situación actual que es de más de 150,000 al año, sin contar los resultados de la pandemia previamente mencionados. Es importante recalcar que las ventas se redujeron en casi 40,000 unidades en comparación con lo vendido el año anterior.

Figura 14

Importación Mensual de Vehículos Ligeros

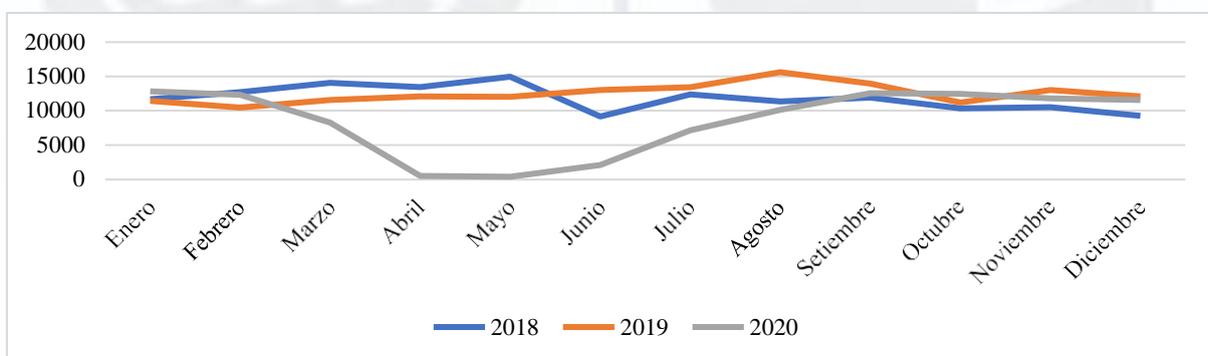
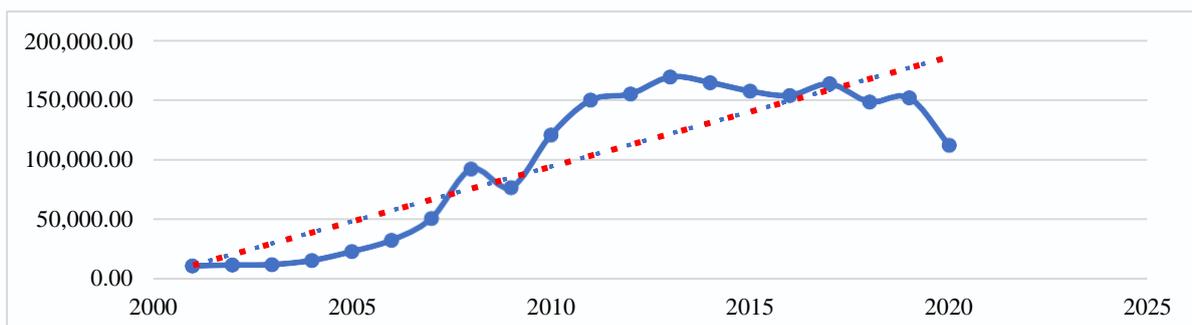


Figura 15

Ventas Anuales de Vehículos Ligeros



En la Tabla 15, se puede apreciar la evolución del crecimiento del parque automotor en forma porcentualmente año tras año, dando un promedio de crecimiento de 9% anual con un valor de casi 100,000 unidades. Aun así, se debe tener en cuenta que del 2001 al 2011 se tuvo un crecimiento exponencial, pero luego el crecimiento va siendo más lineal de forma ascendente con algunos años de menor crecimiento.

Tabla 15

Crecimiento Parque Automotor Perú 2001 - 2020

Año	Ventas	Crecimiento (%)
2001	11,402.00	
2002	12,061.00	5
2003	12,479.00	3
2004	15,919.00	22
2005	23,346.00	32
2006	32,876.00	29
2007	51,017.00	36
2008	92,359.00	45
2009	76,933.00	-20
2010	120,800.00	36
2011	150,037.00	19
2012	155,053.00	3
2013	169,490.00	9
2014	164,689.00	-3
2015	157,546.00	-5
2016	153,876.00	-2
2017	163,668.00	6
2018	148,390.00	-10
2019	151,988.00	2
2020	112,181.00	-35
Promedio	98,805.50	9

Tabla 16

Estadísticas de Regresión – Ventas 2001 - 2020

Estadísticas de la regresión	
Coficiente de correlación múltiple	0.872974698
Coficiente de determinación R ²	0.762084823
R ² ajustado	0.748867313
Error típico	31294.87581
Observaciones	20

En la Tabla 16 se puede observar los estadísticos de regresión obtenidos mediante Excel, aplicando la función de análisis de datos, regresión. Se puede ver que el R2 es mayor a 0.7. que señala que hay una correlación positiva. El error típico que es la desviación estándar es menor a la media, lo cual demuestra que no se tiene una gran dispersión de los datos.

Tabla 17

Coefficientes de la Ecuación de Regresión – Ventas Autos

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	- 18427692.00	2439878.9	1	-7.55	0.00	2355368	1330169	2355368
Variable X 1	9214.87	1213.56	7.59	0.00	6665.27	11764.47	6665.27	11764.47

Se puede ver que la ecuación que resulta del análisis de regresión es $Y = 9214X_1 - 1827692.0$, esto tomando en cuenta que se han considerado valores X desde el año 2001 en adelante. Esta ecuación permite estimar el porcentaje de crecimiento que se tendrá en el sector; particularmente, en Tabla 18 se presenta el crecimiento (con excepción del 2021 a consecuencia de las ventas perdidas por pandemia, es en promedio de un 4% anual).

Tabla 18

Estimación de Crecimiento del Mercado Automotor

Año	Ventas	Crecimiento
2021	195561.6421	43%
2022	204776.5128	4%
2023	213991.3835	4%
2024	223206.2541	4%
2025	232421.1248	4%
2026	241635.9955	4%
2027	250850.8662	4%
2028	260065.7368	4%
2029	269280.6075	3%

4.1.3 *Obsolescencia y destrucción*

A través del Decreto de Urgencia N° 029-2019 se establecieron incentivos para fomentar el chatarreo con la finalidad reducir el impacto ambiental que genera el sector automotor en el Perú a través de su renovación. Dicho decreto estableció un mecanismo que busca retirar o renovar los vehículos con una antigüedad mayor a 15 años y se destinarían 80 millones de soles para dicho propósito. Cabe mencionar que anterior a este decreto no se había establecido ninguna pauta que fomentara la renovación del parque automotor a través de la renovación. En febrero de 2021 se estableció el Decreto Supremo N° 005-2021-MTC el cual aprueba el reglamento nacional para el fomento del chatarreo, y presenta el procedimiento que deben seguir las entidades que ejercerán dicha función y los tipos de compensación para los usuarios, que podrán ser económicas o no económicas.

En el caso de las compensaciones económicas pueden estar sujetas a la renovación de un vehículo nuevo que genere menos emisiones y sea más eficiente, en el caso de no optar por la renovación del vehículo se le otorgará al usuario un monto de libre de disposición. Para el caso de las compensaciones no económicas se otorgarán puntajes para procesos de selección dirigidos a la implementación de sistemas de transporte público.

4.2 Escenarios de Estímulos Gubernamentales

Considerando los tipos de incentivos que han sido asumido en otros países, se pueden disgregar acorde a cómo afectan el costo de obtención del vehículo y al costo de mantenerlo. Dentro de los incentivos que afectan a la obtención, se encuentran las exclusiones de impuestos como el IVA, el Ad Valorem y los aranceles que impactan directamente a la recaudación que obtiene el gobierno por la obtención del bien sin afectar a las entidades privadas por la propia venta. Además de los incentivos que afectan al costo de mantenerlo como los impuestos vehiculares u otros beneficios que pueden estar impactando económicamente a entidades privadas como por ejemplo el estacionamiento gratuito.

Para poder cuantificar el efecto de implementar incentivos a estos vehículos se usará tres diferentes modelos de vehículos a fin de evaluar cómo impacta tanto a los consumidores como al Estado bajo la aplicación de diferentes estrategias. La primera iniciará con los incentivos en la adquisición del vehículo, la segunda implementando incentivos para mantener el vehículo durante el tiempo de vida y la tercera será implementando incentivos tanto en obtenerlo como en mantenerlo.

En el caso de la estrategia 1 como se puede observar en la Tabla 19, la reducción de los impuestos en un 22% que son la exoneración del Ad Valorem y el IVA se trasladaría en ahorros para los consumidores, reduciendo los precios de venta de los vehículos y haciéndolos más atractivos para el mercado. Para dicho propósito, el Estado dejaría de recaudar USD 7,363 por cada vehículo vendido del modelo Hyundai Ioniq, USD 7,704 por cada vehículo vendido del modelo Chevrolet Volt y USD 5,696 por cada Toyota Prius vendido en el mercado peruano.

Tabla 19

Variación de Costos del Escenario 1: Incentivos en la Adquisición

Estrategia 1	Hyundai Ioniq (\$)		Chevrolet Volt (\$)		Toyota Prius (\$)	
	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con
	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos
Precio FOB	29,000	29,000	30,344	30,344	22,437	22,437
Ad Valorem	6%	0%	6%	0%	6%	0%
IVA	16%	0%	16%	0%	16%	0%
IPM	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Margen concesión	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Precio venta final	39,901	32,538	41,750	34,046	30,871	25,174

Para la estrategia 2, según se muestra en la Tabla 20 la reducción del impuesto vehicular a un 2% y otorgando un descuento en el impuesto a la renta anual de un 10% en el año de adquisición del vehículo, generaría ahorro en los consumidores al obtener beneficios en los impuestos una vez comprado el auto y que son mandatorios para cualquier otro vehículo. Para dicho propósito el consumidor ahorraría USD 3,192 por cada vehículo vendido del modelo Hyundai Ioniq, USD 3,340 por cada vehículo vendido del modelo Chevrolet Volt y USD 2,470 por cada Toyota Prius vendido en el mercado peruano.

Tabla 20

Variación de Costos del Escenario 2: Incentivos en Mantener

Estrategia 2	Hyundai Ioniq (\$)		Chevrolet Volt (\$)		Toyota Prius (\$)	
	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con
	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos
Precio venta	39,901	39,901	41,750	41,750	30,871	30,871
Impuesto Vehicular	3%	2%	3%	2%	3%	2%
Dcto Impuesto Renta	0%	10%	0%	10%	0%	10%
Costo de mantener	1,197	-3,192	1,252	-3,340	926	-2,470

En la estrategia 3, la combinación de incentivos tanto en la compra como el mantenimiento del vehículo sería mucho más atractivo para los consumidores; tomando en cuenta que los beneficios no solo son establecidos en el momento de la compra, sino que trascienden durante el uso efectivo del vehículo. Sin embargo, se deberían evaluar todas las implicancias que se requerirán para implementar dichos sistemas de incentivos que ya han funcionado en otros mercados a nuestro país (ver Tabla 21).

Tabla 21*Variación de Costos del Escenario 3: Mixto*

Estrategia 3	Hyundai Ioniq (\$)		Chevrolet Volt (\$)		Toyota Prius (\$)	
	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con
	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos	Incentivos
Precio FOB	29,000	29,000	30,344	30,344	22,437	22,437
Ad Valorem	6%	0%	6%	0%	6%	0%
IVA	16%	0%	16%	0%	16%	0%
IPM	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Margen concesión	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Precio venta final	39,901	32,538	41,750	34,046	30,871	25,174
Ahorro por adquirir	0	7363	0	7704	0	5696
Impuesto Vehicular	3%	2%	3%	2%	3%	2%
Dcto Impuesto	0%	10%	0%	10%	0%	10%
Renta						
Costo de mantener	1,197	-2,603	1,252	-2,724	926	-2,014
Ahorro Total	1,197	9,966	1,252	10,427	926	7,710

4.3 Selección y Evaluación de Diseño**4.3.1 Diseño 1 – Autos eléctricos BEV y cargadores públicos**

El primer diseño propuesto de cadena está representado por los vehículos completamente eléctricos con uso de cargadores públicos que deberían ser instalados por el gobierno. A continuación, se determina el costo total de propiedad por el uso de un vehículo eléctrico. En la Tabla 22 se visualizan los costos detallados al adquirir un auto 100% eléctrico en el transcurso de su vida, el primero es el relacionado con la adquisición del vehículo donde se encuentra el costo de venta del vehículo y el impuesto vehicular del 1% que se paga los tres primeros de años.

En los costos de funcionamiento se considera el consumo de energía eléctrica que se calculó tomando el precio de la electricidad de S/ 0.71 por kilovatio/hora (Kwh) y multiplicándolo por el consumo medio homologado de 15.4 kwh/100 km considerando un recorrido anual promedio en Lima de 22,381 km (Se está considerando un tipo de cambio de

3.7 soles). Llegando a obtener un costo anual por electricidad para carga de USD 661.39. Asimismo, se ha considerado el mantenimiento preventivo anual, cuyo costo ronda los USD 500 para un auto convencional de diésel o gasolina, pero en el caso de los vehículos eléctricos el costo de mantenimiento puede llegar a ser hasta un 35% menos que para un auto convencional (“Según PEUGOT: Mantenimiento de un coche eléctrico”, 2020). Este valor convertido a dólares se calcula en USD 325 al año y por un período de 14 años se está hablando de un valor aproximado a los USD 4,550.

Tabla 22

Costo de un Auto Eléctrico Modelo Hyundai Ioniq

Año	Valor del auto (\$)	Impuestos (\$)	Mantenimiento (\$)	Seguro (\$)	Consumo energía (\$)	Bono chatarreo (sugerido) (\$)	Reciclaje (Sugerido) (\$)	Total (\$)
1	39,900	399	325	29	661			41,314
2		399	325	29	661			1,414
3		399	325	29	661			1,414
4			325	29	661			1,015
5			325	29	661			1,015
6			325	29	661			1,015
7			325	29	661			1,015
8			325	29	661			1,015
9			325	29	661			1,015
10			325	29	661			1,015
11			325	29	661			1,015
12			325	29	661			1,015
13			325	29	661			1,015
14			325	29	661	-9,240	-876	-9,100
	39,900	1,197	4,550	406	9,259	-9,240	-876	45,197

Sobre la disposición final se consideró el bono de chatarreo que aplica Chile para incentivar la adquisición de vehículos 100% eléctrico. En el caso del reciclaje, se consideró la chatarra vehicular por un precio de \$/.2 cada kilo y por un peso de 1,620 kilos sin considerar el peso de la batería (350 kilos). En el caso de la batería al ser de litio no se están

considerando en la disposición final, ya que localmente no se encontró demanda por chatarra de este tipo en las páginas de mercado libre y OXL.

Cabe mencionar que la parte de disposición final es una propuesta surgida de la investigación, la cual aunada a estrategias en incentivos económicos (por ejemplo, exenciones de impuestos) y facilidades de acceso podrían potenciar el crecimiento de un parque automotor eléctrico. Así como, se determinó el costo total de propiedad del vehículo eléctrico, también es necesario calcular el costo de los cargadores públicos que servirán para la carga de energía y los cuales deberían ser instalados por el gobierno (ver Tabla 23).

Tabla 23

Costo de la Infraestructura de Carga en el 2018

	Costo promedio del cargador (\$)	Costo promedio de la mano de obra (\$)	Otros costos (\$)	Costo promedio total (\$)
Nivel 1 AC	500-1,000	-	-	500-1,000
Nivel 2 AC (Residencial)	2,000-2,500	1,200-1,500	100	3,300-4,100
Nivel 2 AC (Pública)	2,500-3,000	1,800-2,200	500	4,800-5,700
Carga DC (Pública) 50kw	20,000-25,000	9,000-11,000	500	29,500-36,500
Carga DC (Pública) 150kw	30,000-35,000	12,000-14,000	500	42,500-49,500
Carga Inductiva	3,500-4,000	NA	NA	3,500-4,000

En la Tabla 23, se muestran los rangos de precios de la oferta de cargadores para casa/oficinas y públicos. Según Isla et al. (2019) los cargadores DC están referidos a la carga de corriente directa, misma que representa el modelo de carga más rápido disponible en el mercado. El cargador opera a 480V y la batería se recarga en menos de 30 minutos. Las estaciones de carga DC se instalan únicamente en lugares públicos que cuentan con la infraestructura necesaria para su operación. Estos son los que se deben instalarse en Lima.

Para el cálculo de cargadores que requiere Lima se usó *Benchmarking* y se consideró a la ciudad de Bogotá - Colombia como una referencia de lo que se quiere tener para el 2030, ya que dentro de su Plan Nacional de Electromovilidad tienen como objetivo tener 600,000 autos eléctricos en circulación para ese año. Colombia es uno de los países que ha estado en la vanguardia de la implementación del transporte sostenible. En 2018, rompió el récord con más de mil vehículos eléctricos circulando, alcanzando la cifra más alta en la región. Cabe destacar que el parque automotor en Bogotá es casi el doble de Lima (5,9 millones de vehículos), su densidad poblacional es de 7.18 millones de habitantes y su sistema de transporte es el más grande de Colombia y se realizan para el 2017 cerca de 12,2 millones de viajes diarios. El número de cargadores que tiene Bogotá son 49, cantidad que se sugerirá instalar en Lima, que multiplicado por el costo promedio total de infraestructura se está hablando de una inversión de casi USD 1'470,000 en estaciones de carga DC -50kw y USD 2'100,000 en estaciones de carga DC -150kw.

4.3.2 Diseño 2 – Autos eléctricos PHEV y carguío en casa

Para el siguiente diseño de cadena se realizará una evaluación de costos correspondientes al tipo de auto PHEV, que son los autos híbridos enchufables y con un sistema de recarga en hogares. Para realizar un análisis de costo de este tipo de vehículo se ha tomado como referencia el auto de General Motors con el modelo Chevrolet Volt, por lo que a continuación, se muestran los costos asociados a este tipo de auto híbrido enchufable:

Para obtener el costo de venta tentativo que podría tener este tipo de auto en Perú se investigaron los precios de estos coches en Latinoamérica como México o Chile, dado que allá ya lo comercializan. Se identificó que en México tiene un costo de USD 42,500 (Chevrolet, 2021) y en Chile su costo es de USD 41,000 según distribuidores de la marca como (Auto-Cosmos, 2021); por lo tanto, se ha establecido un precio promedio de USD 41,750 para el análisis de costo del diseño, este se puede apreciar en la Tabla 24.

Tabla 24*Costo de un Auto Eléctrico Modelo Chevrolet Volt*

Año	Valor del auto (\$)	Punto de carga (\$)	Impuestos (\$)	Mantenimiento (\$)	SOAT (\$)	Consumo energía (\$)	Bono chatarreo (Sugerido) (\$)	Reciclaje (Sugerido) (\$)	Total (\$)
1	41,750	1,200	418	671	29	1,309			45,377
2			418	671	29	1,309			2,427
3			418	671	29	1,309			2,427
4				671	29	1,309			2,010
5				671	29	1,309			2,010
6				671	29	1,309			2,010
7				671	29	1,309			2,010
8				671	29	1,309			2,010
9				671	29	1,309			2,010
10				671	29	1,309			2,010
11				671	29	1,309			2,010
12				671	29	1,309			2,010
13				671	29	1,309			2,010
14				671	29	1,309	-2,200	-869	-1,059
Total	41,750	1,200	1,253	9,400	406	18,330	-2,200	-869	69,270

Para el costo de instalación de un punto de recarga en el hogar se ha tomado como referencia el tipo Walbox y la lista de precios de compañías como CargaCar, Simplee Easee oficial partner donde el costo de instalación del servicio completo de punto de recarga está en promedio entre los USD 1,200 y los USD 1,500. Respecto al costo de funcionamiento anual que tiene este modelo de automóvil se tomó como referencia el consumo de energía requerido por el automóvil según ficha técnica de General Motors, y para los precios de gasolina y tarifa de Energía eléctrica, se ha tomado como referencia la lista de precios histórica mencionados por Osinergmin y Luz del Sur/Enel.

Respecto al costo de mantenimiento, se estimó de acuerdo con el plan de mantenimiento brindado por el fabricante donde especifica que cada 12,000 km se debería realizar un cambio de ruedas, cada 3,600 km un cambio de filtro y cada 240,000 km el reemplazo de líquido refrigerante. Sobre la disposición final se propone también considerar un bono de chatarreo para vehículos híbridos como lo hace Chile, cuyo valor es de USD 2,200, mucho menor que para un auto 100% eléctrico.

Asimismo, de acuerdo al peso se calculó el valor de reciclaje del vehículo (1,607 kilos). En resumen, para el diseño 2 se tiene un costo total de propiedad considerando el tiempo de vida útil de un auto en el país (14 años) de USD 69,270.35. Se resalta que la instalación de estaciones enchufables en las calles de Lima no aplica a este diseño, ya que se están manejando la instalación de recargas en los hogares por medios propios.

4.3.3 *Diseño 3 - Autos eléctricos HEV*

Para el siguiente diseño de cadena se realizará una evaluación de costos correspondientes al tipo de auto HEV, que son los autos híbridos que se caracterizan por incluir un motor principal de combustión y otro eléctrico, aunque a diferencia de los vehículos puramente eléctricos, en este caso no es necesario cargar la batería a través de una fuente externa, sino que se alimenta de la propia energía que genera el auto. Para realizar un análisis de costo de este tipo de vehículo se ha tomado como referencia el auto de Toyota modelo Prius; por lo que a continuación, se muestran los costos asociados a este tipo de auto híbrido: Esta estructura de costo se asemeja mucho al del vehículo híbrido enchufable que se explicó en el punto 4.3.2, con la excepción del punto de carga (ver Tabla 25).

Como se puede observar en la Tabla 25, el costo para este diseño HEV es bastante parecido al del auto convencional en el uso de energías fósiles y con el auto PHEV en el uso de dos motores, uno a combustión y otro eléctrico, por lo que se está considerando el mismo

valor de mantenimiento preventivo anual. El costo total de propiedad durante los 14 años de vida útil es USD 56,057.76.

Tabla 25

Costo de un Auto Eléctrico Modelo Toyota Prius

Año	Valor del auto (\$)	Impuestos (\$)	Mantenimiento (\$)	SOAT (\$)	Consumo energía (\$)	Bono chatarreo (Sugerido) (\$)	Reciclaje (Sugerido) (\$)	Total (\$)
1	30,870	309	671	29	1,259			33,139
2		309	671	29	1,259			2,269
3		309	671	29	1,259			2,269
4			671	29	1,259			1,960
5			671	29	1,259			1,960
6			671	29	1,259			1,960
7			671	29	1,259			1,960
8			671	29	1,259			1,960
9			671	29	1,259			1,960
10			671	29	1,259			1,960
11			671	29	1,259			1,960
12			671	29	1,259			1,960
13			671	29	1,259			1,960
14			671	29	1,259	-2,200	-976	-1,216
TOTAL	30,870	926	9,400	406	17,631	-2,200	-976	56,058

4.3.4 Comparativo de costos de los diseños propuestos

Después de haber desarrollado el costo total de propiedad de cada diseño se realiza un comparativo para determinar cuál se presenta como la mejor opción en términos económicos. En el comparativo que se visualiza en la Tabla 26, se identifica que la opción de tener una cadena de suministro del sector automotriz basada en vehículos 100% eléctricos es la más cara debido a la importante inversión inicial que el Estado peruano debe realizar en la implementación de estaciones de carga públicas.

Tabla 26*Comparativo de Costos de los Diseños Propuestos*

Costos de propiedad	Diseños por tipos de autos			
	Convencional (\$)	BEV (\$)	PHEV (\$)	HEV (\$)
Costo total de adquisición	16,022	41,097	43,003	31,796
Costo total de funcionamiento	25,037	14,215	29,337	27,437
Disposición final sugerida		-10,116	-3,069	-3,176
Costo total de propiedad	41,060	45,197	69,270	56,058

Nota. Para la comparación se consideró el tiempo promedio de vida útil de automóviles en el Perú: 14 años.

Pero si solo se toman en cuenta los costos de los vehículos, se puede observar que el costo total de propiedad del BEV durante una vida útil de 14 años es solo 9% mayor que el costo total de propiedad de un auto convencional, asimismo, si se implementaran las estrategias sugeridas en la investigación, se considera que el costo de los BEV podría reducir aún más. Por otro lado, el diseño de cadena que incluye autos híbridos que no requieren de estaciones de carga se presenta como la opción más económica con respecto a su similar enchufable.

Se debe mencionar que en el diseño 2 del auto PHEV se están proponiendo puntos de recargas propios en hogares, lo cual también incrementa el costo de propiedad. Además, es preciso considerar que la diferencia de precio entre la opción híbrida e híbrida enchufable es de aproximadamente 20%. Si bien es cierto en el Perú, se cuenta con un pequeño parque automotor eléctrico (Asociación Automotriz del Perú, 2020), el 95% del mismo corresponde a autos híbridos y revisando que esta opción no requiere de estaciones de carga, podría representar el punto de partida para promover más esta tecnología.

4.3.5 Análisis Smart

Para la ejecución del SMART se analizaron nueve costos, que abarcaban los costos de cada diseño de cadena de suministros, enfocándose en el costo total de propiedad, por lo que cada diseño era enfrentado a los tres escenarios que se plantearon, asumiendo los nueve costos mencionados; este análisis se puede observar en la Tabla 27.

Tabla 27*Comparativo Diseños y Escenarios Cadena Suministros*

Diseños de cadena	TCO – Escenario 1 (\$)	TCO – Escenario 2 (\$)	TCO – Escenario 3 (\$)
Diseño 1: BEV	37,834	42,005	35,231
Diseño 2: PHEV	61,566	65,930	58,843
Diseño 3: HEV	50,362	53,588	48,348

En base al instrumento de recolección de información preparado, se encuestó a expertos en la materia para que pudieran evaluar cada diseño en relación con los seis atributos que se definieron en la metodología SMART. En la Tabla 28 se puede observar la calificación que recibió cada diseño con relación a cada atributo y las calificaciones de cada experto fueron promediadas para dar un único valor.

Tabla 28*Calificación de Diseños según Atributos*

	Seguridad	Gestión de mantenimiento	Adaptabilidad	Autonomía	Tiempo de carga	Experiencia Conducción
Diseño 1 - BEV	91	80	78	89	93	84
Diseño 2- PHEV	82	78	67	76	82	73
Diseño 3-HEV	62	62	47	56	27	51

Asimismo, cada experto asignó una calificación a cada uno de los seis atributos que se definieron, para poder identificar tal y como se muestra en la Tabla 29 la importancia que tiene cada atributo para los autos eléctricos, destacando la seguridad y autonomía del vehículo. En base a la ponderación dada para cada atributo en la Tabla 30 se puede observar que esta ponderación se enfrentó con el puntaje que obtuvo cada diseño con lo cual se pudo encontrar el puntaje que cada diseño de cadena de suministros obtuvo, estando en primer lugar el diseño 1 de autos eléctricos BEV, luego el diseño 2 y por último el diseño 3.

Tabla 29*Normalización de Pesos según Atributos*

Atributos	Pesos	Pesos (%)
Seguridad	52	17
Gestión de mantenimiento	30	10
Adaptabilidad	40	13
Autonomía	49	16
Tiempo de carga	70	23
Experiencia conducción	60	20
Total	301	100.00

Tabla 30*Valores Obtenidos por Cada Diseño*

Diseño 1 - BEV		Diseño 2- PHEV		Diseño 3-HEV	
Valores	Valor * Peso	Valores	Valor * Peso	Valores	Valor * Peso
91	16	82	14	62	11
80	8	78	8	62	6
78	10	67	9	47	6
89	14	76	12	56	9
93	22	82	19	27	6
84	17	73	15	51	10
	87		77		49

En la Tabla 31 se puede observar el cuadro final que resulta luego de aplicar la metodología SMART, donde se pueden apreciar los costos totales y el puntaje obtenido por expertos para cada uno de los escenarios. En el caso del puntaje que se obtiene por los beneficios agregados de cada diseño, este se replica para los tres escenarios, ya que en la evaluación hecha por experto fue calificado únicamente el diseño.

Tabla 31*Resumen Evaluación Costo y Atributos*

Diseños de cadena	Costo Total Propiedad (\$)	Valor de Beneficios
D1 BEV - Escenario 1	37,834	87
D1 BEV - Escenario 2	42,005	87
D1 BEV - Escenario 3	35,231	87
D2 PHEV - Escenario 1	61,566	77
D2 PHEV - Escenario 2	65,930	77
D2 PHEV - Escenario 3	58,843	77
D3 HEV - Escenario 1	50,362	49
D3 HEV - Escenario 2	53,588	49
D3 HEV - Escenario 3	48,348	49

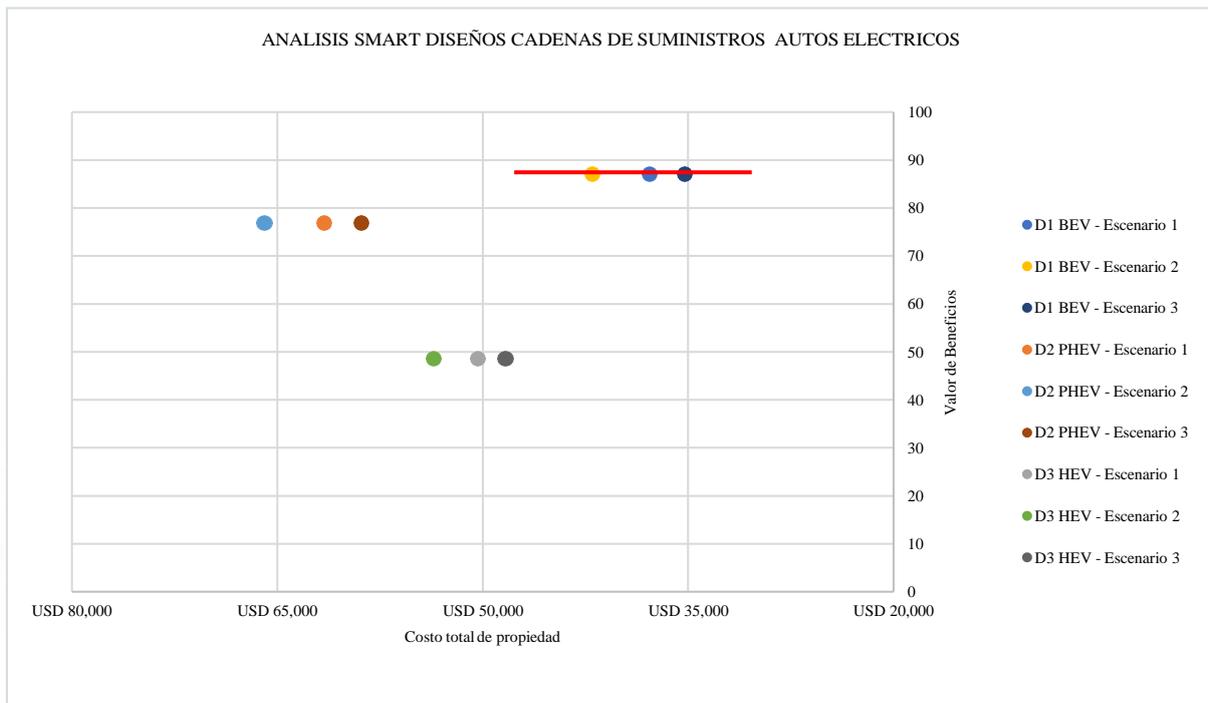
En la Figura 16 se pueden observar los puntos que se han obtenido en el gráfico, presentando en el eje X el costo total de propiedad de cada diseño y escenario y en el eje Y el punto obtenido por los beneficios agregados. A su vez, se dibujó en rojo la frontera de eficiencia, donde se pueden encontrar los tres escenarios que tienen un mejor puntaje entre costo y beneficios agregados. Estos tres escenarios corresponden al diseño número 1 que es de autos 100% eléctricos. Este resultado se da porque a pesar de que el costo de adquisición de un auto eléctrico es mucho más costoso que un auto PHEV o HEV, el beneficio se ve principalmente reflejado en los ahorros que se obtienen al momento de ser usado el vehículo, ya que el auto eléctrico BEV no requiere consumir gasolina como en los otros dos tipos de modelos presentes en los otros diseños.

Por otra parte, el costo de la energía en la región es competitiva y también gran parte de su fuente proviene de energías renovables como las hidroeléctricas, solares o eólicas. En segundo lugar, se encuentran los autos PHEV que pueden funcionar con energía eléctrica y también mediante el uso de combustible. Por último, los autos HEV, que son autos que consumen combustible pero que aprovechan las desaceleraciones para cargar baterías eléctricas, se encuentran en el último lugar, ya que a pesar de que hay un ahorro por el

aprovechamiento de las energías que genera este automóvil, sigue requiriendo consumir gasolina como un carro convencional.

Figura 16

SMART – Frontera de Eficiencia



4.3.6 Análisis de regresión

Para el análisis de regresión y hallar la tasa de adopción que tomaran los tres diseños en conjunto con sus tres escenarios se recabo información de México, Colombia y Chile, el cual el mercado automovilístico es bastante parecido al peruano, teniendo data de evolución de las tasas de adopción de los últimos 5 años.

En la Figura 17, se puede observar como la tasa de adopción se incrementa acorde a los años que van transcurriendo y que las variables que explican el incremento se están dando por el mercado, podríamos inferir que el modelo le corresponde una serie de tiempo del tipo regresión y que la variable X1 puede ser atribuida al mercado, pero luego en esta investigación se ha analizado que también este incremento se viene dando por una disminución en los costos de producción de estas tecnologías siendo más competitivo en el

mercado automotriz teniendo como segunda variable(X2) la relación costo total de propiedad auto eléctrico-convencional afecta a nuestra variable respuesta(Ta). Teniendo la siguiente ecuación para autos eléctricos:

$$Ta = -0.721 + 0.455 * X1 + 0.01326 * X2$$

Variables:

- X1: Año correspondiente empezando el 2017 como primer año hacia adelante.
- X2: Relación CTP auto eléctrico sobre convencional.

El análisis de regresión y el ajuste del modelo, se puede mencionar que la variable respuesta (Tasa de adopción) es explicada hasta un 99.30% por las variables independientes (X1, X2). Se debe de considerar que el análisis de regresión arrojo lo siguientes resultados:

- S = 0.0009288
- R² = 99.30%
- R² Ajustado = 97.91%

Figura 17

Tasa de Adopción de Vehículos Eléctricos Ligeros

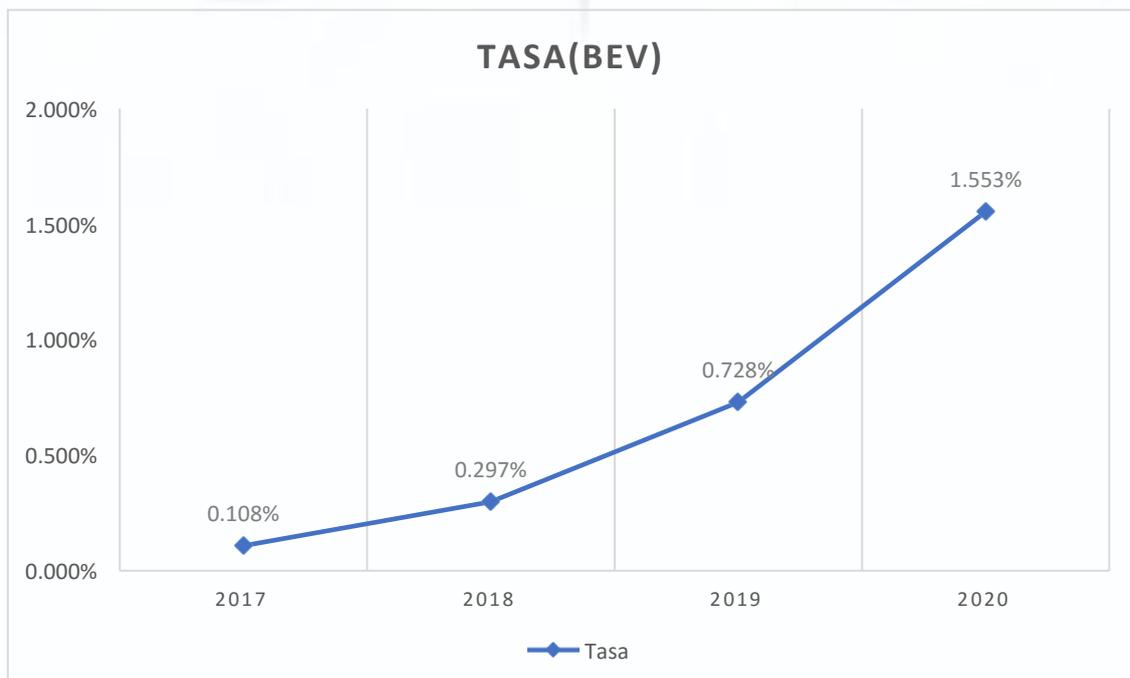


Tabla 32*Ventas y Tasas de Adopción de un Vehículo Eléctrico (BEV) según CTO*

Año	Ctp-Bev	Ctp-convencional	Relación	Venta bev(eléctricos)	Tasa
2017	51,304	32,978	1.556	136	0.108%
2018	49,704	32,418	1.533	390	0.297%
2019	48,744	32,258	1.511	923	0.728%
2020	47,944	31,942	1.501	1314	1.553%

En la Figura 17, se puede observar como la cantidad vendida por año incrementa año a año, si bien en el estudio podríamos inferir que el modelo le corresponde una serie de tiempo del tipo regresión y que la variable X1 podría explicar el comportamiento en el futuro de la tasa de adopción, por lo mencionado anteriormente se puede decir que también esta se encuentra afectada por la variable de relación de costo total de propiedad entre auto híbrido enchufable y convencional.

Teniendo la siguiente ecuación para autos PHEV:

$$Ta = -0.0011 + 0.000342 * X1 + 0.00065 * X2$$

Variables:

X1: Año correspondiente empezando el 2016 como primer año hacia adelante.

X2: Relación CTP híbrido sobre convencional.

El análisis de regresión y el ajuste del modelo, se puede mencionar que la variable respuesta (Tasa de adopción) es explicada hasta un 88.25% por las variables independientes (X1, X2). Se debe de considerar que el análisis de regresión arrojó los siguientes resultados:

- $S = 0.0002910$
- $R^2 = 88.25\%$
- $R^2 \text{ Ajustado} = 76.49\%$

Tabla 33

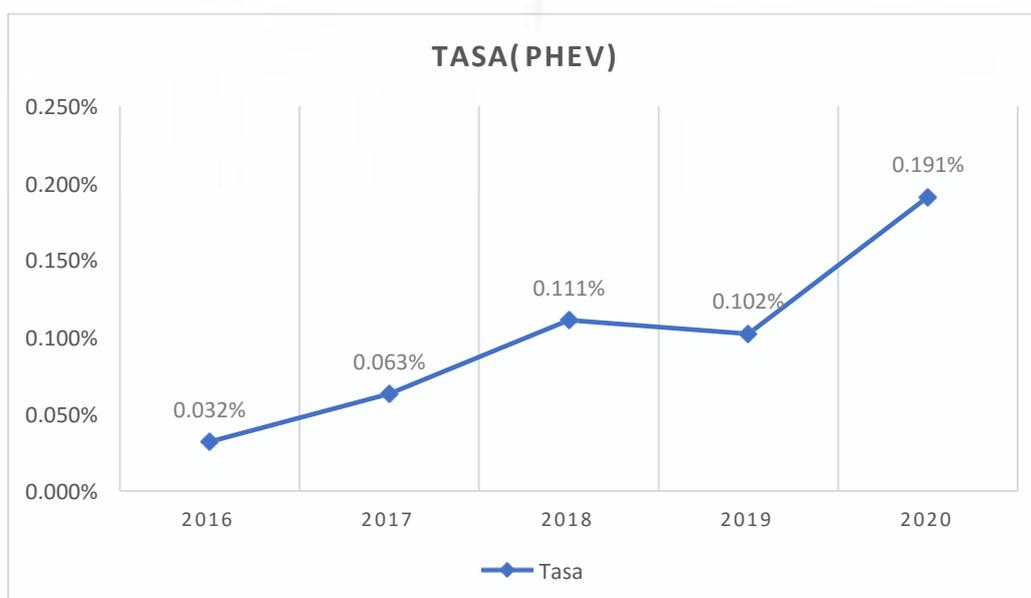
Ventas y Tasas de Adopción de un Vehículo Eléctrico (PHEV) según CTO

Año	CTP PHEV	CTP Convencional	Relación	PHEV (Plug in Híbridos)	Tasa (%)
2016	52,073	32,210	1.617	521	0.032
2017	50,777	31,993	1.587	968	0.063
2018	50,034	30,646	1.633	1,584	0.111
2019	50,686	30,486	1.663	1,339	0.102
2020	49,575	29,370	1.688	1,817	0.191

En la Figura 18, se puede observar como la cantidad vendida por año incrementa año a año, si bien en el estudio podríamos inferir que el modelo le corresponde una serie de tiempo del tipo regresión y que la variable X1 podría explicar el comportamiento en el futuro de la tasa de adopción. Por lo mencionado anteriormente se puede decir que también esta se encuentra afectada por la variable de relación de costo total de propiedad entre auto híbrido y convencional.

Figura 18

Tasa de Adopción de Vehículos Híbridos Enchufables Ligeros



Teniendo la siguiente ecuación para autos HEV:

$$Ta = 0.0784 + 0.0847 * X1 + 0.00635 * X2$$

Variables:

X1: Año correspondiente empezando el 2016 como primer año hacia adelante.

X2: Relación CTP híbrido sobre convencional.

El análisis de regresión y el ajuste del modelo, se puede mencionar que la variable respuesta (Tasa de adopción) es explicada hasta un 99.69% por las variables independientes.

Se debe de considerar que el análisis de regresión arrojó los siguientes resultados:

- $S = 0.0002910$
- $R^2 = 99.69\%$
- $R^2 \text{ Ajustado} = 99.37\%$

Tabla 34

Ventas y Tasas de Adopción de un Vehículo Eléctrico (HEV) según CTP

Año	ctp-hev	Ctp-convencional	Relación	Venta de HEV	Tasa (%)
2016	36,959	32,210	0.944	7,490	0.466
2017	36,998	31,993	0.999	9,349	0.609
2018	33,826	30,646	1.001	16,022	1.123
2019	31,711	30,486	0.991	23,964	1.818
2020	29,743	29,370	1.013	22,139	2.332

Eventualmente se ha dado como resultado tres ecuaciones para los tres diseños planteado en el trabajo, se realizará la operación para obtener la tasa de adopción futura.

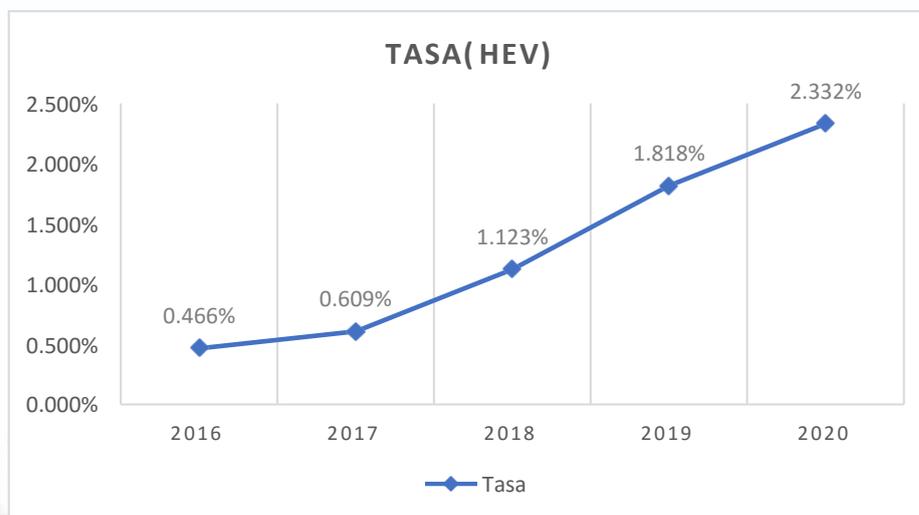
Tabla 35

Tasas de adopción en los escenarios planteados 1er año.

Diseños de cadena	TCO – Escenario 1 (%)	TCO – Escenario 2 (%)	TCO – Escenario 3 (%)
Diseño 1: BEV	2.21	2.22	2.21
Diseño 2: PHEV	0.19	0.20	0.18
Diseño 3: HEV	1.30	0.62	1.72

Figura 19

Tasa de Adopción de Vehículos Híbridos Ligeros



4.4 Indicadores de Sostenibilidad

4.4.1 Indicadores ambientales

Después de haber obtenido las tasas de adopción de autos eléctricos según el diseño de cadena y estrategias, se procedió a proyectar los indicadores ambientales para los próximos 10 años. Como se había mencionado en el capítulo 3 los indicadores que se van a medir son: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂) generadas por el parque automotor eléctrico y la capacidad de energía eléctrica para uso en vehículos eléctricos.

- **Indicador 1: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂)**

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = \frac{\text{Emisiones parque automotor convencional}}{\text{Emisiones generadas por el parque automotor eléctrico según diseño propuesto}} - 1$$

Para poder desarrollar el indicador se ha tenido que obtener previamente la siguiente información que se presenta en la Tabla 36. Luego, se procedió a proyectar el parque automotor peruano para los próximos años. Para proyectar el crecimiento anual del parque se consideró la tasa de crecimiento del 4% antes de la pandemia para no sesgar la proyección,

asimismo, se restó la cantidad de autos que se retiran del parque automotor cada año, lo que dio como resultado el parque automotor total de Lima para los próximos 10 años (ver Apéndice C).

A ese total de parque automotor proyectado, se le multiplica la tasa de adopción de vehículos eléctricos, luego se obtienen las emisiones totales considerando la parte que incluye los vehículos eléctricos, asimismo, se calcula las emisiones de un parque totalmente diésel y se hace la estimación del porcentaje de reducción de CO₂ (ver Apéndice D).

Tabla 36

Datos para el Indicador

Parque automotor Lima total 2018	2'894,327
Porcentaje de crecimiento del parque	4%
Porcentaje de renovación de auto	6%
Recorrido promedio anual auto en Lima (km)	22,381
Promedio de emisiones x vehículo convencional	261
Promedio de emisiones x HEV (97 g/km)	97
Promedio de emisiones x PHEV (28 g/km)	28
Promedio de emisiones x BEV (0 g/km)	0

En la Tabla 37 se puede visualizar que a mayor tasa de adopción mayor incremento de autos eléctricos en el parque automotor limeño, a la misma vez habría menos autos convencionales y por lo tanto las reducciones de CO₂ serían más significativas. Por esta razón, se determinó que el Diseño 1 BEV + estrategia 3 (agresiva) es la que obtiene el más alto porcentaje de reducciones teniendo para el 2022 un 2.27% y para el 2031 un porcentaje de reducciones de 6.75%. Por último, estas reducciones de CO₂ causadas por migrar a autos eléctricos BEV no solo permiten disminuir la contaminación del aire, sino también contribuyen a salvar vidas humanas.

Ello debido a que las sociedades urbanas al estar expuestas a contaminantes que emiten los autos a combustión, como, por ejemplo, óxidos de nitrógeno o partículas finas, se

generan enfermedades como el cáncer de pulmón, el asma, las alergias, afecciones pulmonares obstructivas, hipertensión, ataques al corazón, entre otras. Según un estudio publicado por Ontario Public Health Association (2020), convertir el 100% de los autos sedan y SUV de combustión del área metropolitana de Toronto y Hamilton a vehículos eléctricos causaría 313 muertes menos cada año, y un beneficio social estimado de 2,400 millones de dólares. Si bien este estudio se realizó en Canadá, los beneficios para la salud que traen los vehículos eléctricos se pueden extrapolar a otras ciudades del mundo.

Tabla 37

Reducciones de CO2 según el Diseño de Cadena y Estrategias Propuestas (Gg de CO2)

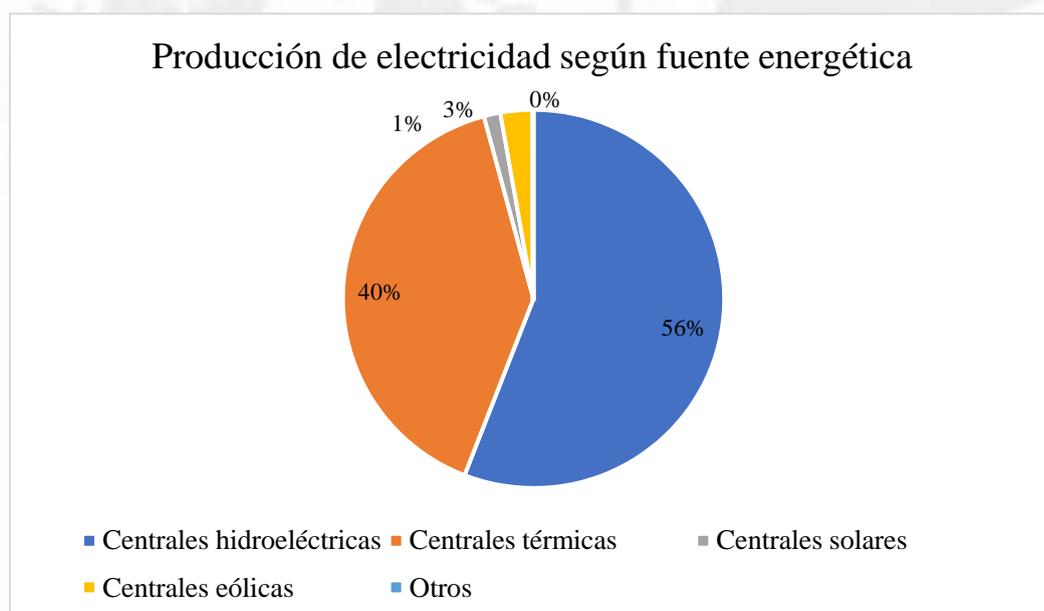
Diseños propuestos	2022 (%)	2023 (%)	2024 (%)	2025 (%)	2026 (%)	2027 (%)	2028 (%)	2029 (%)	2030 (%)	2031 (%)
Diseño 1 BEV+Estrategia 1	2.27	2.76	3.23	3.73	4.21	4.72	5.21	5.72	6.23	6.75
Diseño 1 BEV+Estrategia 2	2.27	2.76	3.23	3.73	4.21	4.72	5.21	5.72	6.23	6.75
Diseño 1 BEV+Estrategia 3	2.27	2.76	3.23	3.73	4.21	4.72	5.21	5.72	6.23	6.75
Diseño 2 PHEV+Estrategia 1	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33	0.35	0.39	0.42	0.45
Diseño 2 PHEV+Estrategia 2	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33	0.35	0.39	0.42	0.45
Diseño 2 PHEV+Estrategia 3	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33	0.35	0.39	0.42	0.45
Diseño 3 HEV+Estrategia 1	0.82	1.21	1.60	1.99	2.39	2.79	3.19	3.60	4.01	4.42
Diseño 3 HEV+Estrategia 2	0.39	0.77	1.16	1.55	1.94	2.34	2.74	3.14	3.55	3.95
Diseño 3 HEV+Estrategia 3	1.09	1.48	1.88	2.27	2.67	3.07	3.47	3.88	4.29	4.71

- **Indicador 2: Capacidad eléctrica para parque vehicular eléctrico**

Según el Ministerio de Energía y Minas (2018) la matriz energética peruana está basada en un 63.5% en hidrocarburos, 19% en energía eléctrica y 5% en energía renovable y la energía eléctrica es obtenida principalmente por dos métodos: mediante centrales hidroeléctricas y a través de centrales térmicas. El 55.9% de la producción de electricidad proviene de centrales hidroeléctricas, el 39.9% de centrales térmicas y con una mínima participación de 1.4% y 2.7% respectivamente, se encuentran las centrales solares y eólicas (ver Figura 20).

Figura 20

Producción de Energía en el Perú



Además, el Ministerio de Energía y Minas (2018) presentó que se detecta que el 16% de energía eléctrica producida no se utiliza, lo cual equivale a 9,025 giga watts, por lo que se considera que la producción actual de electricidad podría abastecer al parque automotor nacional en el hipotético caso de que todo él estuviera basado en la tecnología eléctrica. Esto se corrobora con el indicador “Capacidad eléctrica para vehículos eléctricos”, el cual demuestra que la producción de electricidad en el Perú puede soportar la conversión a autos

eléctricos sin perjudicar a las industrias y hogares que actualmente dependen de este recurso (ver Tabla 38 y Tabla 39).

$$\text{Capacidad energética eléctrica para su uso en vehículos eléctrico} = \text{Parque automotor eléctrico propuesto según diseño} * \text{Consumo energético de vehículo} * \text{Recorrido promedio anual en Lima (km)}$$

Tabla 38

Datos para el Indicador

Recorrido promedio anual auto en Lima (km)	22,381
Consumo Toyota Prius HEV (wh/km)	0
Consumo Chevrolet Volt PHEV (wh/km)	218
Consumo Hyundai Ioniq BEV (wh/km)	153

Tabla 39

Proyecciones del Consumo de Electricidad Parque Automotor Eléctrico (Gigawatt hora)

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Diseño 1 BEV-Estrategia 1	215	270	328	392	458	531	607	690	777	872
Diseño 1 BEV-Estrategia 2	215	270	328	392	458	531	607	690	777	872
Diseño 1 BEV-Estrategia 3	215	270	328	392	458	531	607	690	777	872
Diseño 2 PHEV-Estrategia 1	27	32	39	46	53	61	69	79	88	98
Diseño 2 PHEV-Estrategia 2	27	32	39	46	53	61	69	79	88	98
Diseño 2 PHEV-Estrategia 3	27	32	39	46	53	61	69	79	88	98

Como se puede visualizar en la Tabla 39, el Diseño 1 BEV + Estrategia 3 (agresiva) sería la de mayor consumo de electricidad con 872 Gigawatt para el 2031. En este indicador no se consideran a los autos híbridos, ya que la fuente de energía es hidrocarburos.

4.4.2 Indicadores económicos

Los indicadores económicos que se plantean medir son: los costos totales de propiedad de cada tipo de vehículo eléctrico *versus* el costo total de propiedad de un auto convencional que servirá para evaluar la conveniencia de cambiar a un auto eléctrico. Del mismo modo, se considera medir la inversión pública hasta el 2025, año en que según el

estudio de Viswanathan et al. (2020), los autos eléctricos equiparán en precio a los convencionales. La inversión del Estado consta de dos conceptos: (a) incentivos en forma de descuentos para la compra y (b) uso e inversión en infraestructura de carga (en el caso del diseño BEV sugerido es necesario para su operatividad).

- **Indicador 1: Variación del costo de propiedad vs los escenarios propuestos**

A continuación, se presentan los costos totales de propiedad de los tipos de autos eléctricos tomados para los diseños y se comparan contra el costo total de propiedad de un auto convencional:

Costo de adquisición + Costo de funcionamiento + Disposición final = < TCO vehículos convencionales

Como se puede observar todos los diseños BEV, PHEV y HEV con las estrategias de descuentos en la fase de compra y mantenimiento; y con el bono de chatarreo logran tener una importante disminución en su costo total de propiedad. Asimismo, se puede decir que la estrategia 1, es una estrategia moderada, la estrategia 2 es conservadora y la estrategia 3 donde se ven los mayores beneficios para el usuario sería la estrategia agresiva (ver Tabla 40).

Tabla 40

Costo Total de Propiedad por Diseño

	TCO (\$)	TCO + EST 1 (\$)	TCO + EST 2 (\$)	TCO + EST 3 (\$)
Diseño 1: BEV	45,196.78	37,833.78	42,004.78	35,230.78
Diseño 2: PHEV	69,270.35	61,566.35	65,930.35	58,842.94
Diseño 3: HEV	56,057.76	50,361.76	53,587.76	48,347.76

En la Tabla 41 se analiza la situación actual, se visualiza que, sin la aplicación de las estrategias sugeridas en el presente trabajo, los costos de propiedad de los autos eléctricos (los 3 tipos) son mayores que el auto convencional. En la Tabla 42 se analizar el escenario conservador, se observa como la aplicación de las estrategias enfocadas en el mantenimiento

del auto eléctrico (reducción de un año de impuesto vehicular y descuento en el impuesto a la renta), presentan costos de propiedad todavía superiores al auto convencional.

Tabla 41

Costo (Situación Actual)

	Diseños por tipos de autos			
	Convencional (\$)	BEV (\$)	PHEV (\$)	HEV (\$)
Situación actual	41,059.54	45,196.78	69,270.35	56,057.76
		10%	69%	37%

Tabla 42

Costo (Escenario Conservador)

	Diseños por tipos de autos			
	Convencional (\$)	BEV (\$)	PHEV (\$)	HEV (\$)
Escenario conservador	41,059.54	42,004.78	65,930.35	53,587.76
		2%	61%	31%

En la Tabla 43 se analiza el escenario moderado, es decir las estrategias enfocadas en la fase de adquisición del vehículo eléctrico, se muestra que los autos 100% eléctricos (BEV) logran reducir su costo de propiedad en 8% con respecto al costo de propiedad de autos convencionales.

Tabla 43

Costo (Escenario Moderado)

	Diseños por tipos de autos			
	Convencional (\$)	BEV (\$)	PHEV (\$)	HEV (\$)
Escenario moderado	41,059.54	37,833.78	61,566.35	50,361.76
		-8%	50%	23%

En la Tabla 44 se analiza el escenario agresivo que tiene una estrategia *mix* (descuentos en la fase de adquisición y uso), el costo de propiedad de los autos 100%

eléctricos se reduce de 8% a 14% con respecto al costo de propiedad de los autos convencionales

Tabla 44

Costo (Escenario Agresivo)

	Diseños por tipos de autos			
	Convencional (\$)	BEV (\$)	PHEV (\$)	HEV (\$)
Escenario Agresivo	41,059.54	35,230.78	58,842.94	48,347.76
		-14%	43%	18%

- **Indicador 2: Inversión Pública**

Se calcula la inversión pública hasta el 2025 considerando el costo de la infraestructura (electrolineras) que son necesarias para el Diseño 1 BEV, asimismo, se incluyen los descuentos en la fase de adquisición y mantenimiento (ver Tabla 45).

Tabla 45

Inversión Pública para los Diseños de Cadena Propuestos

	2021 (\$)	2022(\$)	2023 (\$)	2024 (\$)	2025 (\$)	Total inversión (\$)
Diseño 1 BEV+Estrategia 1	2,100,000	33,085,685	41,534,224	50,432,307	60,156,119	187,308,334
Diseño 1 BEV+Estrategia 2	2,100,000	14,343,271	18,005,873	21,863,360	26,078,817	82,391,322
Diseño 1 BEV+Estrategia 3	2,100,000	44,782,281	56,217,584	68,261,356	81,422,773	252,783,995
Diseño 2 PHEV+Estrategia 1		3,014,151	3,643,181	4,373,846	5,157,136	16,188,314
Diseño 2 PHEV+Estrategia 2		1,306,758	1,579,468	1,896,242	2,235,830	7,018,298
Diseño 2 PHEV+Estrategia 3		4,079,671	4,931,067	5,920,027	6,980,215	21,910,980
Diseño 3 HEV+Estrategia 1		14,931,062	22,753,696	31,178,250	40,240,363	109,103,371
Diseño 3 HEV+Estrategia 2		3,092,067	6,348,951	9,861,439	13,644,767	32,947,224
Diseño 3 HEV+Estrategia 3		26,809,568	37,662,105	49,339,951	61,891,765	175,703,389

4.5 Resumen del Capítulo

Primero se realizó un análisis de la situación actual de la cadena de suministros del sector automotriz, evaluando cómo está compuesta, el crecimiento de las ventas, así como los costos de uso y como se realiza la obsolescencia y destrucción. En segundo lugar, una vez revisados los estímulos que fueron planteados por el gobierno en otros países, se plantearon tres escenarios de estímulos que estarían enfocados, en el costo de uso, costo de adquisición y costo total de propiedad. Cada escenario tendría un enfoque: el primero un enfoque conversador, el segundo escenario un enfoque moderado y el tercer enfoque un escenario agresivo. En estos escenarios el gobierno concedería la anulación de pago de tributos, costos por la logística de entrada y bonos por la disposición de autos para que los costos de los autos eléctricos sean competitivos con los autos convencionales.

En tercer lugar, se ha hecho una evaluación de los diseños planteados, hablando el costo total de propiedad de un auto en un lapso de 14 años, adicionalmente a ello cada diseño fue evaluado mediante el uso de la metodología SMART para analizar los atributos que le dan un beneficio a cada diseño. Cada diseño fue llevado a los tres escenarios planteados para evaluar la relación entre los costos de cada diseño por escenario y su calificación en el SMART. El resultado obtenido plantea que el modelo de auto BEV, es decir, el auto 100% eléctrico es el que se define la frontera de eficiencia, esto debido a que el costo de la energía eléctrica en Perú es más económico que el costo de la gasolina. Una vez obtenidos los costos, se hizo un análisis de las tasas de adopción de autos eléctricos que se tiene en otros países para plantear una ecuación que permitiría calcular si con los precios obtenidos por cada diseño y escenario se pudiera tener una tasa de adopción mayor que la de estos países. Con las tasas de adopción halladas, se realizó una proyección de cómo esta tasa de adopción podría beneficiar los indicadores de sostenibilidad de la cadena de suministros del sector automotriz.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- En la presente investigación se realizó el análisis de la situación actual de la cadena de suministros del sector automotriz del Perú y de los países que han presentado mayor desarrollo en este sector debido a la electromovilidad como en Chile, Colombia, Noruega y México. Esto permitió realizar un *benchmarking* y analizar los diseños de sus cadenas de suministros. Se determinó que el interés en su desarrollo en el Perú ha ido incrementando sobre todo por la concientización del impacto de la contaminación generada por el actual parque automotriz con un predominante uso de vehículos a combustión. Además, es importante notar el potencial del país en recursos como la energía eléctrica y el litio que impulsarían este sector hacia la sostenibilidad.
- Para realizar la medición de la sostenibilidad de la cadena de suministro se identificaron los principales indicadores relacionados a los tres factores que determinan la sostenibilidad: (a) costos, (b) ambientales y (c) sociales. Para ello, se consideraron metodologías como el análisis de ciclo de vida, la toma de decisiones en base a criterios múltiples y la regresión lineal para la obtención del mejor diseño de la cadena y escenarios en un enfoque de sostenibilidad.
- Las estrategias de incentivos para la obtención de vehículos eléctricos han sido basadas en aplicaciones realizadas en otros países y que han resultado en un incremento de dichos vehículos en el parque automotor a costa de la recaudación tributaria, lo cual generaría menos ingresos al Estado. El análisis de dichas estrategias debe conllevar a la solución óptima en la cual se satisfaga el objetivo de incentivar de manera efectiva la inclusión de los vehículos eléctricos con el menor impacto económico para el Estado. Dado que a nivel económico el Estado puede tener pérdidas grandes en cuanto a nivel de recaudación por optar por una estrategia no necesaria debido a que optar por la estrategia agresiva

implica dejar de recaudar un 100% más que lo que se dejaría de recaudar por la estrategia de mantener.

- Debido a que las estrategias incluyen incentivos en diferentes impuestos, el Estado tiene la libertad de poder aplicar las estrategias de manera libre y de acuerdo con el avance del objetivo esperado. Inclusive partir con una estrategia solo otorgando parcialmente los incentivos en un inicio e incrementarlos a lo largo del tiempo o incrementarlos de acuerdo con el impacto que se tenga sobre el mercado si es que luego de la implementación no se está llegando a los objetivos esperados.
- En la evaluación de los diseños, se puede observar que el auto 100% eléctrico es el modelo que logra competir en costo total de propiedad con el auto convencional. El auto HPEV y HEV, no logran superar al auto convencional, ya que, sumando al costo mayor de adquisición de estos automóviles, estos carros requieren gasolina para funcionar y no se logra obtener un ahorro en el costo de uso, que si se puede ver en el modelo BEV. Los tres escenarios de estímulos planteados representan una reducción en el costo total de propiedad, pero también representan un ingreso que deja de percibir el Estado, sin contar la inversión de USD 2'000,000 por las electrolineras requeridas.
- La metodología SMART permitió que un grupo de expertos pudiera calificar los atributos que más resaltan en cada diseño y a pesar de que su opinión sea cualitativa, es importante saber cuál es su opinión con relación a los atributos que puede ofrecer cada diseño. Ello dedico a que no se puede hacer una evaluación únicamente enfocada en costos, sino que se debe efectuar una evaluación de estos atributos cualitativos, para que se puedan fortalecer luego los atributos que hayan obtenido un bajo puntaje en el diseño seleccionado.
- En la presente investigación se realizó un pronóstico de adopción de autos eléctricos, híbridos e híbridos enchufables teniendo como variable independiente el costo total de

propiedad e independiente la adopción. Luego del análisis regresional de los tres diseños en cuestión se obtuvieron tasas muy ínfimas de adopción, por ello posteriormente se realizó un análisis tomando en consideración los costos de un auto de combustión en comparativa con las propuestas ofrecidas, por el momento se ha tomado tasas promedio de mercado regionales parecidos al de Perú como Colombia, Chile y México. Se puede recalcar que en el caso de México en diferencia a los escenarios planteados radica en gran manera a que no se aplica el impuesto general de las ventas (IGV) a los autos eléctricos ni el impuesto al sillón municipal.

- Sobre los indicadores de sostenibilidad, se concluye que el mejor resultado en los indicadores ambientales lo obtiene el Diseño 1 con autos 100% eléctricos que junto con una estrategia agresiva donde se promueva su uso a través de incentivos económicos permitirán que se reduzcan significativamente las emisiones de CO₂. Asimismo, esta estrategia maximiza el aprovechamiento de la capacidad eléctrica que se pierde, ya que la producción eléctrica sobrepasa en 16% el consumo. Pero, así como esta estrategia es la que mejores resultados ambientales brinda, también es la que presenta la inversión más alta para el Estado peruano, ya que todos los descuentos sugeridos en las fases de compra y mantenimiento y bono de chatarreo afectan directamente las arcas.

5.2 Recomendaciones

- A nivel regional, el Perú se encuentra en los primeros pasos para desarrollar una cadena automotriz sostenible. Debido a pandemia del Covid-19, la electromovilidad es un tema que se ha visto relegado y por tanto no se han tomado acciones concretas para su desarrollo el último año. Es por ello por lo que, con el presente trabajo se busca poner en evidencia su importancia en el impacto en la sostenibilidad de la cadena.
- Dado el actual panorama económico, el Estado debería revisar el impacto de cada estrategia en el mercado para medir que opción sería la mejor, debido a que los resultados

en la población frente a una estrategia u otra podría no variar debido a la capacidad adquisitiva de los peruanos para poder adquirir esta clase de vehículos. También será indispensable investigar nuevas clases de incentivos que no generen un impacto tan grande como el estado como los bonos por chatarreo en los cuales se podría mitigar el impacto económico del bono a través de la venta de chatarra. Las estrategias tampoco son mutuamente excluyentes en el largo plazo, por lo que podrían establecerse las tres estrategias en diferentes períodos de tiempo a fin de que el incremento de vehículos eléctricos en el mercado aumente constantemente en el largo plazo y se mantenga continuidad en la compra de estos vehículos.

- Se debe analizar cómo los estímulos planteados en países desarrollados como Noruega permitieron que el diseño de la cadena de autos eléctricos pueda ser sostenible y atractivo al mercado noruego, logrando competir con los autos convencionales y compartiendo un crecimiento similar en la tasa de adopción, similar a la de los autos convencionales. La falta de infraestructura es un aspecto importante por analizar, ya que el tiempo para poder implementar todos los puntos de carga en la ciudad de Lima, implica invertir además de dinero, tiempo que puede terminar por retrasar la implementación de un plan de electromovilidad.
- Con el fin de mejorar los escenarios planteados se recomienda realizar un análisis de costos e incentivos financieros como los mencionados anteriormente una posible exoneración del IGV (16%) e impuesto municipal (2%), además de incorporar la variable relacional de costos entre un auto de combustión y uno eléctrico en el mercado peruano comparativamente al mercado de estudio, además de realizar un balance en estas exoneraciones con el gasto público permisible del Estado.

Referencias

- Ahi, P., & Searcy, C. (2013). A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, 52, 329-341.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261300067X>
- Ai, T., Hon, T., & Sulaiman, Z. (2015). Green Supply Chain Management, Environmental Collaboration and Sustainability Performance. *Procedia CIRP*, 695- 699.
- Amrani, L., El Hilaly, J., & Ennadi, A. (2020). Green and Sustainable Supply Chain Management (GSCM and SSCM): A Comparative Literature Analysis of Definitions and the Identification of the Relationship between Environmental and Economic Pillars in GSCM. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(3), 811-819.
<https://www.ijsr.net/archive/v9i3/SR20305164606.pdf>
- Anderson, D. (2006). The critical importance of sustainability risk management. *Risk Management*, 53(4), 66-74.
- Asociación Automotriz del Perú. (2019). AAP: *Los efectos de un parque automotor escaso y antiguo*. <https://aap.org.pe/aap-los-efectos-de-un-parque-automotor-escaso-y-antiguo-2/>
- Asociación Automotriz del Perú. (2020). *Estadísticas de Importación de autos eléctricos al Perú. Asociación automotriz del Perú: Este año se venderán 500 vehículos híbridos y eléctricos*. <https://aap.org.pe/asociacion-automotriz-del-peru-este-ano-se-venderan-500-vehiculos-hibridos-y-electricos/>
- Asociación Nacional Automotriz de Chile. (2020). *Informe del mercado automotor 2020*.
 Autor.
- Asociación Nacional de Movilidad Sostenible. (2019). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Junio 2019*. Autor.

Auto-Cosmos. (2021). *Chevrolet Bolt EUV 2022, el hermano SUV del Bolt EV llega con más de 400 kms de autonomía. Comparte arquitectura y numerosos componentes con el Bolt EV.* <https://noticias.autocosmos.cl/2021/02/15/chevrolet-bolt-euv-2022-el-hermano-suv-del-bolt-ev-llega-con-mas-de-400-kms-de-autonomia>

Ayodele, B. V., & Mustapa, S. I. (2020). Life cycle cost assessment of electric vehicles: A review and bibliometric analysis. *Sustainability*, 12(6), 1-17.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2387>

Barandiarán, M., Calderón, D., Chávez, G., & Coello, A. (2012). *Plan Estratégico del Sector Automotriz en el Perú – Vehículos Ligeros y Comerciales* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú].
[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4614/BARANDIARAN CALDERON CHAVEZ COELLO AUTOMOTRIZ PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4614/BARANDIARAN_CALDERON_CHAVEZ_COELLO_AUTOMOTRIZ_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Barbosa, J., Barbosa, J., & Rodríguez, M. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte: Una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas. *Investigación bibliotecológica*, 27(61), 83-105.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-358X2013000300005&script=sci_abstract

BBVA Research. (2018). *Situación Automotriz 2018 Colombia.*
<https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2018/03/SituacionAutomotriz2018.pdf>

Brundtland, G. (1987). *El desarrollo sostenible. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo.* Asamblea General de las Naciones Unidas.
<https://desarrollosostenible.wordpress.com/2006/09/27/informe-brundtland/>

Cabrera, F., & García, N. (2019). *Políticas de Fomento a la Electromovilidad. Antecedentes y revisión de las políticas en Francia, Alemania, China, India y Noruega y el avance en Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Cámara Nacional de Comercio Automotriz de Chile. (2019). *Anuario Automotor 2019*.

Autor.

Chele, D. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna. *INNOVA Research Journal*, 2(12), 1-10.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6236355>

Chevrolet. (2021). *Eléctricos. Una vida electrizante. La forma inteligente de conducir*.

<https://www.chevrolet.com.mx/vehiculos-electricos>

¿Cuál es mi punto de carga? Conozca el mapa de la electromovilidad en Chile. (2019).

ElectroMov. <https://www.electromov.cl/2019/06/10/el-mapa-de-los-puntos-de-carga-para-la-electromovilidad-en-chile/>

Dawidowski, L., Sánchez, O., & Alarcón, N. (2014). *Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana - Informe final*. South American Emissions, Megacities and Climate SAEMC – Proyecto extensión – Módulo emisiones.

https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/454/Estimaci%C3%B3n-emisiones-vehiculares-Lima-Metropolitana_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Decreto de Urgencia N° 029-2019. Decreto de urgencia que establece incentivos para el fomento del chatarreo. Presidencia de la República del Perú (2019).

Decreto Supremo N° 005-2021-MTC. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento Nacional para el Fomento del Chatarreo. Presidencia de la República del Perú (2021).

- Del Duce, A., Egede, P., Öhlschläger, G., Detmer, T., Altaus, H. J., Bütler, T., Szczechowicz, E. (2013). *elCAR: Guidelines for the LCA of electric vehicles*.
doi:10.13140/RG.2.1.2782.8244
- Escobar, A. (2020). Opinión: La evolución de la movilidad eléctrica en Chile. *Portal Movilidad*. <https://portalmovilidad.com/la-evolucion-de-la-movilidad-electrica-en-chile/>
- EV Volumes. (2020). *EV Data Center*. <http://www.ev-volumes.com/datacenter>
- Figenbaum, E., Assum, T., & Kolbenstvedt, M. (2015). Electromobility in Norway: Experiences and opportunities. *Research in Transportation Economics*, 50, 29-38.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0739885915000232>
- Fiksel, J., Eason, T., Frederickson, H. (2012). *A Framework for Sustainability Indicators at EPA*. United States Environmental Protection Agency.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-10/documents/framework-for-sustainability-indicators-at-epa.pdf>
- Gobetto M. (2014). *Operations Management in Automotive Industries*. Springer.
- Gómez, J., Mojica, C., Kaul, V., & Isla, L. (2020). *La incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-incorporaci%C3%B3n-de-los-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- Hall, D., & Lutsey, N. (2018, february). Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. *Briefing*, 1-12.
https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf
- Hinicio. (2017). *Estudio de diagnóstico, evaluación, análisis y propuesta para apoyar con 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.

<http://namasenergia.minem.gob.pe/Content/fileman/Uploads/Images/menu-centroinformacion/Diagn%C3%B3stico%20NAMA%20Transporte%20Limpio.pdf>

ICEX. (2021). *Vehículos eléctricos en Noruega.*

<https://www.icex.es/icex/GetDocumento?dDocName=DOC2021878033&urlNoAcceso=/icex/es/registro/iniciar-sesion/index.html?urlDestino=https://www.icex.es:443/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/estudios-de-mercados-y-otros-documentos-de-comercio-exterior/index.html&site=icexES>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2014). *Compendio Estadístico Perú.* Autor.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2012). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.* Cambridge University Press.

International Energy Agency. (2009). *Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles.*

Technology Roadmap. https://iea.blob.core.windows.net/assets/91a4a053-8738-4bf2-895e-f4213a4a1253/EV_PHEV_brochure.pdf

Isla, L., Singla, M., Rodríguez, M., & Granada, I. (2019). *Análisis de tecnología, industria, y mercado para vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe.* Banco

Interamericano de Desarrollo.

https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/An%C3%A1lisis_de_tecnolog%C3%ADa_industria_y_mercado_para_veh%C3%ADculos_el%C3%A9ctricos_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es.pdf

IQAir. (2018). *World Air Report.* <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>

Jungmeier, G., Dunn, J., Elgowainy, A., Doruk, E., Ehrenberger, S., Jörg, H., & Widmer, R.

(2013). *Key Issues in Life Cycle Assessment of Electric Vehicles - Findings in the*

- International Energy Agency (IEA) on Hybrid and Electric Vehicles (HEV). *EVS27*, 1-7. <https://www.evs27.org/download.php?f=papers/EVS27-470011.pdf>
- Kannengiesser, M. & Gunther, H. (2013). Sustainable Development of Global Supply Part 1: Sustainability optimization framework. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26, 24-47. <https://doi.org/10.1007/s10696-013-9176-5>
- Kersten, W., Blecker, T., & Ringle, C. (2015). *Sustainable in Logistic and SCM. Sustainability in Logistics and Supply Chain Management. New Designs and Strategies*. HICL Proceedings.
- Kutner, M., Nachtshein, C., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill/Irwin.
- Máñez, G., Bermúdez, E., Pardo, J., & Orbea, J. (2019). *Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y El Caribe y oportunidades para la colaboración regional*. <https://parlatino.org/wp-content/uploads/2017/09/movilidad-electrica-16-7-20.pdf>
- Mariño, C. (2021). *Presentación Gestión de Cadenas de Aprovisionamiento Globales. Abastecimiento Global. Negociaciones Internacionales y el Comercio Internacional. – Sesión 09-10*. Autor.
- Masoumi, M., Kazemi, N., & Hanim, S. (2019). Sustainable supply chain management in the automotive industry: A process-oriented review. *Sustainability*, 11(14), 3945. <https://doi.org/10.3390/su11143945>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). *Plan Nacional de Competitividad y Productividad*. https://www.mef.gob.pe/concdecompetitividad/Plan_Nacional_de_Competitividad_y_Productividad_PNCP.pdf
- Ministerio de Energía de Chile. (2016). *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Autor.
- Ministerio de Energía de Chile (2018). *Ruta Energética 2018 – 2022*. Autor.

- Ministerio de Energía de Chile. (2020). *Electric Vehicle Initiative – IEA. Campaña Ev30@30*. <https://energia.gob.cl/electromovilidad/vinculos-internacionales/electric-vehicle-initiative>
- Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Balance Nacional de Energía*. Autor.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Panorama de Electromovilidad en el Perú*. Autor.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Seguimiento Ambiental del Mercado Automotriz Peruano*. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2014/07/SEGUIMIENTO-AMBIENTAL-DEL-MERCADO-AUTOMOTRIZ-PERUANO-final.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *La ruta hacia la COP21. Semanas del compromiso climático*. https://www.minam.gob.pe/peruclimatico/wp-content/uploads/sites/96/2015/04/Ruta-Hacia-la-COP21_Semanas-Climaticas_final-280415.pdf
- Ontario Public Health Association. (2020). *CLEARING THE AIR: How Electric Vehicles and Cleaner Trucks Can Help Reduce Pollution, Improve Health and Save Lives in the Greater Toronto and Hamilton Area*. <https://clearingtheair.ca/>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *La contaminación sonora en Lima y Callao*. <https://www.oefa.gob.pe/el-oefa-presenta-informe-sobre-contaminacion-sonora-en-lima-y-callao-2015/ocac37/>
- Organismo Supervisor en la Energía y Minería. (2017). *La Industria de la electricidad en el Perú. 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/informes-publicaciones/483410-la-industria-de-la-electricidad-en-el-peru-25-anos-de-aportes-al-crecimiento-economico-del-pais%20>

Organismo Supervisor en la Energía y Minería. (2019). *Electromovilidad. Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú*. Autor.

Otero, A.(2020). *El mantenimiento de un coche eléctrico en comparación a uno de combustión: menos desgaste y un ahorro del 30 %, según Peugeot*.

<https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/mantenimiento-coche-electrico-comparacion-a-uno-combustion-desgaste-ahorro-30-peugeot#:~:text=30%20%25%2C%20seg%C3%BAAn%20Peugeot-.El%20mantenimiento%20de%20un%20coche%20el%C3%A9ctrico%20en%20comparaci%C3%B3n%20a%20uno,ahorro%20del%2030%20%25%2C%20seg%C3%BAAn%20Peugeot&text=Al%20analizar%20la%20anatom%C3%ADa%20de,que%20toca%20a%20la%20motor.>

Parque automotor ocasiona el 70% de la contaminación en el Perú. (2012). *Andina Agencia Peruana de Noticias*. [https://andina.pe/agencia/noticia-parque-automotor-ocasiona-70-de-contaminacion-el-peru-404515.aspx#:~:text=Parque%20automotor%20ocasiona%20el%2070%25%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20el%20Per%C3%BA,-Contaminaci%C3%B3n%20por%20humo&text=El%20parque%20automotor%20es%20el,Ministerio%20del%20Ambiente%20\(Minam\).](https://andina.pe/agencia/noticia-parque-automotor-ocasiona-70-de-contaminacion-el-peru-404515.aspx#:~:text=Parque%20automotor%20ocasiona%20el%2070%25%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20el%20Per%C3%BA,-Contaminaci%C3%B3n%20por%20humo&text=El%20parque%20automotor%20es%20el,Ministerio%20del%20Ambiente%20(Minam).)

PricewaterhouseCoopers. (2019). *Sostenibilidad al volante: La evolución del sector automotriz*. <https://desafios.pwc.pe/sostenibilidad-al-volante-la-evolucion-del-sector-automotriz/>

Rameshkumar, M., Pranav, M., & Vijaykumar, B. (2017, March). SMART-Multi-Criteria Decision-Making Technique for Use in Planning Activities. *Conference: New Horizons in Civil Engineering* (pp. 1-6), Surat, Gujarat, India. <https://bvbhatt.com/wp->

[content/uploads/2018/04/NHCE-2017_SMART-Multi-criteria-decision-making-technique-for-use-in-planning-activities.pdf](https://www.nhce-2017.com/content/uploads/2018/04/NHCE-2017_SMART-Multi-criteria-decision-making-technique-for-use-in-planning-activities.pdf)

Según PEUGOT: Mantenimiento de un coche eléctrico frente a uno de combustión. (2020).

Híbridos y Eléctricos.

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/mantenimiento-coche-electrico-frente-combustion/20200719220213036718.html>

Seuring, S., & Müller, M. (2008). Core Issues in Sustainable Supply Chain Management - A Delphi study. *Business Strategy and the Environment*, 17(8), 455-466.

https://www.researchgate.net/publication/227704125_Core_Issues_in_Sustainable_Supply_Chain_Management-A_Delphi_Study

Siregar, D., Arisandi, D., Usman, A., Irwan, D., & Rahim, R. (2015). Research of Simple Multi-Attribute Rating Technique for Decision Support. *Journal of Physics: Conference Series*, 930, 1-6.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/930/1/012015/pdf>

Viswanathan, V., Bills, A., & Sripad, S. (2020). *The road to electric vehicles with lower*

sticker prices than gas cars – battery costs explained. <https://theconversation.com/the-road-to-electric-vehicles-with-lower-sticker-prices-than-gas-cars-battery-costs-explained-137196>

Apéndice A: Encuesta SMART

Objetivo de la encuesta: Seleccionar el Diseño de Cadena de Suministros para autos eléctricos (livianos) que permita el crecimiento de su tasa de adopción en el mercado limeño. Se han planteado 3 alternativas de diseño de cadena de suministros para autos eléctricos que se podrían implementar en la ciudad de Lima, los cuales son:

- **Diseño 1: Autos eléctricos BEV y Cargadores públicos**

El diseño que supone una inversión de cargadores públicos para lograr asegurar la autonomía de los vehículos. Los autos BEV son automóviles que no tienen motor de combustión, solo tiene un motor eléctrico, lo cual hace que tengan una total dependencia al número de cargadores públicos que se puedan instalar en la ciudad.

- **Diseño 2: Autos eléctricos PHVE y Cargadores en casa**

Este tipo de automóviles eléctricos, requieren que se tenga capacidad para recargar las baterías eléctricas en el departamento, casa y/o lugar de estacionamiento. Estos autos cuentan adicionalmente, con motor de combustión que les otorga mayor autonomía.

- **Diseño 3: Autos híbridos HEV**

Estos automóviles funcionan a gasolina, pero también cuentan con baterías eléctricas que se recargan mediante las desaceleraciones del vehículo. Las baterías sirven de apoyo en ciertos momentos como al iniciar el arranque o en aceleraciones fuertes.

Asimismo, se considera que la viabilidad de cada uno de los diseños propuestos va a depender de los siguientes atributos:

- **Seguridad:** En caso de una colisión o choque, ¿Cómo es el nivel de respuesta de los automóviles eléctricos versus los autos convencionales? ¿Hay mayor riesgo de volcaduras o vueltas de campana? ¿El armazón del coche ofrece la misma seguridad que un automóvil convencional?

- **Gestión del mantenimiento:** Evaluar la complejidad tanto en cantidad de equipos, maquinaria, cantidad de repuestos que requiere el automóvil, disponibilidad de autopartes y tiempo que demora el mantenimiento de un vehículo eléctrico, ya sea un mantenimiento correctivo o preventivo, esto se debe de comparar con la situación de un vehículo convencional.
- **Adaptabilidad:** Tiempo de adaptación que el conductor tomará para adaptarse al uso y funcionamiento del auto eléctrico, detectando las diferencias del automóvil versus un auto convencional, controles adicionales, forma de carga, luces indicadoras, velocidad, etc.
- **Autonomía:** Se denomina así a la distancia máxima que puede recorrer un vehículo sin requerir una recarga eléctrica y/o de combustible, se debe de tener en cuenta que tanto el kilometraje como el tiempo del vehículo prendido, determinan el tiempo de autonomía que tendrá el vehículo, el consumidor espera una autonomía igual o mejor a la que se tiene en los autos convencionales.
- **Tiempo de Carga:** Es el tiempo de carga que requiere el auto eléctrico para completar la capacidad de las baterías eléctricas, mientras menos tiempo de carga se requiera, el cliente tiene que invertir menor tiempo en dicha actividad.
- **a experiencia del conductor:** ¿Sería más placentera la experiencia del conductor en cualquier tipo de auto eléctrico en una ciudad urbana como Lima? Por ejemplo, el nivel de ruido, vibraciones del auto, etc.

De acuerdo a ello, complete lo siguiente:

8. Califique qué tanta relevancia tiene el Atributo "Tiempo de carga" para cada uno de los diseños propuestos, donde 100 significa que tiene mayor relevancia y 0 que no tiene nada de importancia para la viabilidad del diseño (no se puede repetir la calificación para ninguna de las alternativas). *

	0	20	40	60	80	100
Diseño 1: BEV y Cargadores públicos	<input type="radio"/>					
Diseño 2: PHVE y Cargadores en casa	<input type="radio"/>					
Diseño 3: híbridos HEV	<input type="radio"/>					

9. Califique qué tanta relevancia tiene el Atributo "Experiencia de conducción" para cada uno de los diseños propuestos, donde 100 significa que tiene mayor relevancia y 0 que no tiene nada de importancia para la viabilidad del diseño (no se puede repetir la calificación para ninguna de las alternativas). *

	0	20	40	60	80	100
Diseño 1: BEV y Cargadores públicos	<input type="radio"/>					
Diseño 2: PHVE y Cargadores en casa	<input type="radio"/>					
Diseño 3: híbridos HEV	<input type="radio"/>					

10. Desde su punto de vista y de manera general, ordene los atributos según importancia: donde 100 debe asignarse al atributo que más peso debería tener y 20 el que menos peso debería tener (no se puede repetir el puntaje para ninguno de los atributos): *

	20	40	60	80	100
Seguridad	<input type="radio"/>				
Gestión de mantenimiento	<input type="radio"/>				
Adaptabilidad	<input type="radio"/>				
Autonomía	<input type="radio"/>				
Tiempo de carga	<input type="radio"/>				
Experiencia del conductor	<input type="radio"/>				

11. Comentarios y sugerencias

Escriba su respuesta

Enviar

Apéndice C: Proyección del Parque Automotor

Tabla C1

Proyección del Parque Automotor de Lima (2022 – 2031)

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Crecimiento anual parque x año	3'154,816	3'438,750	3'748,237	4'085,579	4'453,281	4'854,076	5'290,943	5'767,128	6'286,169	6'851,925
Retiro anual del parque (6%)	189,289	206,325	224,894	245,135	267,197	291,245	317,457	346,028	377,170	411,115
PY Parque automotriz total	2'965,527	3'232,425	3'523,343	3'840,444	4'186,084	4'562,832	4'973,486	5'421,100	5'908,999	6'440,809

Apéndice D: Emisiones de CO2

Tabla D1

Emisiones de CO2 según los Diseños Planteados

		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Diseño 1	Parque automotor eléctrico	65,934	86,749	110,398	138,015	169,257	205,497	246,353	293,299	346,464	407,299
BEV+	Parque automotor convencional	2'899,594	3'145,676	3'412,945	3'702,429	4'016,827	4'357,334	4'727,133	5'127,801	5'562,535	6'033,510
Estrategia	Emisiones totales aplicando el Diseño 1 BEV+ estrategia 1,2,3	16,954	18,393	19,956	21,649	23,487	25,478	27,640	29,983	32,525	35,279
1,2,3	Emisiones totales de parque automotor convencional	17,340	18,901	20,602	22,456	24,477	26,680	29,081	31,698	34,551	37,661
	Porcentaje de reducción de CO2	2.27%	2.76%	3.23%	3.73%	4.21%	4.72%	5.21%	5.72%	6.23%	6.75%
Diseño 2	Parque automotor eléctrico	5,741	7,272	9,151	11,308	13,640	16,605	19,661	23,494	27,464	32,173
PHEV+	Parque automotor convencional	2'959,787	3'225,152	3'514,192	3'829,136	4'172,444	4'546,227	4'953,825	5'397,606	5'881,535	6'408,636
Estrategia	Emisiones totales aplicando el Diseño 2 PHEV+ estrategia 1,2,3	17,310	18,863	20,554	22,397	24,406	26,593	28,978	31,576	34,408	37,493
1,2,3	Emisiones totales de parque automotor convencional	17,340	18,901	20,602	22,456	24,477	26,680	29,081	31,698	34,551	37,661
	Porcentaje de reducción de CO2	0.17%	0.20%	0.23%	0.26%	0.29%	0.33%	0.35%	0.39%	0.42%	0.45%
Diseño 3	Parque automotor eléctrico	38,463	61,432	88,225	119,342	155,346	196,863	244,596	299,326	361,926	433,370
HEV+	Parque automotor convencional	2'927,065	3'170,993	3'435,119	3'721,102	4'030,738	4'365,968	4'728,890	5'121,774	5'547,073	6'007,439
Estrategia	Emisiones totales Diseño 3 HEV-Estrategia 1	17,199	18,675	20,277	22,017	23,906	25,956	28,182	30,598	33,221	36,067
1	Emisiones totales parque automotor convencional	17,340	18,901	20,602	22,456	24,477	26,680	29,081	31,698	34,551	37,661
	Porcentaje de reducción de CO2	0.82%	1.21%	1.60%	1.99%	2.39%	2.79%	3.19%	3.60%	4.01%	4.42%
Diseño 3	Parque automotor eléctrico	18,368	39,529	64,350	93,319	126,981	165,946	210,896	262,593	321,887	389,727
HEV+	Parque automotor convencional	2'947,159	3'192,896	3'458,993	3'747,125	4'059,103	4'396,886	4'762,591	5'158,508	5'587,112	6'051,082
Estrategia	Emisiones totales Diseño 3 HEV-Estrategia 2	17,272	18,755	20,365	22,113	24,010	26,070	28,306	30,733	33,368	36,228
2	Emisiones totales parque automotor convencional	17,340	18,901	20,602	22,456	24,477	26,680	29,081	31,698	34,551	37,661
	Porcentaje de reducción de CO2	0.39%	0.77%	1.16%	1.55%	1.94%	2.34%	2.74%	3.14%	3.55%	3.95%
Diseño 3	Parque automotor eléctrico	51,022	75,122	103,146	135,606	173,074	216,187	265,659	322,284	386,951	460,647
HEV+	Parque automotor convencional	2'914,506	3'157,303	3'420,197	3'704,838	4'013,010	4'346,645	4'707,828	5'098,816	5'522,048	5'980,162
Estrategia	Emisiones totales Diseño 3 HEV-Estrategia 3	17,152	18,624	20,222	21,957	23,841	25,885	28,104	30,513	33,129	35,967
3	Emisiones totales parque automotor convencional	17,340	18,901	20,602	22,456	24,477	26,680	29,081	31,698	34,551	37,661
	Porcentaje de reducción de CO2	1.09%	1.48%	1.88%	2.27%	2.67%	3.07%	3.47%	3.88%	4.29%	4.71%

Apéndice E: Tasas de adopción en los escenarios planteados horizonte 10 años.

Tabla E1

Tasas de adopción en los escenarios planteados diseño 1 horizonte 10 años.

Año	Diseños de cadena	TCO – Escenario 1	TCO – Escenario 2	TCO – Escenario 3
1	Diseño 1: BEV	2.22%	2.21%	2.24%
2	Diseño 1: BEV	2.68%	2.67%	2.70%
3	Diseño 1: BEV	3.13%	3.12%	3.15%
4	Diseño 1: BEV	3.59%	3.58%	3.61%
5	Diseño 1: BEV	4.04%	4.03%	4.06%
6	Diseño 1: BEV	4.50%	4.49%	4.52%
7	Diseño 1: BEV	4.95%	4.94%	4.97%
8	Diseño 1: BEV	5.40%	5.40%	5.43%
9	Diseño 1: BEV	5.86%	5.85%	5.88%
10	Diseño 1: BEV	6.32%	6.31%	6.34%

Tabla E2

Tasas de adopción en los escenarios planteados diseño 2 horizonte 10 años.

Año	Diseños de cadena	TCO – Escenario 1	TCO – Escenario 2	TCO – Escenario 3
1	Diseño 2: PHEV	0.20%	0.19%	0.20%
2	Diseño 2: PHEV	0.23%	0.22%	0.23%
3	Diseño 2: PHEV	0.27%	0.26%	0.27%
4	Diseño 2: PHEV	0.30%	0.29%	0.30%
5	Diseño 2: PHEV	0.33%	0.33%	0.33%
6	Diseño 2: PHEV	0.37%	0.36%	0.37%
7	Diseño 2: PHEV	0.40%	0.40%	0.40%
8	Diseño 2: PHEV	0.44%	0.43%	0.44%
9	Diseño 2: PHEV	0.47%	0.46%	0.47%
10	Diseño 2: PHEV	0.51%	0.50%	0.51%

Tabla E3

Tasas de adopción en los escenarios planteados diseño 3 horizonte 10 años.

Año	Diseños de cadena	TCO – Escenario 1	TCO – Escenario 2	TCO – Escenario 3
1	Diseño 3: HEV	1.30%	0.62%	1.72%
2	Diseño 3: HEV	1.90%	1.22%	2.32%
3	Diseño 3: HEV	2.50%	1.83%	2.93%
4	Diseño 3: HEV	3.11%	2.43%	3.53%
5	Diseño 3: HEV	3.71%	3.03%	4.13%
6	Diseño 3: HEV	4.31%	3.64%	4.74%
7	Diseño 3: HEV	4.92%	4.24%	5.34%
8	Diseño 3: HEV	5.52%	4.84%	5.95%
9	Diseño 3: HEV	6.13%	5.45%	6.55%
10	Diseño 3: HEV	6.73%	6.05%	7.15%