



Universidad de Granada



# **UNIVERSIDAD DE GRANADA**

**Escuela Internacional de Posgrado**

**Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería**

**Programa de Doctorado en Ingeniería Civil**

## **“Análisis de viabilidad de la electro movilidad para el caso de vehículos militares de transporte”**

**Tesis Doctoral presentada por:**

**Claudio ROBERTS MORALES**

Dirigida por:

**PhD. Javier ORDOÑEZ GARCÍA**

**PhD. Aymeric Alain GIRARD**

Granada, 2021

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Claudio Roberts Morales  
ISBN: 978-84-1306-834-3  
URI: <http://hdl.handle.net/10481/68001>

# **TESIS DOCTORAL**

**Memoria presentada por Claudio Roberts Morales para aspirar al grado de**

**Doctor por la Universidad de Granada**

## **TRIBUNAL DE TESIS**

Presidente : Fdo.:

Secretario : Fdo.:

Vocal : Fdo.:

Vocal : Fdo.:

Vocal : Fdo.:

**Granada, 2021**

## **Abstract**

Military vehicles are used in “*Defense*” and “*Training*” functions, but also participate in “*Military operations other than war*” (MOOTW), such as supporting citizens in emergency situations, incorporating additional use of these under different types of conditions. On the other hand, from an environmental perspective, carbon emissions in Chile (and in the world) have doubled in recent years, so it is important to find solutions for this problem, where military vehicles also contribute to pollution. In this order of ideas, this thesis makes a review of the “*State of the art*” in the field of electric vehicles and electro mobility in Chile, in the search to adopt techniques and good practices, to propose the application of these in a means of transport of troops, through the conversion to electric vehicle (EV), analyzing the different energy storage systems available, along with the methods and devices for recharging them. All this, aimed at reducing the impact on the environment produced by the combustion pollutant gases. The results allow us to determine if electro mobility leads to real environmental benefits, compared to the current propulsion system installed in an archetypal vehicle.

Finally, in order to have a consensus on the proposed solution, in a second phase, its results were analyzed by a group of “*Experts*”, through the application of the DELPHI method.

**Keywords:** *Military transport vehicles, environmental impact, electro mobility, energy storage systems, and photovoltaic solar energy charging systems.*

## **Resumen**

Los vehículos militares no solamente desarrollan funciones de “*Defensa*” y “*Entrenamiento*”, sino que también participan en “*Operaciones militares diferentes a la guerra*” (MOOTW por sus siglas en inglés), como lo son el apoyo a la ciudadanía en situaciones de emergencia, incorporando de esta forma un uso adicional de éstos bajo diferentes tipos de condiciones. Por otro lado, desde la mirada medioambiental, las emisiones de carbono en Chile (y en el mundo) se han duplicado en los últimos años, por lo que es relevante encontrar soluciones para este problema, donde los vehículos militares también contribuyen a la contaminación. En este orden de ideas, esta tesis efectúa una revisión del “*Estado del arte*” en materia de vehículos eléctricos y movilidad eléctrica en Chile, en la búsqueda de las técnicas y buenas prácticas con el objetivo de proponer la aplicación de éstas en un medio de transporte de tropas, mediante la conversión a vehículo eléctrico, analizando los diferentes sistemas de almacenamiento de energía disponibles, junto con los métodos para la recarga; todo esto, buscando la reducción del impacto en el entorno producido por los gases contaminantes de la combustión. Los resultados obtenidos permiten determinar si la movilidad eléctrica conduce a beneficios ambientales reales, en comparación con el actual sistema de propulsión instalado en un vehículo arquetipo.

Finalmente, con el propósito de contar con un consenso de la solución propuesta, en una segunda fase, los resultados de ésta fueron analizados por un grupo de “*Expertos*” de manera anónima, mediante la aplicación del método DELPHI.

**Palabras clave** : *vehículos militares de transporte, impacto medioambiental, movilidad eléctrica; sistemas de almacenamiento de energía; sistemas de recarga de energía solar fotovoltaica.*

**Reconocimientos** : *Tras tres años de investigación, desarrollo y redacción de la presente tesis, los agradecimientos son para mi Esposa, mis hijas, mi madre, hermana y mi fallecida abuela, por su aporte incondicional, comprensión e impulsos; a mi profesor guía, PhD. Javier Ordóñez García, por su constante preocupación, desinteresado apoyo y orientaciones, a mi profesor PhD. Aymeric Girard, por su permanente motivación para desarrollar el presente estudio, el cual se inicia en un complicado viaje a la Antártica en el año 2016, al Ejército de Chile, a mis superiores jerárquicos, pares y subalternos, por el apoyo y comprensión, a la Universidad de Granada, por la gran oportunidad que me ha dado, en el sentido de permitirme plasmar mis ideas en una tesis Doctoral, así como entregarme instrumentos técnicos y académicos para lograr la concreción de ésta. Asimismo, agradezco la participación del PhD. François Simon, PhD. Keny Figueroa Álvarez, Sr. Santiago Descovic y al Almirante (R) de la Armada Francesa, Sr. Laurent Girard, por sus aportes y orientaciones. Finalmente, doy las gracias a mis colaboradores, encuestados y a todos aquellos que de alguna manera aportaron al desarrollo de la presente tesis, haciendo posible sus resultados y conclusiones.*

## Índice

Abstract	3
Resumen	4
Declaración de tutoría	6
Declaración de origen de información y responsabilidad.	7
Índice de imágenes	12
Índice de tablas	18
Índice de gráficos	22
Esquema de la tesis.	25
<b>CAPÍTULO I    Introducción, materiales y métodos</b>	<b>27</b>
1.1.    Introducción	27
1.1.1.    El transporte y la necesidad de energía.	32
1.1.2.    La energía usada en el transporte.	35
1.1.3.    Los combustibles fósiles y su contexto geopolítico.	40
1.1.4.    Las Fuerzas Armadas.	48
1.1.5.    La política de Defensa.	55
1.1.6.    Indicadores para determinar el esfuerzo en materia de Defensa.	61
1.1.7.    El nuevo escenario.	64
1.2.    Materiales y métodos	69
1.2.1.    Hipótesis	69
1.2.2.    Justificación	70
1.2.3.    Objetivos	70
1.2.4.    Métodos.	71
<b>CAPÍTULO II    Estado del arte en materia de electro movilidad</b>	<b>75</b>
2.1.    Los vehículos y el desarrollo sostenible.	75
2.1.1.    Marco regulatorio global y local en materia medioambiental.	79
2.2.    Legislación para el control de contaminantes de los vehículos.	96
2.2.1.    Parámetros de emisiones permitidos en Chile.	100
2.2.2.    Tipos de motores.	101

2.2.3.	Vehículos, plantas motrices y transmisión de movimiento.	102
2.2.4.	Eficiencia energética de los motores de combustión interna.	102
2.2.5.	Limitaciones a la eficiencia térmica.	103
2.2.6.	Ciclo de Carnot.	104
2.2.7.	Los combustibles versus los vehículos eléctricos.	105
2.3.	Los vehículos eléctricos (VEs).	106
2.3.1.	Historia de los VEs.	106
2.3.2.	La motorización de los Vehículos Eléctricos.	114
2.3.3.	Ventajas de uso de los Vehículos Eléctricos.	116
2.3.4.	Desventajas de los VEs.	117
2.3.5.	Tipos de VEs.	123
2.3.6.	Vehículos eléctricos (VEs) o BEV.	128
2.3.7.	Vehículos Híbrido–Eléctricos, HEV y PHEV.	128
2.3.8.	Vehículos eléctricos de pila de combustible, FCEV.	129
2.4.	El “Estado del arte” en materia de VEs.	131
2.4.1.	A nivel mundial.	131
2.4.2.	Sudamérica y los VEs.	140
2.4.3.	Chile y los vehículos eléctricos.	152
2.5.	Almacenamiento de la energía en los VEs y los sistemas de recarga	180
2.5.1.	Baterías eléctricas.	182
2.5.2.	Baterías de ácido-plomo.	195
2.5.3.	Baterías de iones de Litio.	196
2.5.4.	Baterías de iones de Litio versus las baterías de ácido-plomo.	197
2.5.5.	Fabricación y explotación de las baterías.	200
2.5.6.	Impacto medioambiental de las baterías.	203
2.5.7.	Configuración de las baterías.	204
2.5.8.	Sistemas de recarga de las baterías.	212
2.5.9.	Posibilidades futuras.	257
2.6.	Los vehículos militares y el impacto en la contaminación	259



2.6.1.	Ciclo de vida.	259
2.6.2.	Consideraciones para la selección de un vehículo arquetipo.	265
2.6.3.	Alternativas de vehículos militares.	266
2.6.4.	Selección del vehículo.	268
2.6.5.	Zona de empleo.	288
2.6.6.	Comparación de costes.	288
2.6.7.	Fuerzas que oponen resistencia al desplazamiento del vehículo.	292
2.6.8.	Impacto contaminante del vehículo arquetipo.	307
2.6.9.	Modelo de Emisiones de los Vehículos IVE, formulación teórica.	321
2.7.	Discusión.	338
<b>CAPÍTULO III Desarrollo de la investigación</b>		<b>340</b>
3.1.	Diseño de conversión del vehículo (de SCI a VE)	340
3.1.1.	Selección del vehículo.	344
3.1.2.	Costes de modificación del vehículo.	360
3.1.3.	Relación peso-potencia.	361
3.1.4.	Interpretación de resultados.	362
3.2.	Evaluación y elección del sistema y su configuración	363
3.2.1.	Formulación económica.	364
3.2.2.	Objetivos de la formulación.	367
3.2.3.	Análisis económico de las baterías.	370
3.2.4.	Determinación y mitigación del riesgo.	374
3.2.5.	Escenarios.	389
3.2.6.	Medición y modelización de la incertidumbre.	396
3.2.7.	Interpretación de resultados.	400
3.2.8.	Extrapolación.	401
3.3.	Elección del sistema y su configuración.	402
3.3.1.	Matriz de evaluación.	404
3.3.2.	Desarrollo de los conceptos.	409
3.3.3.	Resultados.	414

3.3.4.	Interpretación de los resultados.	414
3.3.5.	Extensión hacia vehículos de carácter civil.	415
3.4.	Discusión.	415
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>Aplicación del método DELPHI</b>	417
4.1.	Resolución de problemas, basados en entornos grupales.	418
4.2.	El consenso entre los encuestados.	419
4.3.	Desarrollo del método.	419
4.3.1	Identificación de objetivos.	420
4.3.2	Selección de expertos.	420
4.3.3	Cuestionarios iterativos.	425
4.3.4	Resultados.	426
4.4.	Conclusiones de la aplicación del método DELPHI.	441
4.5.	Discusión.	441
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>Conclusiones y líneas futuras de investigación</b>	442
5.1.	Conclusiones.	443
5.2.	Líneas futuras de investigación.	445
Anexo N.º 1:	Cálculos y resultados numéricos	447
Anexo N.º 2:	Listado de expertos para aplicación del método DELPHI	452
Anexo N.º 3:	Cuestionario del método DELPHI	454
Anexo N.º 4:	Tabla de acrónimos	456
Referencias		460
Referencias bibliográficas		460
Referencias de medios digitales consultados		481

## Índice de imágenes

Imagen 1:	Consumo mundial <i>per cápita</i> de combustibles.	42
Imagen 2:	Tropas a bordo de un vehículo militar chileno en misión de estabilización de Haití (Misiones de Paz).	48
Imagen 3:	Vehículo híbrido-eléctrico “ <i>URO Vamtac</i> ”.	51
Imagen 4:	Prototipo conceptual de una camioneta <i>Tesla Cybertruck</i> en versión táctica,.	52
Imagen 5:	Radio patrulla eléctrico e Híbrido, ambos Hyundai Ionic, asignados a Carabineros de Chile.	54
Imagen 6:	Radio patrulla eléctrico, asignado a Carabineros de Chile.	55
Imagen 7:	VE de concepto, desarrollado por Türkiye'nin Otomobili Giri im Grubu (TOGG).	95
Imagen 8:	Información gráfica de seguridad que identifica a los vehículos eléctricos o híbridos.	100
Imagen 9:	Modelo de vehículo eléctrico desarrollado por Ányos Jedlik (1828).	107
Imagen 10:	Automóvil eléctrico “ <i>Jamais Contente</i> ” desarrollado en 1899.	108
Imagen 11:	Coche eléctrico en Alemania en 1904.	108
Imagen 12:	Vehículo eléctrico en Washington, Estados Unidos, 1905.	109
Imagen 13:	Publicidad del automóvil eléctrico <i>Henney Kilowatt</i> , Estados Unidos, 1959.	109
Imagen 14:	Publicidad del furgón de reparto eléctrico “ <i>Batronic</i> ”, Inglaterra, 1971.	110
Imagen 15:	Vehículo eléctrico “ <i>CityCar</i> ”, producido en Estados Unidos por la compañía Sebring-Vanguard Inc., (1974-1977).	110
Imagen 16:	Automóvil eléctrico “ <i>General Motors EV-1</i> ”, Estados Unidos, (1993-1999).	111
Imagen 17:	Automóvil eléctrico Mercedes Benz 190 elektro.	112
Imagen 18:	Camioneta (Pickup) eléctrica modelo RT1 (2020) de la marca americana Rivian.	113
Imagen 19:	Vehículo eléctrico Tesla Cybertruck.	113
Imagen 20:	Esquema del flujo de la energía en un Vehículo Eléctrico.	114

Imagen 21:	Cargador Lincoln, Supercargador Tesla y cargadores de la red Ionity.	119
Imagen 22:	Generador portátil Blink.	121
Imagen 23:	Automóvil eléctrico (VE) Mitsubishi MIEV (año 2011) en condición de abandono en la ciudad de Santiago de Chile por falta de repuestos.	122
Imagen 24:	Tipos de vehículos eléctricos y sus variantes.	123
Imagen 25:	Vehículo híbrido-eléctrico “URO Vamtac”, con estándares militares todo terreno y con “Autonomía extendida”.	129
Imagen 26:	Estación española de repostaje de hidrógeno.	130
Imagen 27:	ORAR 1, vehículo eléctrico.	136
Imagen 28:	Rodillo eléctrico compactador de asfalto modificado.	138
Imagen 29:	Autobús eléctrico de la marca IRIZAR modelo <i>Ie</i> 18.	139
Imagen 30:	Planta de secado de sales de Litio, Atacama, Chile.	140
Imagen 31:	Vehículo eléctrico de fabricación argentina, de la marca Sero Electric.	143
Imagen 32:	El ex presidente boliviano Evo Morales, impulsando la electro movilidad de la industria en Bolivia.	144
Imagen 33:	Vehículo eléctrico boliviano Quantum E3.	145
Imagen 34:	Vehículo eléctrico <i>Mobilis Li</i> .	149
Imagen 35:	Tranvía J.G. Brill en servicio en la ciudad de Santiago de Chile, década de 1940.	153
Imagen 36:	Trolebús en servicio en la ciudad de Santiago de Chile, década de 1980.	154
Imagen 37:	Trolebús en servicio en la ciudad de Valparaíso (Chile).	154
Imagen 38:	Funicular y teleférico del parque Metropolitano de Santiago de Chile.	155
Imagen 39:	Antigua imagen de los inicios del Metro de Santiago de Chile (1975).	155
Imagen 40:	Moderna estación de Metro “Fernando Castillo Velasco”, en la ciudad de Santiago de Chile.	156
Imagen 41:	Carrera Fórmula E, desarrollada en Chile en 2019.	159

Imagen 42:	Autobús eléctrico marca YUTONG.	160
Imagen 43:	Autobuses eléctricos marca BYD.	161
Imagen 44:	Llegada (importación) en el año 2019 al puerto de San Antonio (Chile) de autobuses eléctricos de la marca BYD.	161
Imagen 45:	Flota de autobuses eléctricos marca BYD.	161
Imagen 46:	Taxi híbrido Hyundai Eon en servicio en la ciudad de Santiago.	162
Imagen 47:	Automóvil eléctrico Hyundai Eon.	162
Imagen 48:	Interior de autobús eléctrico BYD.	164
Imagen 49:	Autobús ALSTOM, modelo APTIS.	165
Imagen 50:	Autobús de la marca King Long.	166
Imagen 51:	Autobús de la marca BYD.	166
Imagen 52:	Minibús eléctrico autónomo, en fase de implementación y pruebas en un parque de la ciudad de Santiago de Chile.	167
Imagen 53:	Autobús eléctrico YUTOG.	168
Imagen 54:	Autobús eléctrico de la marca BYD.	168
Imagen 55:	Flota de vehículos eléctricos Nissan Leaf.	169
Imagen 56:	Taxis Hyundai Ioniq.	170
Imagen 57:	Camioneta Toyota Land Cruiser eléctrica.	171
Imagen 58:	Fotografía del lanzamiento promocional de la alianza entre la Municipalidad de Ñuñoa (Santiago de Chile) y AWTO, para el arrendamiento de motocicletas eléctricas.	173
Imagen 59:	Patinetas eléctricas ( <i>scooters</i> ) para alquiler.	174
Imagen 60:	Bicicleta eléctrica Völmark.	175
Imagen 61:	Furgoneta eléctrica Mercedes Benz, modelo eVito.	175
Imagen 62:	Vehículos eléctricos de carga menor Kaiyun Pickman.	176
Imagen 63:	Vehículos eléctricos de reparto.	177
Imagen 64:	VEs experimentales con recarga mediante paneles solares fotovoltaicos.	179
Imagen 65:	Conector de tipo 2 (Mennekes).	186
Imagen 66:	Conexiones disponibles en el mercado para la recarga de vehículos eléctricos.	187

Imagen 67:	Conector hembra CEE7 o Schuko.	188
Imagen 68:	Electrolinera Ionity.	190
Imagen 69:	Sistema de recarga experimental mediante inducción.	190
Imagen 70:	Terminal positivo “ <i>Sulfatado</i> ” de una batería de ácido-plomo.	192
Imagen 71:	Batería de ácido-plomo instalada en un vehículo militar.	195
Imagen 72:	Instalaciones de almacenamiento de energía solar fotovoltaica, Industrial pilot plant Lalctur (PSDA), Antofagasta, Chile.	196
Imagen 73:	Autobús eléctrico incendiándose en julio de 2020.	199
Imagen 74:	Esquema de conexión de baterías en serie.	206
Imagen 75:	Esquema de conexión de baterías en paralelo.	206
Imagen 76:	Esquema de conexión de baterías en serie/paralelo.	207
Imagen 77:	Batería recargable de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> ).	208
Imagen 78:	Estación de recarga de VEs VOLTEX.	221
Imagen 79:	Representación geográfica de la red de estaciones de recarga eléctrica VOLTEX.	221
Imagen 80:	Cargadores para VEs dispuestos en diferentes centros comerciales de la ciudad de Santiago.	222
Imagen 81:	Estación de recarga eléctrica de un autobús del recorrido 516 (RED) en Santiago de Chile.	223
Imagen 82:	Electrolineras disponibles para la recarga de los autobuses eléctricos de RED, Santiago de Chile.	223
Imagen 83:	Mapa de los puntos (verdes) de recarga eléctrica que existen en España.	224
Imagen 84:	Hyundai Sonata Hybrid, con una estructura de paneles solares en el techo.	231
Imagen 85:	Ferrocarril de Byron Bay, Australia.	232
Imagen 86:	Representación de la radiación solar.	238
Imagen 87:	Planta de concentración solar y de almacenamiento termal (CSP-TES) “ <i>Cerro Dominador</i> ”.	239
Imagen 88:	Parque solar “ <i>Los Aromos</i> ”.	240
Imagen 89:	Planta fotovoltaica “ <i>El Romero</i> ”.	240
Imagen 90:	Irradiancia solar en Chile.	241

Imagen 91:	Estación de recarga de VEs desplegables, prototipo de la empresa alemana ADS-TEC.	242
Imagen 92:	Microplanta de generación de energía fotovoltaica de despliegue rápido de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América.	244
Imagen 93:	Paneles solares fotovoltaicos, flexibles y desplegables “ <i>Roll Array</i> ”.	244
Imagen 94:	Paneles solares fotovoltaicos, desplegables y flexibles.	244
Imagen 95:	Panel solar fotovoltaico flexible.	248
Imagen 96:	Regulador de recarga de baterías, mediante paneles solares; fuente.	249
Imagen 97:	Esquema de conexión de 8 paneles solares fotovoltaicos.	249
Imagen 98:	Vehículo militar en patrullaje, al amparo de la Misión de Estabilización de Haití (2004-2017).	269
Imagen 99:	Ministro de Defensa de Chile (2015-2018), Sr. José Antonio Gómez, durante las preparaciones de la Gran Parada Militar del año 2016, a bordo de un vehículo AIL Storm M240.	269
Imagen 100:	AIL Storm perteneciente al cuerpo de policía Israelí.	270
Imagen 101:	Ejemplo del vehículo en estudio.	271
Imagen 102:	Ejemplo del vehículo en estudio.	271
Imagen 103:	Vano motor del vehículo en estudio, vista lateral izquierda.	273
Imagen 104:	Vano motor del vehículo en estudio, vista lateral derecha.	273
Imagen 105:	Representación del cigüeñal, bielas y pistones de un SCI de 4 cilindros.	278
Imagen 106:	Componentes que constituyen la cadena cinética del vehículo; fuente.	282
Imagen 107:	Grupo cónico-diferencial del vehículo en estudio.	282
Imagen 108:	Diferencial trasero del vehículo en estudio.	283
Imagen 109:	Diferencial delantero y conjunto de cardanes.	283
Imagen 110:	Caja de transferencia del vehículo en estudio, vista trasera.	284
Imagen 111:	Esquema de una rueda.	285
Imagen 112:	Fuerza tangencial ( $F$ ) que es transmitida por el neumático en el punto de contacto con el suelo.	295

Imagen 113:	Representación del vehículo en pendiente y las fuerzas que aplican en él.	299
Imagen 114:	Representación gráfica de la vista frontal del vehículo en estudio.	302
Imagen 115:	Captura de pantalla del Modelo de Emisiones de los Vehículos IVE.	327
Imagen 116:	Dinamómetro (rodillos).	329
Imagen 117:	Dinamómetro.	329
Imagen 118:	Planta analizadora de gases.	329
Imagen 119:	Equipo analizador de gases.	329
Imagen 120:	Componentes del analizador de gases.	329
Imagen 121:	Captura de pantalla de la aplicación del modelo IVE.	337
Imagen 122:	Sistemas de seguridad sugeridos para los VEs comerciales.	341
Imagen 123:	Autobús eléctrico incendiándose en Santiago de Chile.	341
Imagen 124:	Depósito de combustible removido de un SCI.	345
Imagen 125:	Imágenes del motor de combustión interna.	345
Imagen 126:	Sistema de transmisión (caja de cambios manual).	345
Imagen 127:	Caja de transferencia (tracción 4x2 y 4x4 Low-High).	346
Imagen 128:	Motor <i>Warp</i> 11-HVDC.	352
Imagen 129:	Placa adaptadora de transmisión.	353
Imagen 130:	Sistema de embrague del vehículo arquetipo.	354
Imagen 131:	Motor <i>Warp</i> adosado a una placa adaptadora y prensa de embrague.	354
Imagen 132:	Conector <i>Lovejoy</i> .	355
Imagen 133:	Controlador <i>CURTIS 1221 M-6701</i> .	355
Imagen 134:	Esquema de un potenciómetro incorporado al pedal de aceleración de un VE.	356
Imagen 135:	Acelerador electrónico, con potenciómetro incorporado.	356
Imagen 136:	Reforzador del sistema de frenos.	357
Imagen 137:	Conductos de vacío del reforzador del sistema de frenos.	358
Imagen 138:	Depresor o bomba de vacío, incorporado a un alternador.	358



Imagen 139:	Configuración de un VE mediante movilidad eléctrica.	359
Imagen 140:	Imagen que refleja el uso de un AIL Storm en apoyo a la comunidad, durante la aplicación de cordones sanitarios producto del COVID-19.	366
Imagen 141:	Vehículos militares utilizados en patrullaje nocturno.	367
Imagen 142:	Esquema del riesgo, ventajas y desventajas.	376
Imagen 143:	Captura de pantalla del software <i>Expert Choice</i> para la elaboración de la matriz de evaluación Jerárquico Analítica.	409

## Índice de tablas

Tabla 1:	Clasificación de las fuentes de energía renovables.	30
Tabla 2:	Uso de la energía en América Latina y el Caribe, entre los años 1971 al 2013.	34
Tabla 3:	Suministro global de energía primaria comercial, registro histórico.	34
Tabla 4:	Base para la tabulación del cálculo de la demanda de combustibles de Chile.	45
Tabla 5:	Precios del petróleo crudo WTI, registro histórico y proyección al año 2029.	46
Tabla 6:	Proyección de importaciones de petróleo crudo en Chile y precios internacionales del petróleo WTI.	47
Tabla 7:	Elasticidad/precio de la demanda ( $E_d$ ) de combustibles para Chile; elaborado con antecedentes de la CNE (2016).	47
Tabla 8:	“ <i>Esfuerzo Nacional</i> ” y “ <i>Esfuerzo Fiscal</i> ” de Chile.	62
Tabla 9:	Esquema de solución de problemas para la toma de las decisiones.	63
Tabla 10:	Pauta de investigación científica.	63
Tabla 11:	Culturas de sostenibilidad medioambiental.	65
Tabla 12:	Resumen ejecutivo del estudio denominado “ <i>Haciendo la transición a la movilidad cero-emisiones 2019; Informe de progreso de los factores que posibilitan los vehículos alternativos en la UE</i> ”.	67
Tabla 13:	Identidad de Kaya, periodos 1997-2010 y 2010-2020.	83

Tabla 14:	Normas europeas relativas a contaminantes para vehículos a gasolina.	92
Tabla 15:	Normas europeas relativas a contaminantes para vehículos diésel.	92
Tabla 16:	Parámetros máximos permitidos de los gases de escape, vehículos a gasolina.	100
Tabla 17:	Parámetros máximos permitidos de los gases de escape, vehículos diésel (gasóleo).	101
Tabla 18:	Perspectiva histórica, con una línea de tiempo de la evolución de los VEs.	124
Tabla 19:	Vehículos Eléctricos de uso personal disponibles en el mercado norteamericano, características, rendimiento y costes.	126
Tabla 20:	Cuadro de datos (matriculaciones, parque de vehículos actual y objetivos gubernamentales para el 2030), de VEs en España.	133
Tabla 21:	Países comprometidos con la movilidad eléctrica.	135
Tabla 22:	Fabricantes de automóviles “ <i>Comprometidos con la movilidad eléctrica</i> ”.	135
Tabla 23:	Baterías recargables y sus aplicaciones.	185
Tabla 24:	Cuadro de precios de recarga de vehículos eléctricos en Europa para el año 2020.	189
Tabla 25:	Vida útil estimada de las baterías.	193
Tabla 26:	Lista de los principales fabricantes de baterías de Litio.	201
Tabla 27:	Generaciones de las baterías, con la química de su celda.	202
Tabla 28:	Ejemplos de baterías.	205
Tabla 29:	Desarrollo de la tecnología solar fotovoltaica a través del tiempo.	228
Tabla 30:	Coste de circulación por kilómetro y emisiones de CO <sub>2</sub> , por tipo de tecnología.	237
Tabla 31:	Vehículos militares para el transporte de tropas.	268
Tabla 32:	AIL Storm, características del SCI.	272
Tabla 33:	Relación de los cambios de la caja de velocidades del vehículo en estudio.	272
Tabla 34:	Parámetros de emisiones de los gases de escape del vehículo en estudio.	273

Tabla 35:	Valores para el coeficiente de adherencia ( $\mu_a$ ).	294
Tabla 36:	Valores para el coeficiente de rodadura ( $\mu_r$ ).	297
Tabla 37:	Valores del coeficiente aerodinámico ( $C_a$ ).	301
Tabla 38:	Porcentajes de volumen y peso de los componentes del aire.	309
Tabla 39:	Clasificación de los gases contaminantes.	313
Tabla 40:	Clasificación de las fuentes contaminantes.	317
Tabla 41:	Factores de ajuste utilizados en el Modelo IVE.	325
Tabla 42:	Descripción de las variables del Modelo IVE.	326
Tabla 43:	Registros atmosféricos para el control de gases.	331
Tabla 44:	Límites máximos permitidos de emisiones contaminantes de vehículos motorizados según cilindrada.	332
Tabla 45:	Resultados de toma de muestras de análisis visual.	332
Tabla 46:	Resultados de la toma de muestras de gases de escape.	333
Tabla 47:	Promedio de la toma de muestras.	334
Tabla 48:	Varianza de la toma de muestras.	334
Tabla 49:	Desviación estándar de la toma de muestras.	334
Tabla 50:	Límite inferior y superior de la toma de muestras, <i>modo 5015</i> .	335
Tabla 51:	Límite inferior y superior de la toma de muestras, <i>modo 2525</i> .	335
Tabla 52:	Relación peso-potencia, en configuraciones SCI y VEs.	362
Tabla 53:	Costo Anual Equivalente, SCI y configuraciones de VEs con sistemas de baterías de ácido-plomo.	371
Tabla 54:	Costo Anual Equivalente, SCI y configuraciones de VEs con baterías de iones de Litio.	372
Tabla 55:	Costo Anual Equivalente, SCI y configuraciones de VEs con batería de fosfato de hierro-litio.	373
Tabla 56:	Niveles de probabilidad del riesgo.	380
Tabla 57:	Grados de severidad del riesgo.	381
Tabla 58:	Evaluación del riesgo, mediante probabilidad de ocurrencia y severidad de su impacto.	381
Tabla 59:	Estimación de los niveles de probabilidad, en función de los riesgos.	383

Tabla 60:	Estimación del grado de severidad de los riesgos.	385
Tabla 61:	Cálculo de la matriz de riesgo.	386
Tabla 62:	Medidas de mitigación para los riesgos establecidos, probabilidad de ocurrencia y severidad del impacto determinado.	388
Tabla 63:	Modelización de los escenarios.	396
Tabla 64:	Matriz de beneficios (reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> ), criterio Hurwitz.	398
Tabla 65:	Criterio Hurwitz aplicado a condiciones (tipo de recarga) establecidas.	398
Tabla 66:	Matriz de beneficios (reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> ), criterio Laplace.	399
Tabla 67:	Criterio Laplace aplicado a condiciones (tipo de recarga) establecidas.	400
Tabla 68:	Esquema de toma de decisiones.	404
Tabla 69:	Ventajas y desventajas del método Jerárquico Analítico.	406
Tabla 70:	Matriz de evaluación.	408
Tabla 71:	Matriz de precios.	410
Tabla 72:	Matriz CAE comparado.	411
Tabla 73:	Matriz de vida útil del sistema de baterías.	411
Tabla 74:	Matriz de Relación peso-potencia.	412
Tabla 75:	Resultados de la matriz de evaluación.	414
Tabla 76:	Coficiente de competencias de los expertos según resultados de la guía de autoevaluación aplicada.	425
Tabla 77:	Criterio de calificación de respuestas.	426
Tabla 78:	Respuestas de los “ <i>Expertos</i> ” a las preguntas realizadas.	427
Tabla 79:	Observaciones u opiniones planteadas por los “ <i>Expertos</i> ”.	430
Tabla 80:	Extracto del resultado de la aplicación del método DELPHI, resultado promediado de las preguntas a Expertos del proceso y el Experto revisor del mismo.	438
Tabla 81:	Revisión iterada por parte del “ <i>Experto revisor</i> ” del proceso.	438

## Índice de gráficos

Gráfico 1:	Porcentaje anual de uso de la energía en Chile, por sector de consumo (1965-2008).	36
Gráfico 2:	Uso anual de la energía en Chile, por sector de consumo.	38
Gráfico 3:	Evolución histórica (2006-2018) del Precio Medio de Mercado de la electricidad en Chile, Sistema Interconectado Central.	39
Gráfico 4:	Importaciones de petróleo crudo en Chile, 2013-2018.	46
Gráfico 5:	Esquema de capacidad/flexibilidad del transporte personal versus el transporte público.	68
Gráfico 6:	El “ <i>Desarrollo sostenible</i> ” y su interacción con la dimensión “ <i>Social</i> ”, “ <i>Económica</i> ” y “ <i>Medioambiental</i> ”.	75
Gráfico 7:	Distribución porcentual de los componentes de un vehículo con motor de combustión interna (SCI).	76
Gráfico 8:	Distribución porcentual de los componentes de un vehículo eléctrico de tamaño compacto.	77
Gráfico 9:	Impacto medioambiental de los componentes de vehículos de transporte de pasajeros durante su ciclo de vida.	78
Gráfico 10:	Algunos de los factores que influyen en la elección de un medio de transporte.	80
Gráfico 11:	Ciclo de la adaptación al cambio climático; fuente, “ <i>Procesos de toma de decisiones y adaptación al cambio climático</i> ”.	84
Gráfico 12:	Emisiones de CO <sub>2</sub> en el comercio internacional.	85
Gráfico 13:	Comparativo sobre las emisiones en Europa para la generación de energía necesaria de un vehículo con motor de combustión interna.	88
Gráfico 14:	Impacto ambiental por tipo de vehículo, en relación a la motorización y tipo de combustible.	89
Gráfico 15:	Límites del sistema para un análisis completo del ciclo de vida de los vehículos.	115
Gráfico 16:	Proyección de un posible escenario (2010-2050) a nivel mundial de ventas de VEs.	125
Gráfico 17:	Ranking de mercado e industria de VEs, año 2018.	127

Gráfico 18:	Índice de desarrollo de VEs en 7 países representativos, mercado versus industria.	132
Gráfico 19:	Matriz energética brasileña año 2018, en comparación con la matriz energética mundial promedio.	147
Gráfico 20:	Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en Chile.	157
Gráfico 21:	Diagrama de energía para diferentes tipos de baterías.	193
Gráfico 22:	Países productores de pilas y baterías de iones de Litio, cantidades en miles de dólares de los Estados Unidos de América.	201
Gráfico 23:	Principales fabricantes y número de VEs fabricados hasta el año 2018.	203
Gráfico 24:	Principales impactos (positivos y negativos) en la red eléctrica, producto de la masificación y explotación de VEs.	213
Gráfico 25:	Red inteligente (Smart grid), que vincula la interacción del vehículo a la red (V2G) y de la red con el vehículo (G2V), ya sea de manera bidireccional como unidireccional (V1G).	215
Gráfico 26:	Puntos de recarga de VEs y distribución por tipo de conectores, disponibles en la ciudad de Granada, España.	225
Gráfico 27:	Diagrama general de un sistema de recarga de vehículos eléctricos en modo integrado PV-Grid (fotovoltaico – red eléctrica).	230
Gráfico 28:	Modelo de 5 fases para el “ <i>Marco de valoración para el almacenamiento de electricidad</i> ”.	245
Gráfico 29:	Modelo de solución Battery Swtich Station.	247
Gráfico 30:	Esquema estimado de gestión energética de VEs para el año 2030.	258
Gráfico 31:	Costes estimados de mantenimiento en función del tiempo para los vehículos motorizados.	261
Gráfico 32:	Confiabilidad estimada de vehículos motorizados en función de los años de uso.	262
Gráfico 33:	Gráfico de dispersión general Jack Knife.	264
Gráfico 34:	Comparativo de emisiones de gases de efecto invernadero.	274
Gráfico 35:	Depreciación del vehículo militar de transporte en estudio.	276

Gráfico 36:	Curva de par motor y curva de potencia del motor de un vehículo a gasolina.	279
Gráfico 37:	Representación porcentual de los gases de escape de un vehículo con motor a gasolina (ciclo Otto).	315
Gráfico 38:	Representación porcentual de los gases de escape de un vehículo con motor diésel (gasóleo).	315
Gráfico 39:	Esquema de un motor eléctrico de corriente continua.	349
Gráfico 40:	Límites de los escenarios propuestos para el sistema.	392
Gráfico 41:	Niveles del Método Jerárquico Analítico (AHP).	405
Gráfico 42:	Gráfico de notas máximas y mínimas en las respuestas de los Expertos, junto al experto revisor del proceso, asociado a la aplicación del método DELPHI sobre los resultados de la tesis.	427

## **Esquema de la tesis.**

En el contexto señalado en los párrafos precedentes y para establecer las condiciones que permiten la recolección de datos (Selltiz C., et al., 1970), de tal forma que la combinación y análisis den lugar a resultados relevantes y útiles, la presente tesis sigue el que a continuación se detalla, el cual expresa de manera sucinta los temas que tratan cada uno de los capítulos.

- El **Capítulo I “Introducción, materiales y métodos”**, se centra en la preocupación ambiental relativa a las fuentes contaminantes, junto con los aspectos geopolíticos que se vinculan con la disponibilidad de los insumos combustibles. Todo ello desde el punto de vista económico y estratégico en relación con los costes para mantener operativas las Fuerzas Armadas. Considera la problemática medio ambiental existente y busca las competencias y conocimientos que permitan aportar una solución al desarrollo humano y tecnológico, desagregando la situación problema y de ese modo, permitir ser integrada en función del contexto, posibilitando encontrar una solución plausible y global.
- El **Capítulo II “Estado del arte en materia de electro movilidad”**, se basa en el desarrollo sostenible de los vehículos, su marco regulatorio a nivel mundial y local, los parámetros de emisiones, la eficiencia energética, la historia de los Vehículos Eléctricos y su impacto medioambiental. Asimismo, detalla los sistemas de almacenamiento de la energía en los vehículos eléctricos y los sistemas de recarga de éstos.
- El **Capítulo III “Desarrollo de la investigación”**, se enfoca en el diseño de conversión de un vehículo, que originalmente cuente con un sistema de combustión interna (SCI) para transformarse en un vehículo eléctrico (VE),



verificando si el uso de un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías de iones de Litio es más eficiente y tiene un menor impacto ambiental que las baterías de ácido-plomo. Asimismo, efectúa la evaluación y elección del sistema y su configuración, que busca justificar que el impacto en la movilidad eléctrica, en la transformación de un vehículo militar de combustión interna en vehículo eléctrico sería desde un punto de vista económico viable, dado el precio por kilómetro recorrido y, asimismo, desde la perspectiva ambiental, beneficia a la sociedad mediante la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Se incluye en este capítulo la determinación de los factores de riesgo y las medidas de mitigación de éstos, así como también se considera el proceso de toma de decisiones para encontrar la respuesta apropiada para resolver una situación problema, a través de un método de comparación de configuraciones y sistemas mediante una matriz de evaluación.

- En el **Capítulo IV “Aplicación del método DELPHI”**, en el cual, el estudio es analizado por un grupo de “*Expertos*”, lo que permite contrastar los resultados de la investigación, en base a las opiniones de un panel idóneo, lo que permite contar con una mirada objetiva, neutra y sin sesgo.
- El **Capítulo V “Conclusiones y líneas futuras de investigación”**, sintetiza los resultados obtenidos y valida la hipótesis de partida, junto con la respuesta a los objetivos planteados. Busca en definitiva incrementar el conocimiento actual, generando una propuesta para extender la vida útil de un activo (vehículo militar), revitalizándolo y favoreciendo el impacto positivo en el medio ambiente y de ese modo, plantea trabajos futuros que eventualmente mejoren o complementen la presente tesis.

# **CAPÍTULO I      Introducción, materiales y métodos**

## **1.1.    Introducción**

Nuestro planeta podría ser considerado un sistema complejo, donde las actividades que realizan unas personas u organizaciones de alguna manera impactan en otras, independiente de su condición geográfica y situación social. Estas actividades obedecen usualmente a la satisfacción de demandas de bienes y servicios, cuyos puntos de origen y destino se unen mediante las comunicaciones y particularmente con los servicios de transporte, los cuales requieren energía para que los vehículos se muevan, siendo la energía térmica la más comúnmente utilizada, y que se obtiene de combustibles de origen fósil u orgánico. En este sentido, los medios de transporte utilizan en gran medida motores de combustión interna basados en gasolina, gasóleo (petróleo diésel) o gas natural comprimido (GNC), generando además de la energía para el transporte, productos contaminantes para el medio ambiente, como efecto residual.

Conviene señalar también que una de las grandes problemáticas de Chile (y del mundo) es la contaminación (MINSAL, 2011), particularmente la Organización Mundial de la Salud<sup>4</sup> (OMS) declara que este país tiene una de las ciudades más contaminadas de Latinoamérica, Santiago de Chile, recomendando en la nota descriptiva N.º 313 de marzo de 2014, sobre “*Calidad del aire (exterior) y salud*” que las “...*políticas fructíferas relativas a los sectores de transporte, planificación urbana, generación de electricidad e industria, que permiten reducir la contaminación del aire: transporte; ...utilización de vehículos pesados de motor diésel más limpios y vehículos y combustibles de bajas emisiones, especialmente combustibles con bajo contenido de azufre*”. Sobre el particular, “*La OMS obtiene pruebas científicas relativas a la relación entre la contaminación del aire y determinadas enfermedades,*

---

<sup>4</sup> <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

*incluidas cardiopatías, neumopatías y cánceres, y realiza estimaciones de la carga de morbilidad mundial y regional derivada de la exposición actual a la contaminación del aire”.*

Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas<sup>5</sup> (ONU) señaló que *“Las emisiones globales de CO<sub>2</sub> aumentaron un 2% en 2017”,* así como *“...El informe “Global Carbon Budget” refiere un aumento del 2% para el año en curso, alcanzando las 41.000 millones de toneladas, según los datos publicados en la revista “Environmental Research Letters”<sup>6</sup>”.* Con anterioridad, las emisiones habían permanecido constantes durante tres años, con un aumento previsto para el año 2018. La mayoría de las emisiones provienen del carbón, el gas y el petróleo, como es habitual...” (Jackson R., 2017).

Por consiguiente, en concordancia con lo expuesto, la búsqueda de métodos eficientes para mitigar los efectos negativos de la contaminación no es solo una tarea gubernamental, sino que las ciencias de la Ingeniería deben proponer y proporcionar técnicas para reducir los factores que causan este problema, como la eficiencia energética y las mejoras en el transporte, ya que se involucra la salud pública y la integridad de las personas; se requiere de un trabajo consistente para obtener respuestas para la sociedad, mediante análisis de factores y con metodologías claras, ya que es un deber ético proporcionar evidencias sólidas que ayuden a solucionar los problemas detectados. De manera particular, para satisfacer sus necesidades de transporte, las Fuerzas Armadas (FAs) de todo el mundo cuentan con vehículos propulsados por motores de combustión interna (diésel y gasolina), debido principalmente a su rendimiento, robustez, operación simple y fácil mantenimiento; si bien estas *“Ventajas”* del uso de combustibles predisponen que las Fuerzas Armadas

---

<sup>5</sup> <http://m.elmostrador.cl/noticias/mundo/2017/11/14/aumento-de-emisiones-mundiales-de-co2-durante-2017-causa-desazon-en-la-cumbre-del-clima-de-la-onu/>

<sup>6</sup> <http://iopscience.iop.org/journal/1748-9326>

operen vehículos con estas características, el impacto ambiental que generan es alto, considerando la emisión de partículas y gases contaminantes en función del uso de éstos medios, lo que representa un mayor riesgo para la salud de las personas y, por lo tanto, un aspecto negativo desde el punto de vista ambiental.

Al respecto, es útil recordar que *“El medio cobra un precio por la supervivencia de los mejor adaptados, los captura, ya que al adaptarse al medio, éste se convierte en una trampa en el tiempo y espacio, permanecen donde están y casi tal como eran”* (Bronowsky J., 1979), toda vez que, de no variar la aplicación de nuevas políticas medio ambientales, respecto del uso de ciertos vehículos y éstos mantienen el uso para el cual fueron destinados, no habrá un incentivo para su reemplazo, por lo que se mantendrá el uso de tecnologías contaminantes para la satisfacción de la demanda de transporte. Sin embargo, hasta hace poco tiempo, cuando se requería de un medio de transporte automotriz, se disponía principalmente de dos opciones: motor de gasolina o motor diésel (gasóleo).

En la actualidad, esta situación ha variado, existiendo otras alternativas que progresivamente se incorporan a la matriz de medios de transporte, tales como los vehículos eléctricos, los vehículos híbridos, o los híbridos enchufables, que tienen una serie de ventajas asociadas a una mayor eficiencia energética y a la ausencia de emisiones contaminantes en su uso, aunque con limitaciones, tales como: la autonomía, la disponibilidad de medios de recarga o el tiempo que involucra la reposición de la recarga del sistema de almacenamiento de energía.

En un análisis de lo anteriormente expuesto, la presente investigación, cuyo carácter es heurístico, efectúa una revisión del *“Estado del arte”* en materia de movilidad eléctrica de vehículos de uso civil en Chile, con el objetivo de aplicar las técnicas y buenas

prácticas en los vehículos militares de transporte de tropas<sup>7</sup>, lo que eventualmente podrá dar respuesta a la pregunta *¿Es posible atenuar los efectos contaminantes de los vehículos militares mediante la movilidad eléctrica?* y, con ello, generar conocimiento y posibles mejoras futuras, las cuales deben ser factibles y sostenibles.

La energía utilizada en el transporte procede de dos tipos de fuentes, las “*Renovables*” y las “*No renovables*”; estas últimas son altamente conocidas, pues se basan en insumos como el carbón mineral, el petróleo y/o el gas natural. Asimismo, están las fuentes de energía que tienen la capacidad de renovarse (Sumathi S., 2015), impactando sutilmente en el medio ambiente, como detalla la tabla siguiente.

<b>Energía</b>	<b>Origen</b>	<b>Producto</b>
Biomasa	Quema de masas vegetales y desechos animales.	Calor y gas
Hidráulica	Flujos de agua que aprovechan la diferencia de altura (energía potencial) para hacer girar turbinas.	Electricidad
Eólica	Captura del viento a través de turbinas.	Electricidad
Geotérmica	Flujos de vapores termales que hacen girar turbinas.	Electricidad y calor
Solar	Absorción y almacenamiento de energía producida por el Sol.	Electricidad y calor
<b>Tecnologías emergentes</b>		
Hidrógeno combustible	Ignición de gas hidrógeno, celdas de combustible, electrólisis.	Calor, energía mecánica
Nano tecnología	Utilización de propiedades únicas de materiales a escala atómica o molecular	Electricidad
<b>Tecnología antigua</b>		
Viento	Navegación a vela, molinos de viento	Energía mecánica
Agua	Ruedas de agua, represas.	Energía mecánica, electricidad
Energía cinética	Animales de tiro, fuerza humana.	Energía mecánica

**Tabla 1:** Clasificación de las fuentes de energía renovables; fuente, Sumathi S. (2015).

Al amparo de este contexto, la preocupación ambiental no es solo un tema que

<sup>7</sup> Conjunto de personas que componen los cuerpos armados, integradas por Oficiales, Suboficiales y Soldados.

concierna a los Gobiernos o al mundo académico, sino que es transversal a toda la sociedad, lo cual incluye a las Fuerzas Armadas, las cuales ya sea por el uso de recursos económicos escasos o por las actividades de entrenamiento, afectan el medio ambiente con el uso de vehículos de combustión interna.

De acuerdo con la UE, en su estudio denominado “*Estrategia Europea sobre vehículos limpios y energéticamente eficientes*” (Comisión Europea, 2010), se estimó que los motores de combustión interna seguirán predominando en los vehículos a corto y medio plazo. No obstante, la explotación y el uso de combustibles alternativos y tecnologías de propulsión serán cada vez más importantes, dado que desde una mirada holística, los vehículos “*Ecológicos*” tienen muy poco impacto ambiental<sup>8</sup> (Kukreja B., et al., 2018) durante su ciclo de vida útil, que depende en gran medida de la duración de sus baterías y que se estima (Egede P., et al., 2015) entre 100.000 a 200.000 km, dependiendo de factores tales como: el comportamiento del conductor, la temperatura ambiente, los tipos de firmes, la topografía y la recarga de las baterías (ciclos). Asimismo, los vehículos eléctricos pueden utilizar fuentes energéticas con bajas emisiones de carbono, sus contaminantes atmosféricos son muy bajos y sus componentes pueden ser reciclados<sup>9</sup>, como es el caso de Toyota, que reutiliza más del 90% de las baterías de sus coches híbridos en Europa a través de empresas especializadas, como *Toyota España*. Mediante un acuerdo con SNAM (*Société Nouvelle D’Affinage des Métaux*) garantiza la correcta logística inversa, a través del tratamiento y reciclaje de las baterías, las cuales y una vez sometidas al proceso respectivo, permite que sus componentes vuelvan a formar parte de nuevos vehículos eléctricos o su utilización como almacenamiento de energía para uso industrial o

---

<sup>8</sup> La ciudad de Vancouver, mediante el estudio “*Life Cycle Analysis of Electric Vehicles*” (Kukreja B., et al., 2018), determinó que un automóvil Ford Focus (SCI) emitía 253g CO<sub>2</sub>-eq/km y por otra parte, un automóvil Mitsubishi i-MiEV (VE), como promedio, en su circulación producía 2,2g CO<sub>2</sub>-eq/km.

<sup>9</sup> <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/asi-es-como-toyota-recicla-mas-90-baterias-coches-hibridos-europa/20200211185631033096.html>

domiciliario.

Los vehículos ecológicos, incluidos los que pueden funcionar con electricidad, hidrógeno, biogás y biocombustibles, pueden contribuir de manera significativa a materializar las prioridades de Europa, inclinados a desarrollar una economía basada en el conocimiento y la innovación, promoviendo el uso eficiente de los recursos, con una mirada más ecológica y competitiva, a través de un crecimiento sostenible.

En esta materia, las Fuerzas Armadas tienen interés en el uso de combustibles alternativos con el objetivo de reducir su dependencia estratégica; conociéndose los esfuerzos de varios ejércitos para disponer de combustibles de origen sintético, pero donde su impacto ambiental no fue contemplado. Al mismo tiempo, existen registros del Ejército de los Estados Unidos de América (US Army) sobre el uso de combustibles alternativos, derivados principalmente de la necesidad de contar con otras opciones viables para sus vehículos militares, que prestan servicio en diferentes partes del mundo. En este mismo orden de ideas, distintos ejércitos (NDCEE–US Army, 2010) pugnan por contar con otros tipos de combustible, pero su motivación tiene fundamentos estratégicos, como sería la de mantener la movilidad de sus vehículos de combate sin considerar el efecto medioambiental que éstos producen. Por otro lado, es necesario tener en cuenta que los altos costes de mantener operativas las Fuerzas Armadas hacen que sea necesario optimizar los recursos de un país, por lo que es una opción a tener presente ante la posibilidad de modificar los vehículos en lugar de reemplazarlos, revitalizándolos y logrando extender su vida útil.

### **1.1.1. El transporte y la necesidad de energía.**

El acceso a los recursos energéticos, la seguridad del suministro de energía, los precios altos y crecientes de la energía, la falta de competencia, la lenta incorporación en el mercado de energías renovables, la inversión insuficiente

en eficiencia energética y la escasa reducción de gases de efecto invernadero (Zweifel P., et al., 2017), ponen en peligro y cuestionamiento toda actividad de transporte. Sobre la base de estos antecedentes, es evidente que el “*Transporte*” está ligado al uso de los combustibles; En el ámbito regional, el uso de energía en América Latina (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016) se ha triplicado en los últimos cuarenta años, pasando de 248 Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo<sup>10</sup> (MTEP) en 1971, a 848 MTEP en 2013 y una proyección para el año 2020, superior a las 1.000 MTEP (Altomonte H., et al., 2000), representando más del 8% del aumento de la demanda global de energía en ese periodo. Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) que representaba el 68,9% de toda la demanda de energía primaria en 1971, continúan siendo los combustibles más importantes en la matriz energética y supusieron el 74,4% en 2013. Asimismo, se evidencia una tendencia en el uso de energías menos contaminantes, como sería el caso del gas natural, los biocombustibles y las energías renovables, y que señalan claramente, una creciente diversificación hacia el uso de combustibles bajos en emisiones de carbón.

Lo señalado en el párrafo anterior se refleja en el siguiente cuadro, el cual se basa en los datos del estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (2016), denominado “*Necesidades de Energía para América Latina y el Caribe al 2040*”.

---

<sup>10</sup> La Tonelada Equivalente de petróleo (TEP) es una unidad de energía que equivale al rendimiento de energía de una tonelada de petróleo, la cual, como varía según la composición química de éste, se utiliza un valor convencional de: 41.868.000.000 Julios = 11.630 kWh.



Fuente energética	1971		2013	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Carbón	8	3,22%	42,8	5,05%
Petróleo	135,9	54,71%	389,6	45,94%
Gas	27,2	10,95%	199	23,47%
Nuclear	.-	0%	8,5	1,00%
Hidráulica	7,6	3,06%	62,8	7,41%
Biocombustible y residuos	69,7	28,06%	136,7	16,12%
Renovables (eólica, solar y térmica)	.-	0%	8,6	1,01%
<b>Total (MTEP)</b>	<b>248,4</b>		<b>848,0</b>	

**Tabla 2:** Uso de la energía en América Latina y el Caribe, entre los años 1971 al 2013, cifras en Millones de Toneladas Equivalentes de petróleo (MTEP); fuente, Banco Interamericano de Desarrollo (2016).

	1950		1975		2000		2013	
	MTEP	%	MTEP	%	MTEP	%	MTEP	%
<b>Petróleo</b>	500	27	2.290	44	3.519	39	4.185	33
<b>Carbón</b>	1.120	61	1.640	18	2.157	24	3.827	30
<b>Gas natural</b>	180	10	930	32	2.217	25	3.020	24
<b>Hidráulica</b>	30	2	300	6	617	7	8.59	7
<b>Nuclear</b>	-	-	20	0	585	6	563	4
<b>Renovable</b>	-	-	-	-	-	-	279	2
<b>Total (MTEP)</b>	<b>1.830</b>		<b>5.180</b>		<b>9.095</b>		<b>12.733</b>	

**Tabla 3:** Suministro global de energía primaria comercial, registro histórico; fuente, Zweifel P., et al. (2017).

Como corolario, y con base en los datos del año 2016, se deduce que, si bien hubo un esfuerzo en la diversificación de la matriz energética, el consumo de petróleo como fuente principal para el transporte, continuaba al alza.

En el contexto global, es necesario tener presente que la era del petróleo tiene su origen reciente (hace unos 150 años), siendo este líquido el que ha proporcionado la energía para el desarrollo de la industria y el transporte,

actividades fundamentales para la población. Al respecto, es interesante resaltar que el estudio de su impacto ambiental, ha sido una preocupación creciente en los últimos años, en especial por sus efectos en la salud de las personas.

### 1.1.2. La energía usada en el transporte.

Para llevar a cabo cualquier actividad relacionada con el transporte se necesitará energía; dicha energía se transformará en la capacidad motriz para desplazar el vehículo o medio respectivo. Asimismo, como se detalló en el punto precedente, el sector transporte depende en gran medida del petróleo, lo que implica que las políticas energéticas vinculadas con él tengan que basarse en dos enfoques (Universidad Autónoma de Barcelona, 2006); *Mejorar la eficiencia energética de los vehículos y utilizar otras fuentes de energía.*

Bajo esta mirada, y en relación con los medios de transporte, debemos intentar generar el menor impacto en el medio ambiente (Yeh S. et al., 2019), de conformidad con los objetivos del Acuerdo de París<sup>11</sup>, que requieren poner en práctica un amplio conjunto de medidas, resumidas en el eslogan de la Agencia Internacional de Energía; *Evitar, Cambiar y Mejorar.*

- *Evitar* implica reducir las actividades de transporte, limitando el número de viajes y sus distancias. Esta medida, en parte puede ser puesta en práctica a través de un diseño urbano eficiente, con ciudades compactas o barrios que incorporen viviendas y comercio, reduciendo los viajes en vehículo y con ello las actividades de transporte (pasajeros-kilómetro y tonelada-kilómetro).
- *Cambiar* consiste en limitar la dependencia de combustibles fósiles,

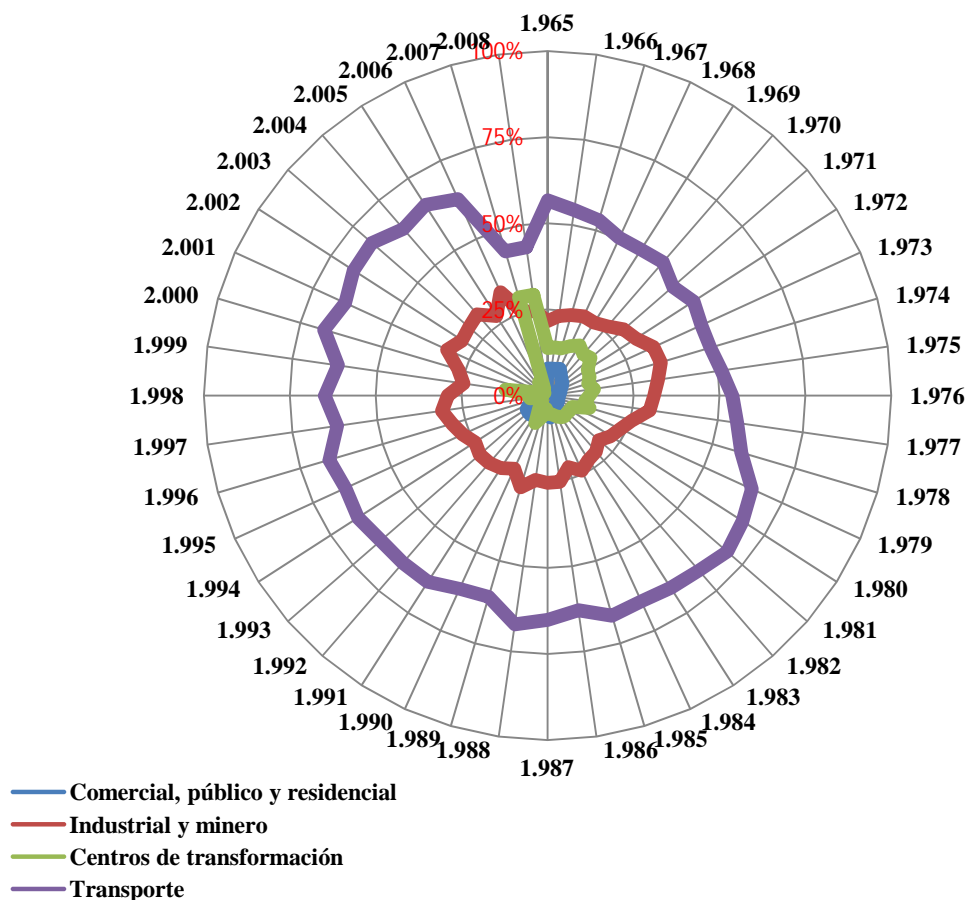
---

<sup>11</sup> Acuerdo de París (COP 21 – 2015), compromiso dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cuyo objetivo es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático.

alternando con modos de transporte eficientes y medios de transporte no motorizados (bicicletas).

- **Mejorar** involucra optimizarlos vehículos, mediante la adopción de trenes de potencia más eficientes, reemplazando los combustibles fósiles basados en el petróleo por combustibles bajos en carbono y aumentando la ocupación de los vehículos y sus factores de carga.

En atención a lo anterior y centrados en el consumo energético en Chile, el gráfico siguiente y subsiguiente presentan el “Consumo Sectorial petróleo Diésel (1965 a 2008) en porcentaje y en miles de m<sup>3</sup>”.



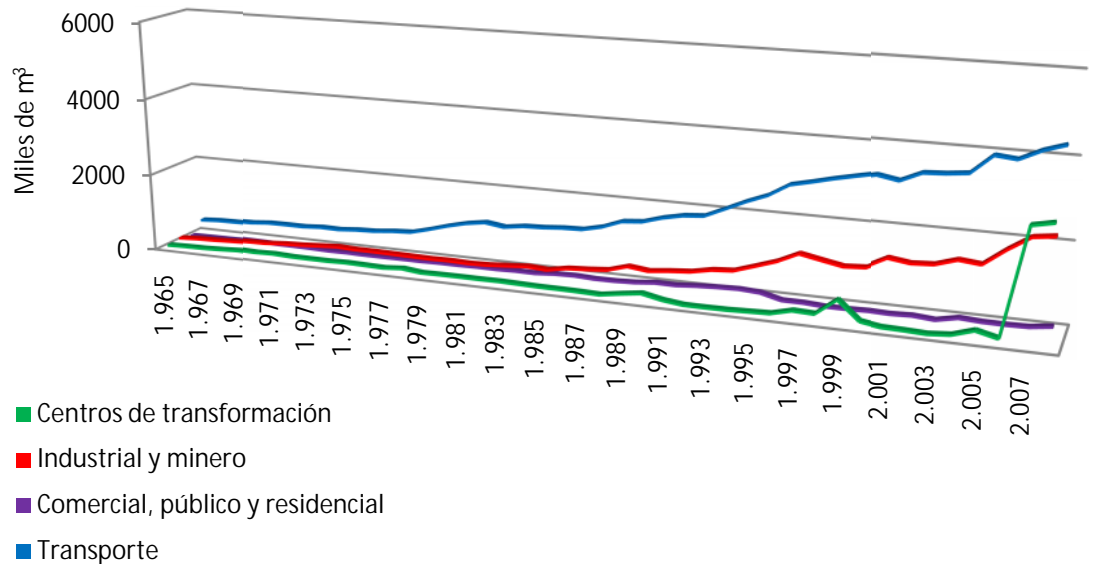
**Gráfico 1:** Porcentaje anual de uso de la energía en Chile, por sector de consumo (1965-2008), elaborado con antecedentes del estudio denominado “Balances anuales de energía en Chile”, Comisión Nacional de Energía-Chile (2016); fuente, Roberts C., (2020).

Sobre la base de los informes de la Comisión Nacional de Energía de Chile (CNE, 2016), se infiere un aumento sostenido en la cantidad de insumo combustible utilizado por el sector Transporte. No así un aumento porcentual, siendo el que se concentra en el sector de “*Centros de transformación*”, aquel que tiene como objeto la generación de energía eléctrica<sup>12</sup>, el que presenta mayor aumento como resultado del crecimiento vegetativo de la población, sus necesidades energéticas domiciliarias y del desarrollo de la industria.

Esta necesidad creciente de energía no es nueva; hace tiempo que (Mancilla S., 2009) ya se tenía conciencia sobre la “*Crisis energética en Chile*”, y se identificaron las fuentes principales de suministro de insumos para la producción de energía eléctrica (a nivel mundial para el año 2002; mayoritariamente 38,9% carbón, 19% gas natural, 16,5% nuclear, 7,2% petróleo y un 16,6% por generación hidráulica). Diversos estudios señalaban claramente los efectos contaminantes de los insumos derivados de combustibles fósiles y el “*Aporte potencial de energías renovables no convencionales y uso eficiente de la energía eléctrica*”, como sería el caso del trabajo titulado “*Eficiencia energética de la matriz eléctrica 2008-2025*” que apuntaba que para el año 2025 se estima que el 43,4% de la capacidad instalada para la generación de energía provendrá de fuentes renovables no convencionales, lo que en consideración al tiempo restante para ello, permite concluir que la brecha a cubrir es relevante.

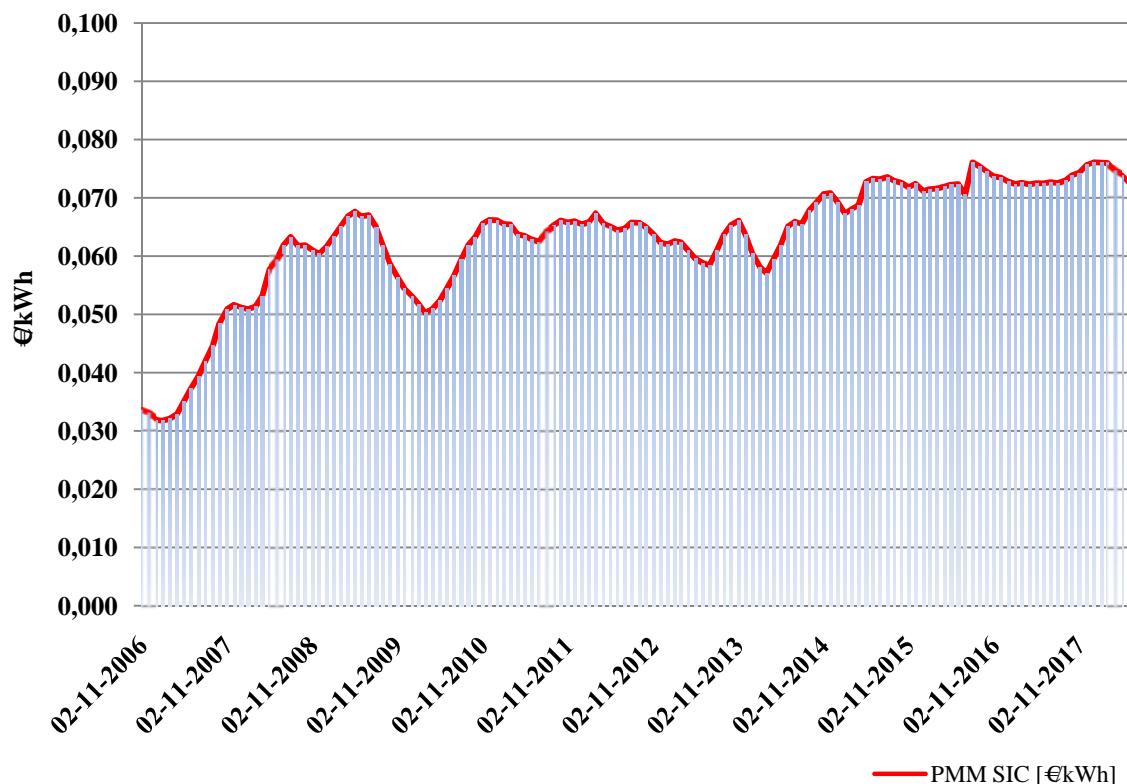
---

<sup>12</sup> Energía eléctrica = Potencia multiplicada por unidad de tiempo (kWh = kW \* 1 hora).



**Gráfico 2:** Uso anual de la energía en Chile, por sector de consumo, en miles de m<sup>3</sup> (1965-2008); elaborado con antecedentes del estudio denominado “*Balances anuales de energía en Chile*”, Comisión Nacional de Energía (Chile), 2016; fuente, Roberts C., (2020).

Es destacable que de conformidad con el estudio “*Energy and Sustainability in Chile: Simulation Modelling of Low carbon Technologies and Energy in Buildings*” (Simon F., 2017) “...la sostenibilidad en el ámbito de la energía puede lograrse de una manera rentable en Chile, a través de la generación de energía limpia a partir de fuentes renovables y el uso eficiente de la energía...”, esto nos indica la viabilidad de las acciones tendentes a reemplazar los sistemas que utilizan energía contaminante, por otros que sean de un menor impacto medioambiental y lograr con ello atenuar las emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Gráfico 3:** Evolución histórica (2006-2018) del Precio Medio de Mercado de la electricidad en Chile, Sistema Interconectado Central (PMM SIC); fuente, Comisión Nacional de Energía<sup>13</sup> (Chile).

En relación con los precios de la energía eléctrica en Chile, son de los más altos de Latinoamérica y eventualmente del mundo<sup>14</sup>. Esto es debido en parte a la configuración geográfica del país (largo y angosto), la matriz energética y la disponibilidad de fuentes de generación de ésta (carbón, gas natural, energía potencial hidráulica, etc.), como también, al hecho de que este tipo de servicio fue privatizado a través de oligopolios que cuentan con sus tarifas reguladas. El gráfico anterior muestra la evolución histórica del Precio Medio de Mercado (en Euros) de la electricidad en Chile, desde 2006 al 2018, donde se aprecia el crecimiento sostenido de la electricidad<sup>15</sup>, que se ve afectada por fenómenos

<sup>13</sup> <https://www.cne.cl/precio-medio-de-mercado-2/>

<sup>14</sup> <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1960>

<sup>15</sup> <https://www.cne.cl/precio-medio-de-mercado-2/>

nacionales e internacionales.

### **1.1.3. Los combustibles fósiles y su contexto geopolítico.**

En la década de los años 1970 se produjo una crisis mundial de hidrocarburos, conocida como la “*Crisis del petróleo de 1973*”, debida a la cual la Organización de Países Árabes Exportadores de petróleo (OPEP) que, más Egipto, Siria y Túnez, decide no exportar petróleo a países que habían apoyado a Israel durante la guerra de Yom Kipur<sup>16</sup>. Esta medida incluía a los Estados Unidos y a sus aliados de Europa Occidental. La escasez del crudo a nivel mundial, tuvo como consecuencia una baja en la oferta, que propició el aumento del precio del petróleo y sus derivados, impactando gravemente en todas las actividades económicas dependientes del transporte y de la generación de energía. Es por ello y por factores complementarios, que desde esa época existe una idea generalizada de la amenaza del *shortage* o “*Escasez de petróleo*”, principalmente por el agotamiento de los pozos productivos; pero si bien el recurso no es ilimitado, se estima que dicha escasez no se trata más que de un argumento destinado a mantener los precios, equilibrando la oferta con la demanda (Bergier J., et al., 1971).

El párrafo redactado en 1971 por Jacques Bergier y Bernard Thomas, refleja la imagen que se tenía en esa época de escasez, de uno de los insumos por excelencia de la historia reciente, “*El petróleo está llamado a ser el elemento de base número uno en la fabricación de productos químicos y alimenticios, lo que está en juego también será importante durante mucho tiempo. La frase de Clemenceau*<sup>17</sup> “*una gota de petróleo vale una gota de sangre*”–*parafraseada por Lord Curson, ex virrey de las Indias y miembro del Gabinete de Guerra*

---

<sup>16</sup> Conflicto Árabe-israelí, desarrollado en Medio Oriente, desde el 6 al 25 de octubre de 1973.

<sup>17</sup> Georges Clemenceau (1841-1929), Primer Ministro y Jefe de Gobierno durante el régimen de la Tercera República Francesa.

*inglés en 1914-1918, “Los aliados han navegado hacia la victoria sobre una ola de petróleo” será tan válida para la tercera guerra mundial, como lo fue en la primera como en la segunda. Se seguirá muriendo por el petróleo”* (Bergier J., et al., 1971). Todo lo anterior, refuerza la idea de la necesidad de contar con alternativas viables para los medios de transporte, que permitan prescindir del uso de los combustibles fósiles, ya sea por su escasez relativa, su precio y/o principalmente por los efectos contaminantes.

- a. Factores Macroeconómicos que impactan en el precio de los combustibles:** La economía chilena se encuentra condicionada por la teoría económica general. En este contexto la literatura correspondiente define “*Demanda*” como la cantidad de bienes y servicios que pueden ser adquiridos a los diferentes precios del mercado por un consumidor, siendo diversos los factores que determinan la demanda, principalmente el precio, los bienes o servicios sustitutos, los ingresos y el número o de consumidores.
  
- b. Demanda por combustible ante un aumento del parque de vehículos:** Chile consume un 3,7% de energía adicional cada año<sup>18</sup>, tanto por la actividad del transporte como para la generación de energía eléctrica. Se estima que el mercado futuro de los combustibles tenga un sostenido aumento, propiciado por el constante crecimiento de la interdependencia económica entre los países, el crecimiento vegetativo de la población mundial, el aumento del parque de vehículos y la incertidumbre geopolítica en las zonas donde se ubican los principales yacimientos.

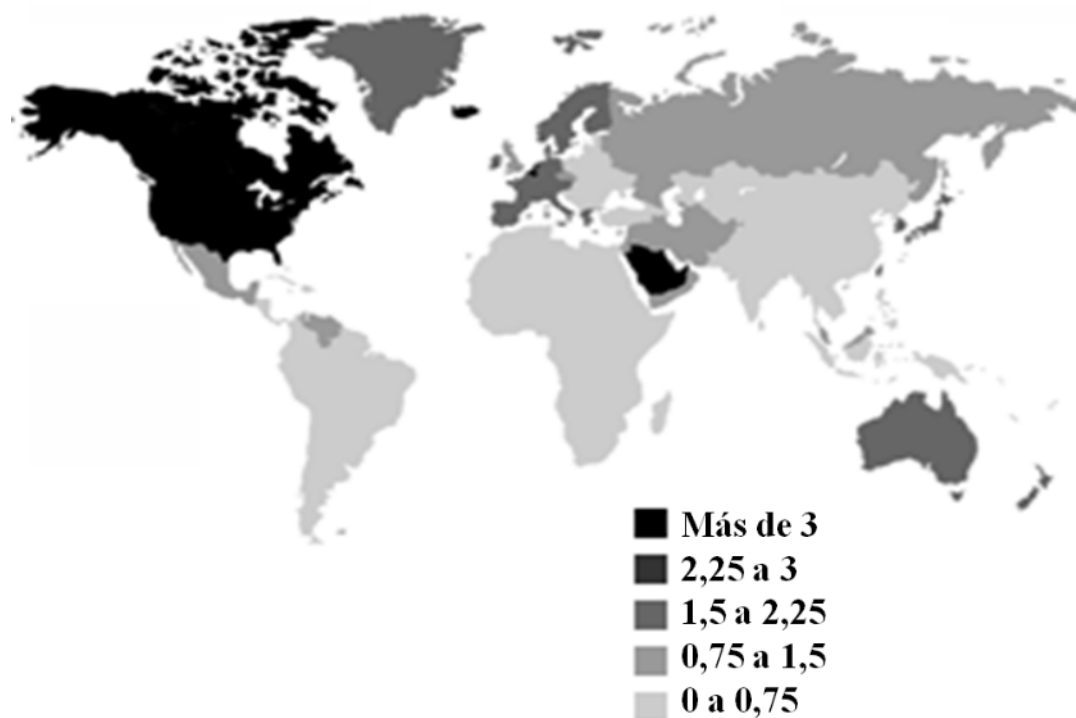
La imagen siguiente presenta el consumo *per cápita* de combustibles a

---

<sup>18</sup> ENAP (Empresa Nacional del Petróleo –Chile)



nivel mundial. Se aprecia que en los países desarrollados, son los mayores consumidores de estos insumos, en comparación con las economías emergentes como Chile, donde la tasa de consumo se encuentra en el tramo de 0 a 0,75 Barriles/habitante-día.



**Imagen 1:** Consumo mundial *per cápita* de combustibles (en toneladas); fuente, British Petroleum.

El consumo de petróleo en el mundo se espera<sup>19</sup> sea de 118 millones de barriles<sup>20</sup> en 2030. En el año 2015 y a título de ejemplo, la demanda diaria era de 97 millones de barriles y se según otros estudios (Altomonte H., et al., 2000) para el 2020 se proyectó una demanda diaria de más de 100 millones de barriles, esto lleva a concluir que la inestabilidad de los precios del petróleo impide un pronóstico sobre el consumo (y su precio) en muchas partes del mundo, los que se ven afectados<sup>21</sup> con fenómenos

<sup>19</sup> Platts Global Alert.

<sup>20</sup> Un barril de petróleo corresponde a 42 galones o 159 litros y equivale a 0,173 toneladas métricas (Tm).

<sup>21</sup> <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-52057994>

como la pandemia del COVID-19, que impactó en la demanda, la generación y en el transporte del combustible.

Debe tenerse en cuenta que Chile importa el 98,04% del combustible que consume (CNE, 2016), principalmente porque no se han descubierto yacimientos de características importantes o éstos son de difícil acceso, al encontrarse bajo el océano (Avseth P., et al., 2015) y la demanda por este tipo de insumo crece día a día. De esta manera se estimó que para el año 2020 se producirán importaciones de petróleo crudo por una cantidad cercana<sup>22</sup> a las 14.000.000 [Ton] y que la tendencia observada para los próximos años es similar a la proyectada (aumento sostenido).

**c. Precio del petróleo:** El precio del barril de petróleo<sup>23</sup> se considera un referente en el sistema energético mundial, sus oscilaciones afectan a dicho sistema de forma unidireccional (el consumidor no puede impactar en el precio, a menos que reduzca su demanda), además forma parte vital de los mercados financieros. A lo largo de la historia, el precio del crudo ha sufrido una evolución marcada por circunstancias sociopolíticas y económicas; desde 1970 se observa que los mayores precios del petróleo han ido acompañados de distintos conflictos o fenómenos sociales que afectaron a los países productores o sus entornos, tales como los que a continuación se indican (International Energy Agency–IEA).

- Guerra de Yon Kipur.
- Embargo de la OPEP–Restricción de producción de la OPEP.

---

<sup>22</sup> Según la Comisión Nacional de Energía (Chile) durante el 2020 se importaron 5.367.880 Ton de petróleo crudo, 3.928.576 Ton de gasóleo y 264.584 Ton de gasolina, que se explica por el fenómeno del COVID-19, que restringió el movimiento de personas y bienes; fuente [www.energiaabierta.cl](http://www.energiaabierta.cl)

<sup>23</sup> Chile utiliza como referencia el precio del WTI, *West Texas Intermediate*, combustible producido en los Estados Unidos de América, cuyo precio se tranza internacionalmente.

- Guerra Irán–Irak.
- Incremento de producción Saudí.
- Invasión de Kuwait.
- Crisis Asiática.
- Guerras del Golfo.
- Atentados a las Torres Gemelas y Pentágono.
- Guerra en Afganistán.

Por otra parte, se consideran los factores de impacto que a continuación se indican.

**1) Proyección de los requerimientos chilenos de combustibles.**

Desde 1950 la Empresa Nacional del Petróleo de Chile (ENAP) explota los únicos yacimientos de hidrocarburos descubiertos en la zona sur-austral de este país, y que, debido a un factor de agotamiento, actualmente representan menos del 2% de la demanda de petróleo crudo en Chile. Por otra parte, los requerimientos nacionales de combustibles<sup>24</sup> crecen aproximadamente un 3,7% por año. La tendencia puede explicarse por el aumento constante del número de vehículos en circulación a nivel nacional. Para estimar el consumo local de combustibles, necesariamente se tiene que tener en cuenta el crecimiento del parque de vehículos. Con base en los registros del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE), se llevó a cabo una proyección utilizado como modelo la ecuación siguiente (ver ecuación N.º 1), utilizando los valores de la tabla 4 y que representan el consumo promedio por tipo de vehículo.

---

<sup>24</sup> Platts Global Alert - Banco Central de Chile.

$$Y = 2E + 8Ln(x) - 2E + 9 \quad 2.900.000$$

Ecuación 1

Trasporte terrestre <sup>25</sup>	Recorrido diario	Rendimiento	Consumo anual por vehículo
Transporte de carga	200 km	6 km/lt	12.170 lt
Transporte público	110 km	10 km/lt	4.015 lt
Transporte privado	20 km	15 km/lt	490 lt

**Tabla 4:** Base para la tabulación del cálculo de la demanda de combustibles de Chile; elaborado con antecedentes de la Comisión Nacional de Energía y el Anuario Automotriz; fuente, Roberts C., (2020).

2) **Elasticidad/Precio de la demanda de los combustibles.** La elasticidad/precio de la demanda indica cuanto varía la cantidad demandada de un bien cuando varía su precio, matemáticamente se expresa de la siguiente manera.

$$Ed = \frac{\% \text{Variación de cantidad demandada}}{\% \text{Variación porcentual del precio}} = \frac{Q/Q}{P/P}$$

Ecuación 2

Donde

$E_d$  : Elasticidad/precio de la demanda de combustibles.

$Q_d$  : Cantidad demandada.

$P$  : Precio.

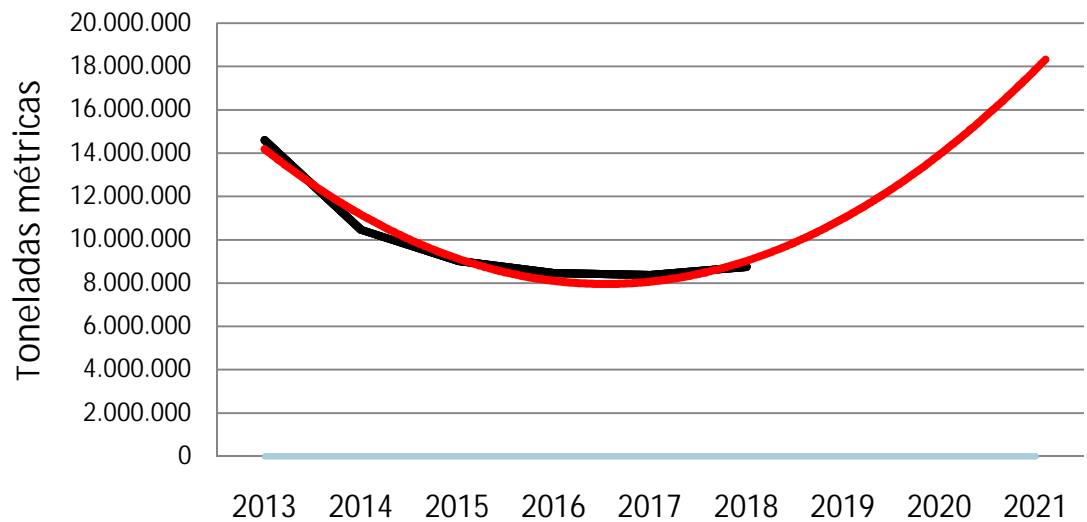
Esta elasticidad/precio de la demanda de combustible, es útil para esta investigación, de manera de verificar el impacto las

<sup>25</sup> Transporte de carga 100% gasóleo (diésel); transporte de pasajeros 80 % gasóleo (diésel) y 20% gasolina; transporte privado 30% gasóleo (diésel) y 70% gasolina.

importaciones de petróleo crudo en Chile (para ser refinado), producto de las variaciones internacionales del precio del crudo WTI.

La elasticidad/precio de la demanda puede ser:

- Elástica con respecto al precio.
- Inelástica con respecto al precio.
- Elástica unitaria.
- Perfectamente inelástica.



$$y = 497683x^2 - 5E+06x + 2E+07$$

**Gráfico 4:** Importaciones de petróleo crudo en Chile, 2013-2018; Línea de tendencia polinomial de grado 2; elaborado con datos de la Comisión Nacional de Energía (Chile); fuente, Roberts C., (2020).

Año	Precio €/Barril
2016	58,16
2017	60,64
2018	60,57
2019	61,81
2020	63,08
2021	64,92
2022	66,99

Año	Precio €/Barril
2023	69,12
2024	71,30
2025	73,50
2026	75,84
2027	78,28
2028	80,79
2029	83,36

**Tabla 5:** Precios del petróleo crudo WTI, registro histórico y proyección al año 2029, valores en Euros; fuente: CNE-2016.

Año	Importaciones de petróleo crudo en Chile [Tm]	Precio del barril de WTI [€]
2016	8.400.000 [Tm]	58,16 €/barril    336,32 €/Tm
2020 (Proyección)	14.000.000 [Tm]	63,08 €/barril,    364,77 €/Tm

**Tabla 6:** Proyección de importaciones de petróleo crudo en Chile y precios<sup>26</sup> internacionales del petróleo *WTI*; elaborado con antecedentes de la CNE (2016) y proyección de las importaciones de petróleo crudo en Chile; fuente, Roberts C., (2020).

$(\Delta Q/Q) * 100$	=	$((14.000.000 - 8.400.000) / 14.000.000) * 100$	=	40,00
$(\Delta P/P) * 100$	=	$\frac{(364,77 * 14.000.000 - 336,32 * 8.400.000)}{(364,77 * 14.000.000)}$	*100	= 44,68
$E_d = (\Delta Q/Q) * 100 / (\Delta P/P) * 100$				= <b>0,89</b>

**Tabla 7:** Elasticidad/precio de la demanda ( $E_d$ ) de combustibles para Chile; elaborado con antecedentes de la CNE (2016); fuente, Roberts C., (2020).

Al contrastar el volumen de las importaciones de petróleo crudo en Chile (comparación entre el año 2016 y la proyección al año 2020), versus el precio internacional del barril de WTI (tomado como referencia), queda en evidencia que la demanda se puede considerar elástica, ya que su valor para el año 2020 es de 0,89, esto significa que las importaciones muestran respuestas ante las variaciones del precio internacional del insumo (ONU - ILPES, 2012), donde la cantidad demandada aumenta en mayor proporción de lo que sube el precio.

De lo anterior, se infiere que, ante un incremento del precio del petróleo, la demanda en Chile experimentará variaciones (asociadas al consumo del mismo), continuando su tendencia creciente, debido al aumento de los requerimientos de transporte y del parque de

<sup>26</sup> <https://www.iea.org/statistics/prices/>

vehículos, lo que directamente impacta en las emisiones de gases contaminantes.

#### 1.1.4. Las Fuerzas Armadas.

Conforme lo señalado en el “*Libro de la Defensa*” (MDN Chile, 2010), “*En un plano más específico, la misión general de las Fuerzas Armadas es coadyuvar al resguardo de la soberanía y el mantenimiento de la integridad territorial, así como proteger a la población, las instituciones y los recursos vitales del país frente a cualquier amenaza o presión externa. Además, cooperan con fuerzas militares de otros países en iniciativas bilaterales o multilaterales, siempre de acuerdo con el interés nacional*”, cuyos ámbitos de acción son los que se detallan.

- **Nacional**; integrar el Sistema de Defensa Nacional.
- **Internacional**; respaldar los esfuerzos de cooperación del Estado con la comunidad internacional, para mantener la paz y seguridad en el mundo, fomentando la mediación pacífica entre países, como lo fue la participación de Chile en la Misión de Estabilización de Haití entre los años 2004-2017 (MDN, 2018).



**Imagen 2:** Tropas a bordo de un vehículo militar chileno en misión de estabilización de Haití (Misiones de Paz), por mandato de la ONU (2004-2017); fuente, El Mercurio On Line (EMOL).

- **Cooperación al desarrollo;** contribuir con las capacidades institucionales a la sustentabilidad social, económica y **ambiental del país**, así como enfrentar desastres o catástrofes.

Las Fuerzas Armadas requieren estar preparadas y capacitadas para cumplir sus misiones con suficiente grado de flexibilidad y dinamismo. En términos generales, deben estar en óptimas condiciones para el combate, como para afianzar la seguridad y participar en el esfuerzo que el Estado realiza en el mantenimiento de la paz mundial. Es por esto que a las Fuerzas Armadas no se las puede concebir como instituciones abocadas única y exclusivamente a los problemas de la guerra, sino también a los problemas de la construcción de la paz.

**a. Experiencias medioambientales de Fuerzas Armadas a nivel mundial:**

Las Fuerzas Armadas a nivel mundial son responsables<sup>27</sup> del 10% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, ya sea por un uso de los recursos (los cuales siempre son escasos) o por el impacto que generan las actividades de entrenamiento y las de tipo administrativo, los ejércitos han considerado la necesidad de contar con combustibles alternativos, con el objeto de minimizar los impactos ambientales o disminuir la dependencia estratégica de un insumo particular. En este contexto, son conocidos los esfuerzos de varios ejércitos en la II Guerra Mundial por contar con combustibles de origen sintético mediante la hidrogenización del carbón<sup>28</sup>, pero que actualmente, debido a su impacto medioambiental<sup>29</sup> fue desechado. En los últimos años, ha vuelto a surgir con el nombre de E-

---

<sup>27</sup> Mönch, Max, Las huellas de la Guerra.

<sup>28</sup> Proceso Bergius y Proceso Fischer-Tropsch.

<sup>29</sup> Documental de la cadena internacional Deutsche Welle (DW), denominado “*Barcos olvidados, bombas de tiempo en el mar*”, disponible en [https://www.youtube.com/watch?v=OPKY5UyW\\_NI](https://www.youtube.com/watch?v=OPKY5UyW_NI)



diésel o *Blue Crude*, un combustible sintético<sup>30</sup> desarrollado por la empresa Sunfire<sup>31</sup> en conjunto con el fabricante Audi, sobre la base de hidrógeno obtenido del agua y CO<sub>2</sub> del medio ambiente y que se somete a un proceso de catalización mediante energía eléctrica (Sunfire Ghmb, 2017), la cual puede provenir de fuentes renovables.

Asimismo, existen registros de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América sobre el uso de combustibles diferentes del petróleo diésel (NDCEE – US Army, 2010), derivado principalmente de la necesidad de contar con alternativas viables para el combustible empleado en sus vehículos militares, en uso en distintas partes del mundo. Seguidamente, es necesario señalar que se están llevando a cabo esfuerzos, por parte de distintos ejércitos (Bildirici M., 2017), para suministrarse con otras opciones distintas a los combustibles fósiles, si bien su motivación se basa en el sentido estratégico de no perder la movilidad de sus tropas.

En armonía con lo anterior, debemos tener en consideración la siguiente reflexión, que si bien tiene casi 50 años, sigue válida el día de hoy, “*Un país cuyas riquezas naturales lo han hecho tan poderoso que necesita más actividad, también va a buscar energía en otros sitios, como es el caso de Estados Unidos, ahora bien, esta energía, más que el carbón, la electricidad y el átomo, es el petróleo*” (Bergier J., et al., 1971).

Independiente de lo señalado, cabe destacar que para el caso del Ejército de Tierra Español, el cual acaba de presentar e incorporar a sus activos,

---

<sup>30</sup> <https://twenergy.com/sostenibilidad/movilidad-sostenible/e-diesel-combustible-sintetico/>

<sup>31</sup> <https://www.sunfire.de/en/company/news/detail/first-commercial-plant-for-the-production-of-blue-crude-planned-in-norway>

vehículos híbrido-eléctricos con estándares militares, capaces de circular por todo tipo de terrenos y soportar múltiples condiciones. Estos vehículos que se basan en la plataforma multipropósito **VAMTAC**, en particular el “*URO Vamtac*”<sup>32</sup>, el cual fue desarrollado bajo el proyecto ATHEMTO y financiado por el Ministerio de Defensa Español, el Instituto de Investigación del Automóvil de la Universidad Politécnica de Madrid (INSIA), en colaboración con Urovesa y, cuya imagen se presenta a continuación.



**Imagen 3:** Vehículo híbrido-eléctrico “*URO Vamtac*”, fabricado por Urovesa; fuente, [www.hibridosyelectricos.com](http://www.hibridosyelectricos.com)

Por otra parte, y desde una mirada de concepto, con la reciente (2020) salida al mercado de la camioneta *Tesla Cybertruck*<sup>33</sup>, diferentes diseñadores ya se han puesto a trabajar en el diseño de prototipos con eventuales usos policiales o militares, aprovechando sus características de bajo nivel de ruido, autonomía y reducida huella térmica, convirtiéndolos en vehículos tácticos y de transporte, cuya representación conceptual se presenta en la imagen siguiente.

<sup>32</sup> <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/ejercito-espanol-electrifica-uro-vamtac-4x4-electrico-autonomia-extendida/20191129181259031841.html>

<sup>33</sup> <https://www.tesla.com/cybertruck>



**Imagen 4:** Prototipo conceptual de una camioneta *Tesla Cybertruck* en versión táctica, equipada con un vehículo no tripulado (dron) de vigilancia y armamento automático; fuente, [www.hibridosyelectricos.com](http://www.hibridosyelectricos.com)

- b. Las Fuerzas Armadas chilenas en materia medioambiental:** Las Fuerzas Armadas de Chile, dependientes del Ministerio de Defensa, se componen del Ejército, la Armada<sup>34</sup> y la Fuerza Aérea<sup>35</sup>, existiendo también entidades que dependen del Ministerio del Interior, como los Carabineros (policía uniformada) las cuales, además de sus propias funciones, tienen compromisos medioambientales basados en políticas de uso eficiente de la energía, disposición final de residuos peligrosos y protección de las áreas de interés de cada Institución. El Ministerio de Defensa Nacional<sup>36</sup>, organización de nivel directivo superior, señala que *“Chile bajo el principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas, ha asumido diversas políticas y compromisos en materia medioambiental y de cambio climático a nivel internacional, imponiéndose voluntariamente ambiciosas metas relativas a la disminución de emisiones de carbono y fomento de fuentes de energías*

<sup>34</sup> <https://www.armada.cl/armada/la-armada/politica-medioambiental-de-la-armada/2014-04-28/184900.html>

<sup>35</sup> [http://www.fach.cl/noticias/2014/octubre/28\\_ambiental/28\\_ambiental.html](http://www.fach.cl/noticias/2014/octubre/28_ambiental/28_ambiental.html)

<sup>36</sup> <http://www.defensa.cl/noticias/ministerio-defensa-inicia-preparacion-de-politica-medioambiental/>

*renovables*”<sup>37</sup>, explicando que en dicho contexto las soluciones, que se llevan a cabo desde la comunidad nacional e internacional, comprometen a todos los sectores del Estado, incluyendo la Defensa. En estas condiciones tiene sentido afirmar que *“El sector Defensa, por un lado, debe contribuir a los esfuerzos que Chile está desarrollando para reducir los efectos asociados al cambio climático. Por otro lado, es necesario analizar los riesgos aparejados a este fenómeno, las consecuencias que ya se observan, y que tenderán a incrementarse en el futuro como efecto del deterioro medioambiental”*.

Particularmente y desde la perspectiva medioambiental, el Ejército de Chile publica periódicamente<sup>38</sup> el *“Reporte de Responsabilidad Social”*, desde los años 2006-2007, 2008-2009, 2011, 2014, 2015 y 2016, y los temas tratados se centran en el empleo eficiente de la energía eléctrica, en la protección y uso correcto de los recursos hídricos, la gestión de las aguas residuales, biodiversidad, efluentes, residuos y la regulación ambiental militar, si bien no se hace referencia a la contaminación atmosférica como tampoco al impacto medioambiental de los vehículos militares. Es por lo anterior que, la presente tesis ***será una innovación al respecto***, en el sentido de proponer una solución parcial, derivada de la modificación de un vehículo dotado de un motor de combustión interna en un vehículo eléctrico, considerando la recarga de su sistema de almacenamiento de energía mediante conexión a la red eléctrica general y otra a través de un método sostenible, con una estación móvil de recarga mediante paneles solares fotovoltaicos (Girard A., et al., 2019),

---

<sup>37</sup> Marcos Robledo Hoecker, Subsecretario de Defensa Nacional, Ministerio de Defensa de Chile, Segundo Taller preparatorio para el IV Libro de la Defensa Nacional, *“Desafíos Globales de la Seguridad Internacional: Cambio Climático”*, 15 de abril de 2016.

<sup>38</sup> <https://www.ejercito.cl/?HistoricoRevistas&publicacion=4>

aprovechando las extraordinarias condiciones de radiación solar con que cuenta la zona norte de Chile.

Por otra parte, como se indicó en los párrafos precedentes, si bien la policía uniformada en Chile, denominada “*Carabineros de Chile*”, no pertenece a las Fuerzas Armadas, es un organismo<sup>39</sup> del Estado de Chile que participa de manera integral en los procesos sociales y que está llevando a cabo políticas en relación con la protección del medio ambiente. A título de ejemplo, la reciente incorporación de Radio patrullas eléctricos e híbridos (motor de combustión interna y motor eléctrico) en la ciudad de Santiago, con el propósito de analizar sus características y someterlos a evaluación, para ver la viabilidad de que en un futuro pudieran integrarse en la totalidad de los cuarteles policiales a nivel nacional, reemplazando los vehículos policiales tradicionales que fueron renovados recientemente con vehículos de combustión interna de alta cilindrada y potencia, tales como SUV *Dodge Durango Police* y *Dodge Charger*.



**Imagen 5:** Radio patrulla eléctrico (izquierda) e Híbrido (derecha), ambos Hyundai Ionic, asignados a Carabineros de Chile, en uso desde Junio de 2019 en la ciudad de Santiago; fuente, [www.lun.com](http://www.lun.com)

<sup>39</sup> [www.carabineros.cl](http://www.carabineros.cl)



**Imagen 6:** Radio patrulla eléctrico, asignado a Carabineros de Chile, Hyundai Ionic 2019; fuente, [www.lun.com](http://www.lun.com)

#### **1.1.5. La política de Defensa.**

Al considerar el concepto de “*Defensa*” como un elemento que otorga seguridad a un país, derivado del esfuerzo mancomunado de un Gobierno, las Fuerzas Armadas y la sociedad civil, por lo que este concepto es único para cada organización y no podría aplicar para un concepto que no incorpore a estos 3 estamentos, en el cual (PMI, 2013) se le otorga valor como la suma total de sus elementos tangibles (personas, equipos, infraestructura y armamento) e intangibles (historia nacional, planificación, estrategias e imagen institucional). Sobre la base de lo expuesto, el economista norteamericano Alain Enthoven, señaló “...*el elegir entre estrategias y sistemas de armases fundamentalmente un problema económico*” y por otra parte, “...*nadie quiere aviones de combate, tanques o buques, por lo que son, sino por lo que son capaces de hacer; por tanto, para que el presupuesto sea un instrumento útil de planificación, los recursos no deben asignarse a cosas...*” (Enthoven A., 1963).

Derivado de lo anterior, parte de la presente tesis se basa en el impacto que

podiese generarse en la transformación de un vehículo militar, bajo parámetros establecidos, con la mirada siempre en perspectiva de que el aspecto principal a analizar es el impacto en el medioambiente, lo que en síntesis, se refleja en lo declarado por el Dr. José Domínguez Abastal<sup>40</sup>, que indicó “...*tenemos que hacer eléctrico todo lo que podamos y mediante energías renovables*”. Los beneficios que se deriven de la disminución del impacto ambiental, serán la variable dominante, prevaleciendo sobre el impacto económico.

En apoyo del lector, en el ámbito de la presente tesis, se presenta un glosario de términos que permitirán comprender de manera general, el ámbito de desempeño y los actores y/o entidades participantes; los conceptos y definiciones se detallan a continuación.

- ***Estrategia:*** Es un “*Conjunto de acciones que se llevan a cabo para lograr un determinado fin*”; además, según la historiadora y científica política Beatrice Heuser, es la “*Relación entre los objetivos políticos y el uso de la fuerza o la amenaza de su uso*”. Otra definición (Bolívar C., et al., 2016) es “*El arte de imponer nuestra voluntad sobre la de otros*”.

Directamente relacionado con estos términos, el estudio denominado “*Estrategia militar, sorpresa & engaño*” (Ortega R., 2019), nos indica en su epílogo que “...*En la historiografía se ha venido gestando cierta nebulosa respecto del atributo esencial de la estrategia. Con mucha premura se tilda de estratégicos a los que toman decisiones más importantes en la batalla o en las operaciones que tienen cierta envergadura en cuanto a los medios empleados, pero es necesario comprender que la estrategia está sobre una norma, un nivel tecnología o*

---

<sup>40</sup> <https://www.ugr.es/visitantes/agenda-cultural/debates-ods-una-llamada-accion-infraestructuras-como-catalizador-un-desarrollo-post-covid-favor-personas-planeta-prosperidad>

*tipo de arma. La estrategia forma una parte de pensar y de actuar para lograr un objetivo al menor coste y donde las ventajas comparativas se obtienen a través del ingenio y habilidad....”.*

Reflexionando sobre este último punto y contando con diferentes definiciones que se puedan aplicar a propósitos distintos, se ha optado para el desarrollo de la tesis, considerar la primera definición, a saber; *“Conjunto de acciones que se llevan a cabo para lograr un determinado fin”.*

- ***Defensa Nacional:*** *“Conjunto de medios materiales y humanos que una nación puede oponer a las amenazas de un adversario en contra de su soberanía. Su propósito es alcanzar una condición de seguridad tal que el país pueda lograr sus objetivos libres de interferencias exteriores”.* Asimismo, desde una perspectiva económica, la Defensa es un bien público que requiere ser financiado por el Estado, el cual decide cómo y cuánto producir de este bien público socialmente demandado y asignar, según eso, los recursos por medio de los mecanismos que dispone para ello. La Defensa utiliza recursos, los que permiten entregar un nivel de potencial que maximiza el efecto defensivo nacional. Ante la escasez de recursos, la sociedad debe elegir entre qué bienes debe adquirir y cuáles sacrificar. La Defensa tiene la característica de ser un bien intangible, que no se consume físicamente a diario, sino que la sociedad la percibe de forma permanente, pasando a ser algo natural. Al vivirse períodos prolongados de paz las personas tienden a pensar que ésta sobra, pero ante una emergencia o posible amenaza empiezan a sentir su escasez. Asimismo, la Defensa garantiza la protección de la población, la preservación del territorio nacional y el resguardo de la soberanía ante



peligros que atenten contra ella, resumiéndose en acciones bélicas, apoyo en situaciones de catástrofe y aquellas tendentes a la prevención de conflictos internacionales y a la mediación (Cartes R., 2015). Lo que interesa no es poseer un bien de Defensa determinado, sino contar con el mismo y mantener una capacidad que satisfaga los requerimientos definidos por el Estado en el tiempo. En resumen, la Defensa produce “*Capacidades operacionales*”.

- ***Doctrina:*** Forma de hacer las cosas o materializar los procesos en una organización armada. Para los efectos del presente estudio, se considerará la doctrina de mantenimiento que dispone el Ejército de Chile para los vehículos militares.
- ***Ejército:*** Organización militar jerarquizada de un Estado, cuyas características principales son la disciplina y la doctrina. Un ejército, a través de la tecnología y el entrenamiento, produce capacidades operacionales.
- ***Fuerzas Armadas:*** Cuerpo armado, formado por un grupo humano y equipamiento, preparado en un aspecto específico de la ciencia militar, estructurado en unidades o cuadros que tienen capacidad de acción y de reacción armada (Paúl A., 2015).
- ***Tropas:*** Agrupación de personas que componen los cuerpos armados; integrados por Oficiales, Suboficiales y Soldados. Las tropas se consideran con su equipamiento y armamento individual.
- ***Logística:*** Es el conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa o de un servicio, especialmente de

distribución. Las actividades logísticas son el puente entre la producción y los mercados que están separados por el tiempo y la distancia. La logística empresarial cubre la gestión y la planificación (Administración) de las actividades de los departamentos de compras, transporte, almacenaje, mantenimiento y distribución.

Según otra definición (Ballou R., 2004), sería “*llevar los bienes adecuados al lugar adecuado, en el momento adecuado y en las condiciones deseadas...*” y, desde una perspectiva militar, la logística es la “*Ciencia militar, destinada a satisfacer las necesidades de vida y de combate de las tropas*”.

- ***Imagen institucional:*** Es una representación que manifiesta percepción del Ejército por parte del público, siendo una aproximación aceptada de lo que la organización “*significa*”. En este sentido, este concepto se aplicará a la opinión pública del Ejército de Chile en materia medioambiental.
- ***Curso(s) de Acción (COAs; Course of Action):*** Resultado de un análisis a una problemática previamente planteada, la cual contendrá la(s) propuesta(s) de solución, la(s) que debe(n) ser viable(s) y sostenible(s).
- ***Capacidades militares:*** Conjunto de diversos factores (Sistemas de Mando y Control, Sistemas de Armas, entrenamiento, infraestructura, personal y medios de apoyo logístico) establecidos sobre la base de principios y procedimientos doctrinarios que buscan conseguir un determinado efecto militar a nivel estratégico, operacional o táctico para cumplir misiones asignadas.
- ***Ciclo de vida.*** Período de evolución de un sistema en el tiempo, desde su

concepción hasta su retiro.

- **Reposición:** Renovación parcial o total del material ya existente, con la finalidad de mantener la capacidad actual.
- **Recuperación:** Proceso orientado a poner en operación las capacidades actuales de un determinado material que se encuentra no operativo.
- **Sostenimiento:** Conservación de las capacidades operativas de un determinado material a lo largo de su vida útil.
- **Perfiles de uso:** Condicionantes y parámetros que regulan y rigen el empleo del material militar.
- **Vida útil remanente:** Período que media entre el tiempo en que un sistema entra en operatividad hasta que es retirado del servicio.
- **Obsolescencia económica:** Situación que comienza a causar un notable y gradual aumento de los costes de operación y/o mantenimiento, haciendo muy alto el coste e insostenible mantener operativo el activo.
- **Obsolescencia táctica:** Variación o modificación en el modo de empleo de un sistema o activo, como consecuencia de la evolución de la *Doctrina*.
- **Obsolescencia logística:** Pérdida de continuidad de fabricación de equipamiento, insumos, productos, repuestos, etc. y que afecta su uso por no ser factible su sostenimiento y operación.
- **Obsolescencia tecnológica:** Condición que se manifiesta en un equipo, cuando los sistemas no alcanzan los rendimientos de diseño.

### 1.1.6. Indicadores para determinar el esfuerzo en materia de Defensa.

Además de la terminología militar y complementaria, es necesario contar con los indicadores del esfuerzo en materia de Defensa desarrollado por un país, con el propósito de relacionarlo con el presente estudio, para lo cual a continuación se detallan los siguientes conceptos, los cuales serán aplicados en el desarrollo de la presente tesis.

- ***Esfuerzo Nacional:*** Gasto en Defensa como porcentaje del Producto Interno Bruto de un país determinado. Permite evaluar el coste de oportunidad que se le asigna a la Defensa, con respecto de otras actividades como son Salud, Educación, Transporte, entre otras.
- ***Esfuerzo Fiscal:*** Gasto en Defensa como porcentaje del gasto fiscal total que entrega el país a los diferentes Ministerios; permite evaluar el valor social que la autoridad asigna a los recursos gubernamentales de Defensa en comparación a otras actividades nacionales.

En relación con lo anterior, se presenta el siguiente cuadro del “*Esfuerzo Nacional*” y “*Esfuerzo Fiscal*”, desde el año 2013 hasta el 2016 (Valores en dólares de los Estados Unidos de América y su equivalencia en Euros).

Año	PIB total	Esfuerzo Nacional	Esfuerzo Fiscal
2013	USD 278.540.532.414	1,06%	4,68%
	253.471.884.497 €		
2014	USD 246.159.081.572	1,10%	4,51%
	224.004.764.231 €		
2015	USD 219.406.808.586	0,98%	3,86%
	199.660.195.813 €		

Año	PIB total	Esfuerzo Nacional	Esfuerzo Fiscal
2016	USD 214.770.734.470	0,93%	3,63%
	195.441.368.367,70 €		

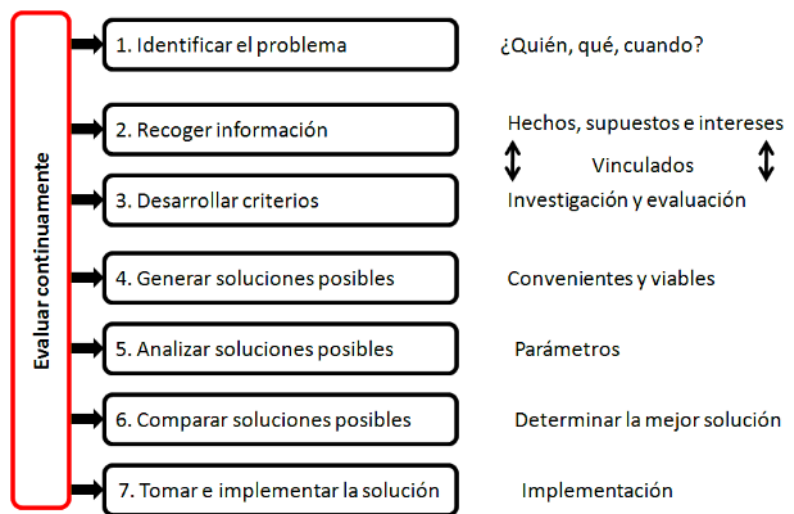
**Tabla 8:** “Esfuerzo Nacional” y “Esfuerzo Fiscal” de Chile; elaborado con datos del Banco Central de Chile y Libro de la Defensa Nacional de Chile, 2017 (Gobierno de Chile); fuente, Roberts C., (2020).

Del cuadro anterior, puede evidenciarse una tendencia en la reducción del “Esfuerzo Nacional” y el “Esfuerzo Fiscal”, factores que se explican por una menor asignación porcentual del presupuesto para las Fuerzas Armadas, derivado de políticas de ajuste presupuestario nacional y priorización del desarrollo social y apoyo a la comunidad (políticas de Salud, Educación y Seguridad Social, entre otras).

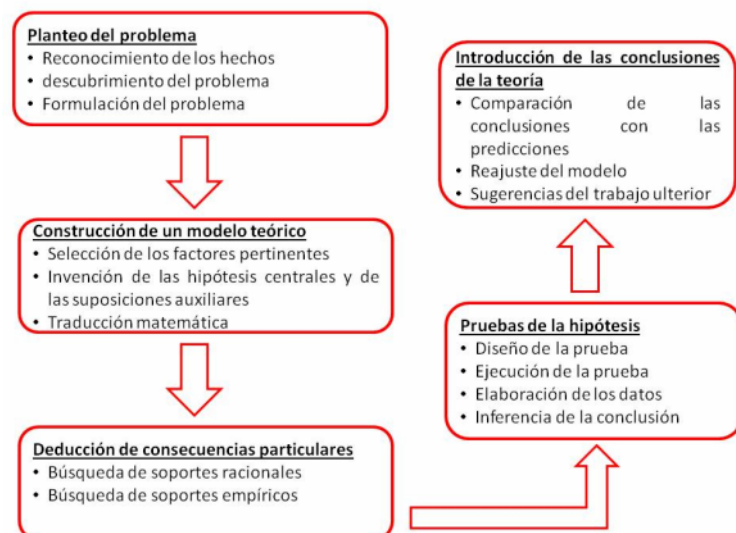
**a. Estrategias que desarrollan los países, relativas a la obtención de capacidades:** Las estrategias definidas por un país para la obtención de capacidades de Defensa, están orientadas a la adquisición de Sistemas de Armas, los que serán inefectivos sin entrenamiento y motivación por parte de aquellos destinados a usarlas. Para adquirir capacidades, los países se ajustan a los presupuestos disponibles, por ejemplo, y para el caso de Chile, la adquisición de capacidades (Libro de la Defensa Nacional, 2017) se realiza de acuerdo a los recursos asignados en “*Tiempo de paz*”.

**b. Estructura institucional para la solución de problemas:** La solución de problemas es una actividad diaria para las instituciones armadas, siendo una manera sistemática de llegar a la mejor solución para resolver una dificultad o problema determinado. Puede ser aplicada a todos los procesos e incluye los pasos necesarios para desarrollar soluciones correctamente razonadas y sustentadas, en la búsqueda de la utilización

óptima de recursos humanos y materiales, junto con la minimización de los impactos que generan dichas soluciones. Para lograr lo anterior, es necesario incorporar técnicas de minimización de riesgos que se adapten a la situación y sean apropiadas a la misma. El fin último es proponer una solución plausible o una recomendación imparcial para la toma de las decisiones siguiendo el esquema que a continuación se indica.



**Tabla 9:** Esquema de solución de problemas para la toma de las decisiones; fuente, Ejército de Chile.



**Tabla 10:** Pauta de investigación científica; fuente, Ortega R., (2010).

Dado ambos esquemas; el de “*Solución de problemas para la toma de decisiones*” y la “*Pauta de investigación científica*”, el estudio estima que pueden de manera simultánea aportar las directrices que posibiliten el logro de los objetivos, siendo estas técnicas aunadas, las que se utilizarán para la búsqueda de la solución a la problemática señalada.

### **1.1.7. El nuevo escenario.**

Las necesidades de transporte implican la existencia de soluciones tecnológicas que cubran estos crecientes requerimientos, generando la mayoría de las veces una mejor calidad de vida en los usuarios y, rompiendo paradigmas (Acosta F., 2005) en su implementación.

Al margen de lo anterior, desde un contexto histórico, se le atribuye la siguiente frase al estratega, periodista e historiador inglés Sir Basil Henry Liddell Hart<sup>41</sup>; “*Hay más de dos mil años de experiencia que nos dicen que lo único más difícil de introducir una nueva idea en la mente militar, es deshacerse de las viejas ideas*” (Horn B., et al., 2003). Ello nos lleva a pensar que la implementación de nuevas soluciones a antiguas problemáticas, eventualmente pueden sufrir el rechazo por parte de los usuarios, considerándolo como la “*Resistencia al cambio*”, la que puede ser inmediata, diferida, abierta e implícita y que se asocia con el “*Miedo a lo desconocido*” o al “*Cambio de rutinas y hábitos*”.

Bajo estas reflexiones, surgen los conceptos de “*Conservación tecnológica*” y “*Catástrofe emancipatoria*” (Boyom C., et al., 2016), siendo la primera de ellas la que se vincula con mantener las prácticas actuales, dado que ellas satisfacen las necesidades y no generan un impacto inmediato y por otra parte, la “*Catás-*

---

<sup>41</sup> 1895 - 1970

*trofe emancipatoria*” que sería el negativismo individual o colectivo (en ocasiones gubernamental), que se resiste a la implementación de nuevas ideas, vaticinando (eventualmente sin fundamentos) el desastre o escaso éxito que ello puede ocasionar y, maximizando los recursos que tendrán que invertirse, como puede evidenciarse en la tabla siguiente.

Apocalipsis	Catastrofismo emancipatorio	Utopía
Grupos radicales abogando por la auto suficiencia	Planificación urbana	Activismo pro tecnología verde
	Consorcio de constructores	
	Generalización de asociaciones medioambientales	

**Tabla 11:** Culturas de sostenibilidad medioambiental; fuente, Boyom C., et al., (2016).

El uso de medios alternativos o la transformación (reconversión) de los activos de transporte con una perspectiva medioambiental, tendente a atenuar el aumento global de las temperaturas promedio, requerirá un amplio conjunto de medidas (Yeh S., et al. 2019) como las señaladas por la *International Energy Agency's (IEA) Sustainable Development Scenario (SDS)*, que indica una estrategia integral, basadas en los conceptos de “*Evitar*”, “*Cambiar*” y “*Mejorar*”.

Bajo esta mirada, es importante señalar que la movilidad eléctrica la definimos (Sandén B., 2014) como “*Un sistema de transporte terrestre basado en vehículos propulsados por electricidad, equipados algunos de estos vehículos con tecnologías que los hacen capaces de producir su propia electricidad y otros que utilizan energía suministrada por una fuente de electricidad exterior el vehículo, generalmente la red eléctrica*”. Desde el punto de vista medioambiental, particularmente asociado a la movilidad eléctrica, para lograr romper estas condiciones, se deben estudiar y proponer estrategias y dinámicas positivas, que se basen en los beneficios sociales principalmente y que destaquen



el menor impacto ambiental que producen los vehículos eléctricos.

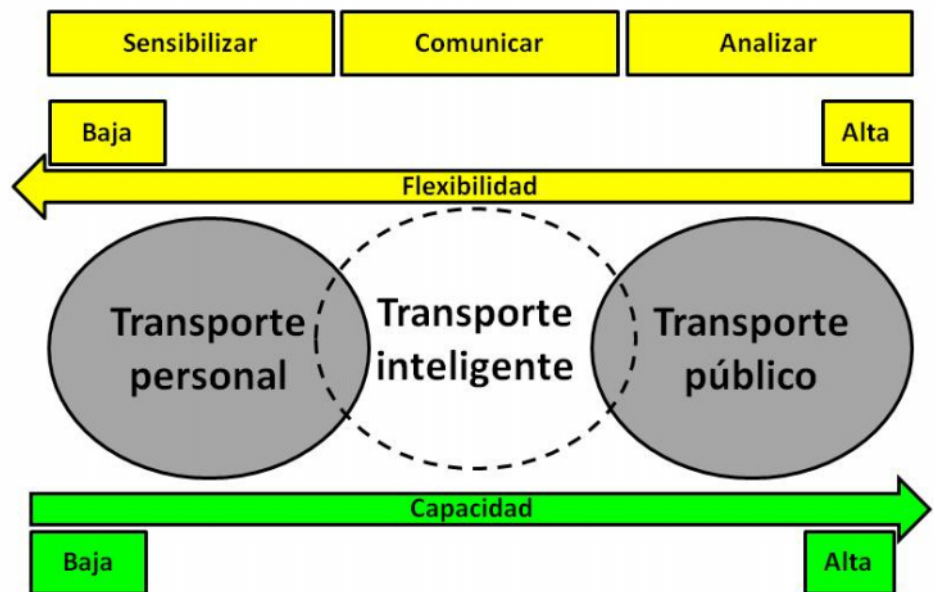
En el año 2019, la *European Automobile Manufacturers Association* (ACEA, 2019), presentó el estudio denominado “*Making the transition to zero-emission mobility 2019; Progress report enabling factors for alternatively-powered cars in the EU*”, el cual expone de manera detallada sus observaciones relativas a la implementación en Europa de vehículos alternativos. El epílogo del documento nos hace inferir la correlación existente entre 4 factores y la penetración en los mercados por parte de dichos vehículos, que se vincula con el cambio de escenario que indica la presente tesis, como detalla la siguiente tabla.

Factor	Observaciones
Comercialización de mercado de vehículos alternativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El 2% de todos los vehículos vendidos en 2018 tenían recarga eléctrica (+1,4% desde el 2014).</li> <li>- El 3,8% de los automóviles de uso personal (turismos) en la UE eran HEV el año 2018 (+2,4% en los últimos cinco años).</li> <li>- 0,4% de todos los vehículos vendidos en 2018 contaban con motores a gas natural (-0,4% desde 2014).</li> <li>- Los FCEV representan actualmente una proporción insignificante de las ventas totales de automóviles de la UE.</li> </ul>
Emisiones de CO <sub>2</sub> de nuevos vehículos de pasajeros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En 2017, los vehículos de gasolina fueron el tipo de automóvil más vendido en la UE por primera vez desde 2009.</li> <li>- 2017 también marcó el primer aumento (+0,3%) en CO<sub>2</sub> de automóviles nuevos desde que comenzaron los registros.</li> <li>- En 2018 se produjo una caída aún mayor en las ventas de vehículos diésel y un fuerte aumento en la demanda de gasolina, lo que resultó en un aumento del 1,8% en las emisiones de CO<sub>2</sub> de los automóviles nuevos.</li> </ul>
Asequibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La absorción en el mercado de VEs está directamente relacionada con el PIB <i>per cápita</i> de un país, lo que demuestra que la asequibilidad es una barrera importante para los consumidores.</li> <li>- Todos los países con una cuota de mercado de VEs de menos del 1% tienen un PIB por debajo de 29.000 € incluidos los Estados miembros de la UE en Europa Central y Oriental, pero también España, Italia y Grecia.</li> <li>- Una participación en el VEs superior al 3,5% solo se produce en países con un PIB <i>per cápita</i> de más de 42.000 €</li> <li>- Solo 12 países de la UE ofrecen pagos de bonificaciones o pri-</li> </ul>

Factor	Observaciones
	mas a los compradores de VEs. Estos incentivos de compra, y especialmente su valor monetario, difieren mucho en toda la Unión Europea.
Disponibilidad de infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aunque ha habido un fuerte crecimiento en infraestructura para VEs, el número total de puntos de recarga disponibles en la UE (144.000) está muy por debajo de lo que se requiere.</li> <li>- Según estimaciones conservadoras de la Comisión Europea, se necesitarán al menos 2,8 millones de puntos de recarga VEs para 2030. Eso significa un aumento de 20 veces en los próximos 12 años.</li> <li>- Cuatro países que cubren el 27% de la superficie total de la UE (los Países Bajos, Alemania, Francia y el Reino Unido) representan el 76% de todos los puntos de recarga de VEs en la UE.</li> <li>- Casi todos los estados miembros de la UE con menos de un punto de recarga por cada 100 km de carretera, tienen una cuota de mercado de VEs inferior al 1%.</li> </ul>

**Tabla 12:** Resumen ejecutivo del estudio denominado “*Haciendo la transición a la movilidad cero-emisiones 2019; Informe de progreso de los factores que posibilitan los vehículos alternativos en la UE*”; fuente, ACEA, (2019).

Este “*Modelo de movilidad*” surge en al amparo de la conciencia ecológica que comienza a operar a nivel mundial, producto de la evidencia axiomática que vincula la contaminación con las emisiones generadas por los vehículos motorizados (SCI) que utilizan combustibles fósiles. Este nuevo escenario ha promovido el desarrollo prototipos de vehículos eléctricos (VEs) alentados por la iniciativa individual, como por diferentes organizaciones, a través de una serie de iniciativas comerciales que inundan el mercado con modelos de vehículos eléctricos para el transporte público y particular, cuyas ventajas y desventajas se pueden observan en el siguiente esquema.



**Gráfico 5:** Esquema de capacidad/flexibilidad del transporte personal versus el transporte público; fuente, Yeh S., et al., (2019).

La movilidad sostenible se ha propuesto en respuesta a las preocupaciones de los resultados negativos de los sistemas de movilidad actuales, lo que ha provocado que haya aumentado la conciencia sobre el impacto que las acciones humanas están teniendo en el medioambiente como resultado de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Todo ello ha llevado a algunos investigadores a teorizar sobre futuros escenarios (Scott M., et al., 2014) para la movilidad eléctrica, reconociendo que la necesidad del desarrollo de ésta con vehículos eléctricos se haya afianzado cada vez más, en la mentalidad de los habitantes de las naciones desarrolladas y progresivamente de aquellas en vías de desarrollo, de manera que se realicen a través de “*Proyectos de calidad y que aporten soluciones*”, de conformidad a lo indicado por Joaquín Avilés López<sup>42</sup> experto en Planeamiento y Gestión de Infraestructuras para el Desarrollo e investigador del Centro de Iniciativas de Cooperación y Desarrollo (CICODE-UGR).

<sup>42</sup> <https://www.ugr.es/visitantes/agenda-cultural/debates-ods-una-llamada-accion-infraestructuras-como-catalizador-un-desarrollo-post-covid-favor-personas-planeta-prosperidad>

## 1.2. Materiales y métodos.

Dadas las consideraciones preliminares asociadas a la problemática existente, la presente tesis, denominada “*Análisis de viabilidad de la electro movilidad para el caso de vehículos militares de transporte*”, se fundamenta en la hipótesis, justificación y objetivos que se detallan a continuación, junto a los métodos utilizados, en la búsqueda de las competencias y conocimientos que permitan aportar una solución al desarrollo humano y tecnológico, bajo una estructura formal (Renck M., et al., 2016).

### 1.2.1. Hipótesis.

Al amparo de las siguientes reflexiones<sup>43</sup>, la hipótesis presentada por el Doctorando es que “*La movilidad eléctrica en vehículos militares es viable, impactando positivamente en aspectos medioambientales*”, lo que radica en lo siguiente:

- a. “*El impacto de las Fuerzas Armadas en el medio ambiente es considerable y no se puede ignorar*”.
- b. “*El coste de hacer nada, supera con creces al coste de hacer algo*”.
- c. *¿Cuáles son los efectos de las Fuerzas Armadas en el medio ambiente?*
- d. “*La preocupación por el medio ambiente, queda relegada a un segundo plano por el esfuerzo de la guerra, los costes ecológicos se consideran daños colaterales, desde el punto de vista militar, el daño al medio ambiente no es relevante, hasta que cobra importancia estratégica, es decir, hasta que se convierte en un recurso para el enemigo*”.

---

<sup>43</sup> Mönch, Max, las huellas de la guerra (*Foot prints of war*), documental de la Corporación de Radio y Televisión Española, 2014.

### 1.2.2. Justificación.

Sobre la problemática y la Hipótesis planteada, todas las reflexiones anteriormente señaladas, en cierto modo motivan la presente tesis, justificada principalmente porque el Doctorando es Oficial del Ejército de Chile, con el grado jerárquico de Teniente Coronel, especialista en “*Transporte militar*” e Ingeniero de Transporte (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – Chile) y que, además de lo anterior, le concierne el impacto medio ambiental relativo a las emisiones contaminantes de los vehículos militares y que afectan el entorno, por lo que la atenuación de éstos efectos negativos que impactan a la sociedad (Ejército de Chile, 2017) es de gran importancia. Actuar proactivamente en estas materias, nos ayudará como sociedad a abordar la problemática de manera anticipada. Finalmente, parafraseando unos dichos atribuidos a Paul Pantone<sup>44</sup>, el doctorando “*Prefiere dejar una mejor huella al irse de la que encontró al llegar*”.

### 1.2.3. Objetivos.

Frente a las circunstancias expuestas, el objetivo principal de la presente investigación es responder la siguiente pregunta; ***¿Es posible atenuar los efectos contaminantes de los vehículos militares mediante la movilidad eléctrica?*** Para complementar lo anterior, los objetivos específicos de la tesis son:

- a. Calcular las emisiones contaminantes de un vehículo militar arquetipo.
- b. Investigar, evaluar y proponer la modificación de un vehículo militar, que se desplaza con un motor de combustión interna (SCI), por un sistema con menor impacto contaminante, sin generar una pérdida de las prestaciones

---

<sup>44</sup> Ingeniero estadounidense al que se le atribuye la invención de un motor que funciona a base de agua.

del mismo.

- c. Determinar los beneficios inherentes a la movilidad eléctrica, asociada a la modificación de un vehículo arquetipo.

Se intentó que la proposición sea heurística o escalable, es decir, a futuro puede ser mejorada (Eco U., 1977), en la medida que la técnica y el “*Estado del arte*” incorporen nuevos conocimientos, destinados a la optimización del transporte de tropas o la mejora en la calidad medio ambiental.

Se aplicó la metodología DELPHI a los resultados, de manera que éstos fueran analizados por un grupo de “*Expertos*”, permitiendo contrastar los resultados de la investigación.

#### **1.2.4. Métodos.**

Por consiguiente, el Doctorando estima que el problema detectado es posible abordarlo como un proyecto (PMI, 2013), toda vez que éste sería un esfuerzo temporal llevado a cabo para crear una solución, para lo cual el final se alcanzaría cuando se logren los objetivos, por ello la presente tesis es del tipo descriptiva-explicativa, por cuanto se analiza el estado del arte tanto a nivel mundial como local (Chile) en materias relativas a la movilidad eléctrica, con el propósito de extrapolar las buenas prácticas, tecnologías y métodos, en la búsqueda de la aplicación de éstas en los vehículos militares con una mirada tendente a la minimización del impacto medio ambiental de ellos, mediante la reducción del aporte de CO<sub>2</sub>.

En este mismo orden de ideas y en consideración a los objetivos que plantea la tesis, se optó por el uso de los métodos que a continuación se detallan.

- Método descriptivo; mediante el cual se detalla y analiza el “*Estado del*

*arte*” en materia de vehículos asociados a la movilidad eléctrica, indicando su evolución histórica, tecnologías, fabricantes y usuarios, centrándose en aquellos en uso en Chile, con el propósito de verificar eventuales aplicaciones en vehículos militares de transporte de tropas, de manera de proponer la modificación en su planta motriz. Para ello fue necesario singularizar las características y limitaciones de éstos, de manera que una eventual modificación no solamente sea con fines de mitigación de efectos negativos medio ambientales, sino que también no se pierdan las capacidades con que cuentan éstos vehículos.

- Método inductivo; mediante el cual se obtienen conclusiones transversales a partir de premisas particulares, fijando los fundamentos para la propuesta de modificación de un vehículo militar de transporte de tropas.
- Método jerárquico-analítico; mediante el cual se asignan puntajes a diferentes criterios de evaluación, priorizándolos en función de su nivel de importancia.
- Método DELPHI; mediante el cual los resultados del estudio son analizados por un grupo de “*Expertos*”, para predecir los efectos de éstos en base a sus consideraciones.

Asimismo se tomó en atención las siguientes recomendaciones (Eco U., 1977) para la redacción del presente trabajo investigativo:

- *Que el tema corresponde a los intereses del Doctorando.*
- *Que las fuentes a que se recurra sean asequibles.*

- *Que las fuentes a que se recurra sean manejables.*
- *Que el cuadro metodológico de la investigación esté al alcance de la experiencia del Doctorando.*

Con todo lo anterior, las técnicas empleadas responden al detalle que a continuación se indica.

- a. **Recopilación documental;** el Doctorando llevó a cabo una revisión profunda del estado del arte para contar con una base sólida de antecedentes que dan fundamentos al presente estudio. Se desarrolló mediante una revisión de publicaciones técnicas recientes y de registros históricos (Chilenos y principalmente extranjeros), asociadas a la movilidad eléctrica, características y prestaciones de vehículos militares de transporte de tropas, aspectos termodinámicos y de desempeño de motores de combustión interna, capacidades de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, sistemas de recarga eléctrica mediante la red eléctrica general y de fuentes renovables (paneles solares fotovoltaicos), procesos de evaluación económica y de toma de decisiones bajo incertidumbre. Además, se reunieron los antecedentes del marco regulatorio, tanto internacional como de normativas chilenas, en materia medio ambiental.

La información del presente estudio, además de los antecedentes que recopila el investigador, incluye datos públicos sobre transporte, vehículos, energía y temas ambientales publicados principalmente por investigadores (particulares, centros de investigación y diversas universidades) y organismos gubernamentales (chilenos y extranjeros).

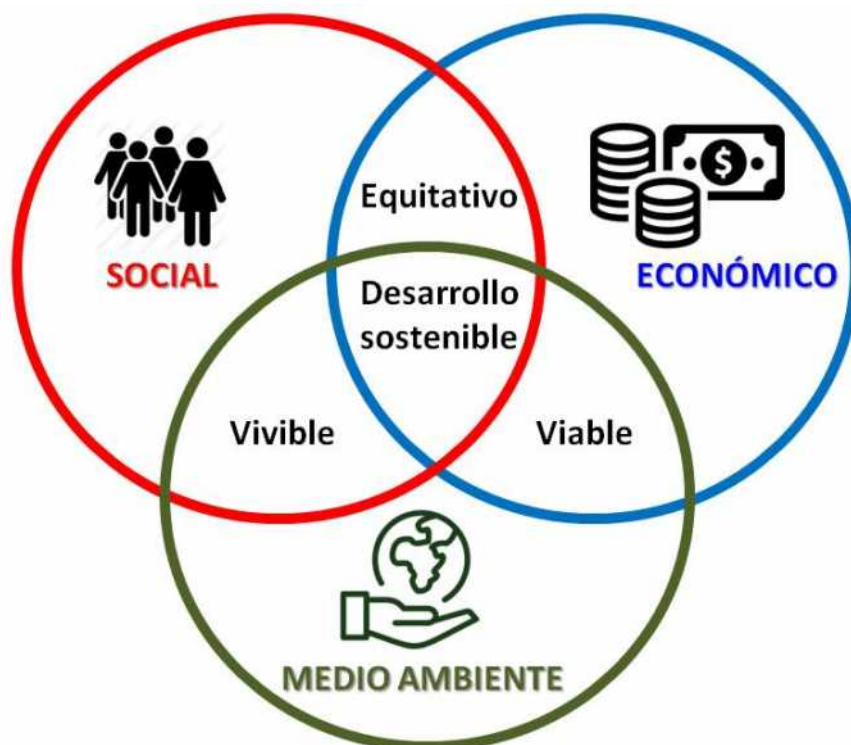


- b. Técnicas de procesamiento de datos;** el Doctorando, con posterioridad a la recopilación de información, antecedentes y documentos, procedió a su ordenamiento; clasificación y procesamiento manual, agrupándolas por materias, afinidad y tipo; esto permitió asociar a los respectivos capítulos en los que se estructura la investigación, la información referenciada. Asimismo, para el procesamiento de los datos se utilizaron las herramientas informáticas MS Excel 2010 de Microsoft, *Expert Choice* versión 11.5, LOGWARE y el Modelo de Emisiones de Vehículos - IVE Model, versión 2.0.2.
- c. Técnicas de análisis;** basado en los objetivos de la tesis, de manera de realizar una gestión estratégica de la información recolectada, se utilizó el “*Análisis documental*”, la “*Contrastación de datos*”, la generación de tablas y gráficos respectivos; implicando la homologación dimensional de los datos y la unificación de criterios, evitando inconsistencias y antecedentes que por su condición aislada no aportaban a la generación de información relevante para la toma de decisiones. En este sentido, de manera inicial se consideraron los datos desagregados, actuando individualmente, lo que permitió identificar su impacto relativo, para luego ser considerados sistemáticamente, evidenciando su comportamiento en el conjunto y cuanto valor agregaban al proceso; asimismo se consideraron la determinación de los factores de riesgo y las medidas de mitigación de los mismos.

## CAPÍTULO II Estado del arte en materia de electro movilidad

### 2.1. Los vehículos y el desarrollo sostenible.

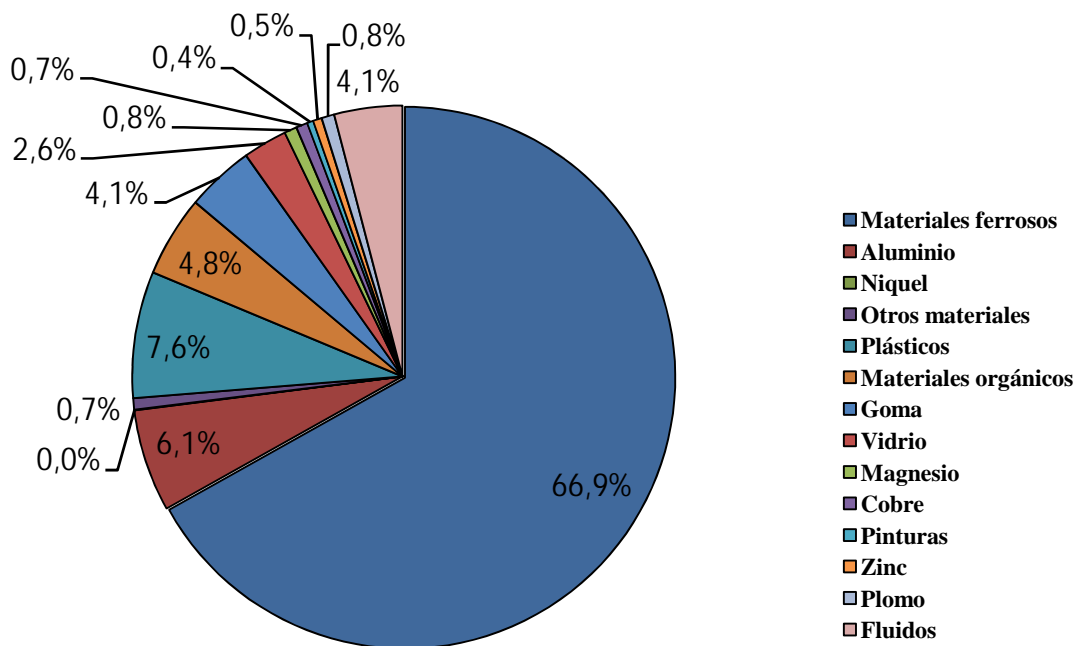
En el año 1987, la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo (Sierra A., et al., 2007) definió el “*Desarrollo sostenible*” como aquel que “*Satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades*”. Lo anterior, bajo una interacción de la dimensión “*Social*”, la “*Económica*” y la “*Medio ambiental*”, que involucra la mitigación de los impactos en estas dimensiones, promoviendo criterios, metodologías y técnicas para la conservación y optimización de los recursos naturales, como se señala en el gráfico siguiente.



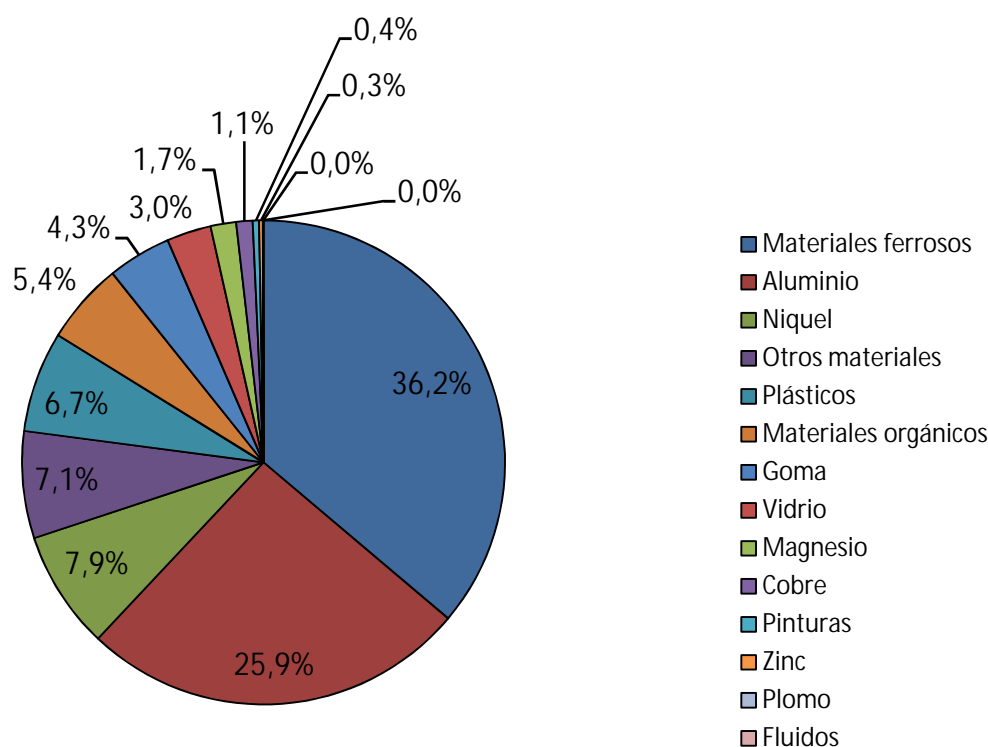
**Gráfico 6:** El “*Desarrollo sostenible*” y su interacción con la dimensión “*Social*”, “*Económica*” y “*Medioambiental*”; fuente, Sierra A., et al., (2007).

En concordancia con esto, y considerando que los vehículos de combustión interna generan entre otros, gases de efecto invernadero (Zhongchao T., 2014), los fabricantes de éstos se esmeran en mitigar los impactos, especialmente aquellos de tipo

medioambiental. Este esfuerzo influye asimismo en la dimensión económica, dado que son vehículos más caros por disponer de tecnologías en proceso de maduración. Asimismo, y en relación con la dimensión social, el mercado y la industria nos inunda con nuevos modelos de vehículos y medios de transporte, pero que éstos no se hacen cargo de los que ya se encuentran en uso, toda vez que al reemplazarlos, no hay políticas comerciales para reciclarlos, o un incentivo económico por esta actividad, por lo tanto no existe un balance, rompiéndose el equilibrio del “*Desarrollo sostenible*” al aumentar los vehículos y no disponer adecuadamente de los que se retiran del uso. Los dos gráficos siguientes (Kukreja B., et al., 2018) nos ilustran de los porcentajes de materiales que componen los vehículos con motor de combustión interna y un vehículo eléctrico, ambos de tamaño medio (sedán), los cuales son factibles de ser reciclados.



**Gráfico 7:** Distribución porcentual de los componentes de un vehículo con motor de combustión interna (SCI); fuente, Kukreja B., et al., (2018).



**Gráfico 8:** Distribución porcentual de los componentes de un vehículo eléctrico de tamaño compacto; fuente, Kukreja B., et al., (2018).

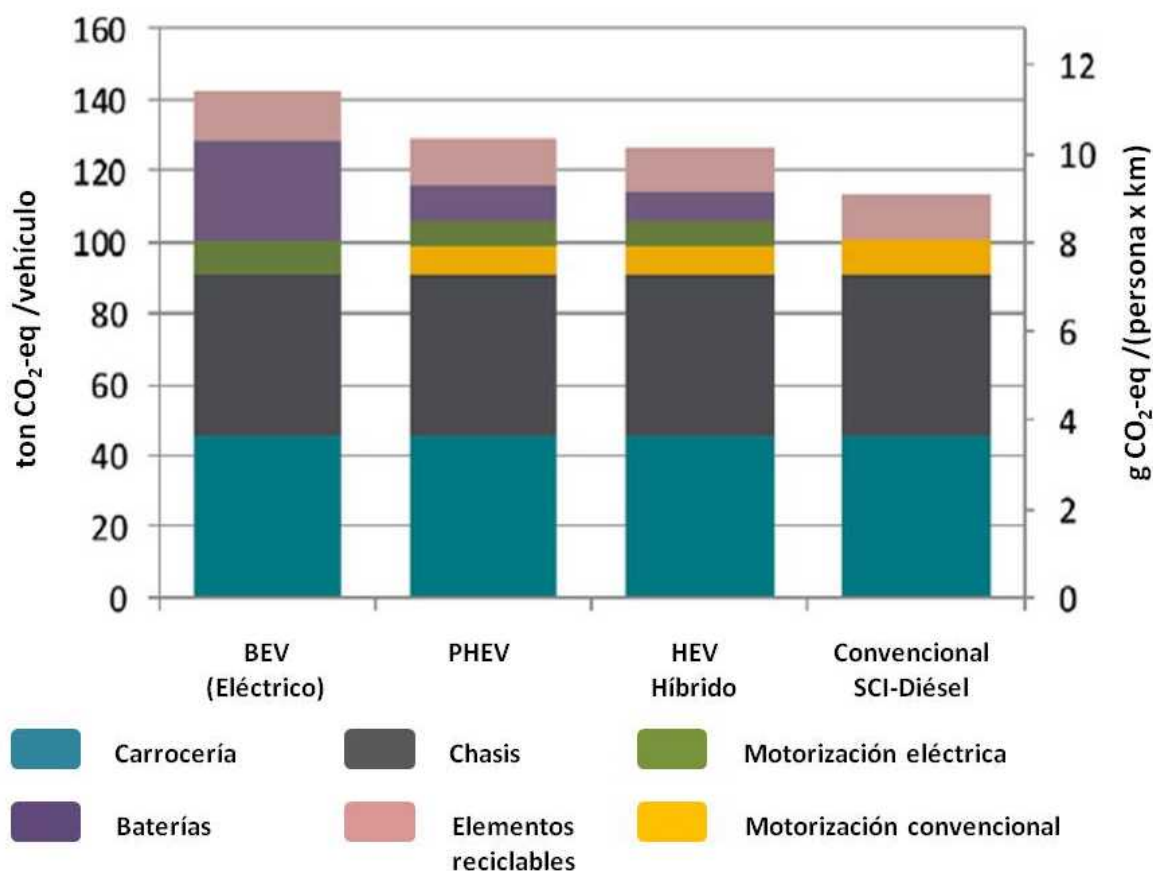
Por otra parte, considerando los medios de transporte de pasajeros, estudios europeos recientes (Nordelöf A., et al., 2019), determinaron el impacto medioambiental a través de los ciclos de vida de autobuses en diferentes configuraciones, ya sean convencionales (gasóleo), eléctricos (BEV<sup>45</sup>) e híbridos (HEV<sup>46</sup> y PHEV<sup>47</sup>), donde se pone en evidencia que, excluyendo la fase de operación de éstos, las opciones electrificadas y HVO<sup>48</sup> muestran menor impacto en comparación con el autobús diésel convencional.

<sup>45</sup> BEV; *Battery Electric Vehicle*, vehículo 100% eléctrico, que cuenta con un único sistema de propulsión a través de un motor eléctrico, cuyas baterías son alimentadas a través de fuentes de recarga externa.

<sup>46</sup> HVE: *Hibrid Electric Vehicle*; vehículo híbrido eléctrico, utiliza un motor eléctrico para hacer girar las ruedas, contando con una batería se recarga a través de un motor generador, ya sea a gasolina o gasóleo.

<sup>47</sup> PHEV; *Plug in Hibrid Electric Vehicle*, Vehículo híbrido eléctrico enchufable, el cual utiliza un motor eléctrico para hacer girar las ruedas, contando con una batería se recarga a través de la red eléctrica instalada o mediante un motor generador, ya sea a gasolina o gasóleo.

<sup>48</sup> HVO; *Hydrotreated Vegetable Oil*, conocido como “Hidrobiodiésel”, combustible obtenido mediante hidrogenación de aceites y grasas de origen vegetal o animal, compatible con motores de ciclo diésel (gasóleo).



**Gráfico 9:** Impacto medioambiental de los componentes de vehículos de transporte de pasajeros durante su ciclo de vida, en g CO<sub>2</sub>-eq; fuente, Nordelöf A., et al., (2019).

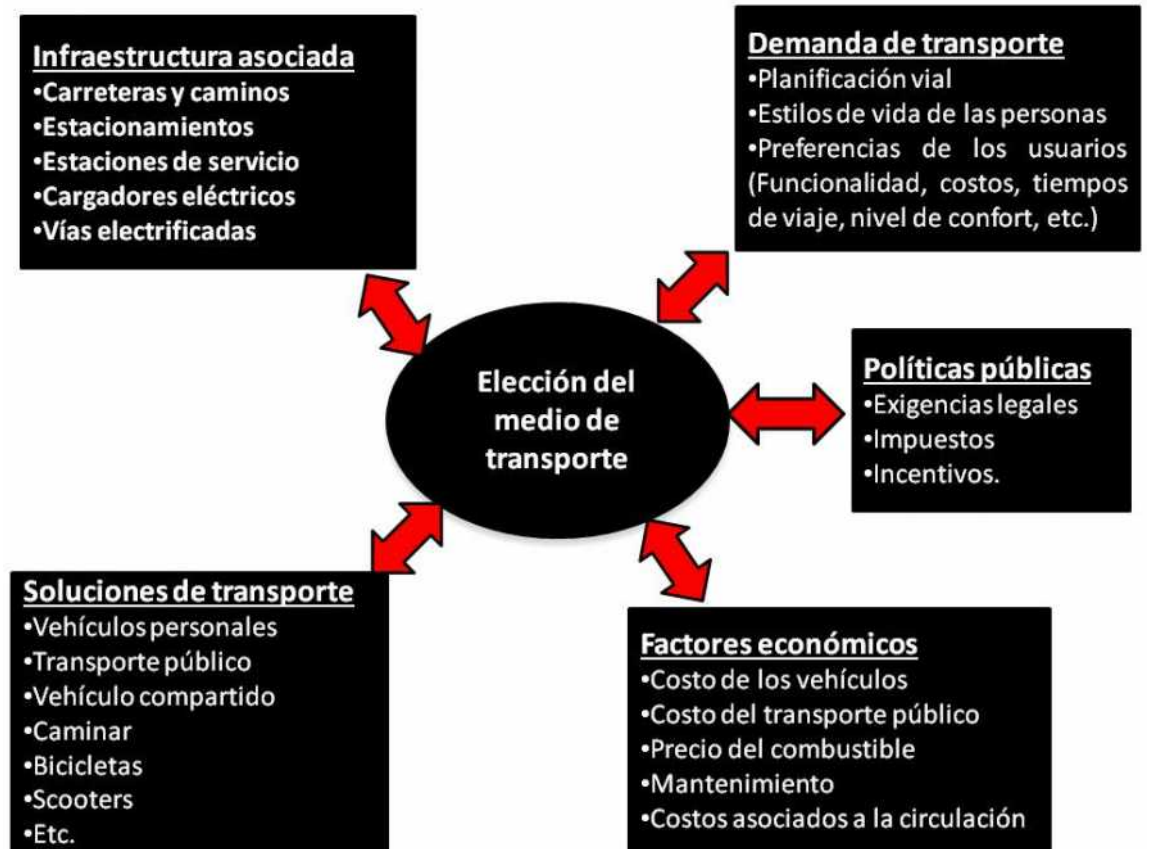
Desde la perspectiva de la economía pública, (Perez Y., et al., 2014), los instrumentos de política social pueden ser diseñados para promover la difusión de VEs, lo que puede estar justificado en parte, ya que el mercado puede ofrecer un suministro limitado en relación con las necesidades o con lo que la sociedad puede considerar como óptimo, debido a la existencia de barreras tecnológicas, logísticas o incluso administrativas. En este sentido, se estima que un eventual incentivo gubernamental puede ocasionar una distorsión en el mercado, como por ejemplo, al disponer ciertos estándares que solamente algunos puedan cumplir, generando oligopolios o dependencia de productos e insumos exclusivos. Además, una segunda problemática posible, es que una política social no necesariamente será beneficiosa para todas las personas (no todos recibirán un subsidio) y, eventualmente, también generará externalidades con las que tendremos

que lidiar como sociedad, tal como la instalación de infraestructura y obras viales que impacten en aquellos que no serán usuarios de las mismas. Por lo anterior, el ensayo y error no es la solución, sino una planificación adecuada, junto con la Investigación y Desarrollo (I+D), teniendo como horizonte que el beneficio sea para el conjunto.

### **2.1.1. Marco regulatorio global y local en materia medioambiental.**

Necesariamente, los procesos y actos humanos deben ajustarse a la legislación o reglamentación vigente, de esa manera se regula el impacto e interacción social, ya sean las relacionadas con las normativas medioambientales, así como también con las restricciones administrativas que se produzcan al efecto. Para todo ello, es necesario considerar y conocer el marco regulatorio global y local y determinar si las eventuales soluciones que se produzcan al efecto, se ajustan a las disposiciones vigentes.

El gráfico siguiente nos ilustra sobre algunos de los factores que influyen directamente en la elección de un medio de transporte (Sandén B., 2014). Estos factores deben ser contemplados de manera dinámica, ya que cada persona u organización no es igual a otra, teniendo diferentes horizontes, requerimientos y recursos. Una premisa económica básica nos indica que *“Los recursos son escasos y las necesidades son infinitas, esto implica que algunos tendrán y otros no; la escasez implica incurrir en el costo de oportunidad, prescindiendo de “algo” para conseguir algo”*.



**Gráfico 10:** Algunos de los factores que influyen en la elección de un medio de transporte; fuente, Sandén B., (2014).

Por otra parte, estudios recientes (Figuroa A., 2018) señalan que para la elección de un vehículo en particular, “...*los atributos técnicos comúnmente utilizados son: precio de compra, autonomía del vehículo, emisiones, red de carga, tiempo de carga, costos por kilómetro (o costo operacional) o incentivos hacia alguna alternativa...*”.

Dadas las consideraciones anteriores y en los puntos siguientes, el marco regulatorio global y local en materia medioambiental, que se vincula al uso y explotación de los vehículos eléctricos, es el que se detalla en los puntos siguientes.

- a. **Marco regulatorio:** Comprenderemos como el “*Marco regulatorio*”, al conjunto de leyes y reglamentos que se definen para un sector económico

determinado, que ordena su operación y determina sus posibilidades de acción. En este sentido, debemos considerar los marcos regulatorios internacionales (que afectan a los fabricantes de vehículos) y los marcos regulatorios locales o nacionales, que impactan en los usuarios.

- b. Situación a nivel mundial:** El crecimiento del parque de vehículos a nivel general, comienza a aumentar a partir de la II Guerra Mundial, notándose a partir de esa época (Walsh M., 2008) un aumento de la contaminación atmosférica e infiriéndose que los vehículos motorizados son una parte importante de esta situación. Es por ello que los vehículos y los combustibles deben tratarse como un sistema en sí mismo.

Existen diferentes convenciones y acuerdos internacionales en materia medioambiental. A título de ejemplo, el Protocolo de Kioto, publicado en el contexto de la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC), tenía como objetivo reducir las emisiones de 6 (GEI) Gases de Efecto Invernadero<sup>49</sup> que causan el aumento de la temperatura media de la Tierra (calentamiento global). Estos gases son el dióxido<sup>50</sup> de carbono (CO<sub>2</sub>), el gas metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Otros gases de origen industrial y que también son responsables de cambio climático; los *hidrofluorocarbonos* (HFC), los *perfluorocarbonos* (PFC) y los *hexafluoruros de azufre* (SF<sub>6</sub>). Los tres programas mundiales más importantes corresponden a los Estados Unidos, la Unión Europea y Japón (Walsh M., 2008), que han servido de base para que otros países adopten los estándares y procedimientos de pruebas europeos y norteamericanos, o alguna combinación de ellos.

---

<sup>49</sup> Gases atmosféricos que absorben y emiten radiación dentro del rango infrarrojo.

<sup>50</sup> Su contribución potencial a la contaminación se expresa en términos de equivalentes de impacto de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-eq) para cambio climático (Egede P., et al., 2015).



Es menester destacar también, que se dispone de formulación específica para la vincular los factores que influyen las tendencias de la relación energía-emisiones de CO<sub>2</sub>, que corresponde a la *Identidad de Kaya*, cuya fórmula se expresa en la siguiente ecuación.

$$CO_2 = P \frac{PIB}{P} I \text{ Energéticos } I CO_2$$

**Ecuación 3**

Donde

**CO<sub>2</sub>:** CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera en un área, en periodo de tiempo.

**P:** Cantidad de habitantes del área.

**PIB/P:** Nivel de actividad económica, dado por el producto Interno Bruto *per cápita*, en el área en estudio.

**I Energética:** Intensidad energética, expresada por el cociente entre la energía de todo tipo utilizada en el área y el PIB del área.

**I CO<sub>2</sub>:** Intensidad de carbonización; cociente entre el total de CO<sub>2</sub> emitido y la energía usada en el área.

Sobre la base de la fórmula anterior, estudios previos (Altomonte H., et al., 2000) indicaron las proyecciones del *Department of Energy*<sup>51</sup> (DOE) que a continuación se indica, relativa a la tendencia de la relación energía-emisiones de CO<sub>2</sub>, las cuales sobre la base de los datos de la década de 1990, porcentualmente presentaban (hasta el año 2010) y presentarían (hasta el 2020) los índices que se señalan en la siguiente tabla.

---

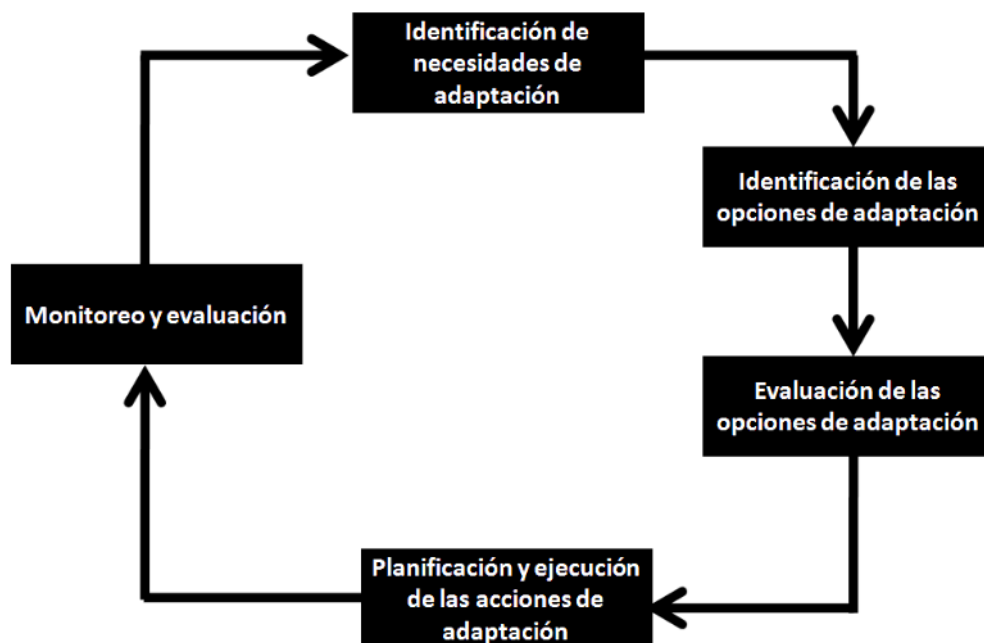
<sup>51</sup> <https://www.energy.gov/>

<b>Categoría / Periodo</b>	<b>1997/2010</b>	<b>2010/2020</b>
<b>Países en desarrollo</b>	25,7%	54,4%
<b>Países industrializados</b>	18,2%	34,4
<b>Economías en transición</b>	54,4%	149,2%

**Tabla 13:** Identidad de Kaya, periodos 1997-2010 y 2010-2020; fuente, Altomonte H., et al., (2000).

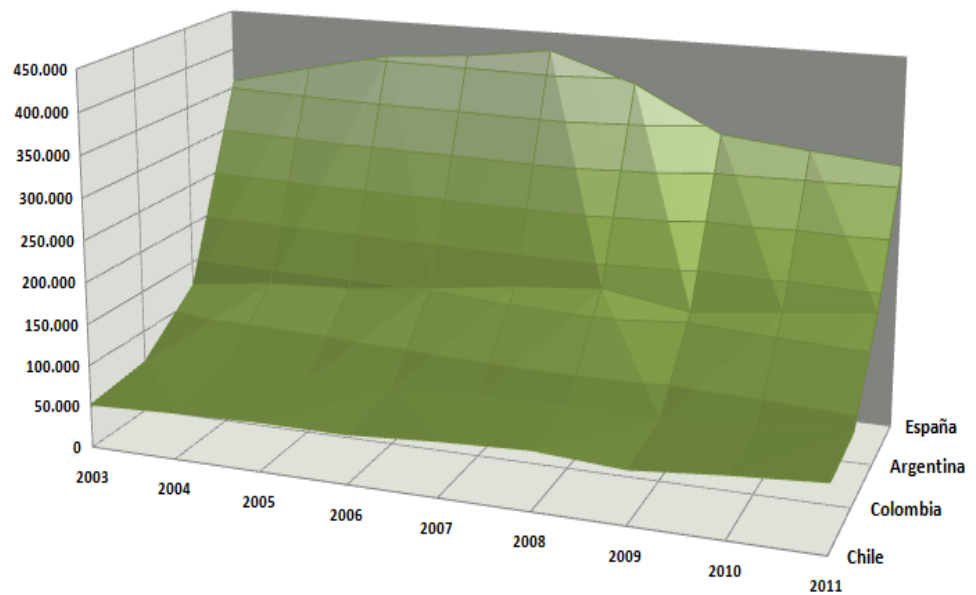
A la luz de lo anterior, relativo al cambio climático que se ha generado en el planeta, se han llevado a cabo una serie de estudios (Sandoval E., et al., 2016), que muestran la necesidad de involucrar a las personas para llevar a cabo una respuesta frente a esta problemática, dado que *“Los sistemas y quienes toman las decisiones deben enfrentar un proceso adaptación a estas nuevas condiciones de manera de disminuir su vulnerabilidad, modificando acciones y procesos internos de la organización, apuntando a lograr un estado futuro que sea resiliente a los cambios y no pongan en riesgo al sistema”*. Esta adaptación necesariamente debe plantear alternativas con propuestas factibles de ser implementadas, de manera que permita gestionar adecuadamente dichos factores y eventualmente mitigar sus efectos negativos. Para ello, es útil y necesario contar con información oportuna y veraz, toda vez que la adaptación al cambio climático es una actividad esencialmente local, para que el proceso de toma de decisiones en torno a ésta sea óptimo. Si bien es complejo enfrentar los factores que inciden en la problemática que se vincula al cambio climático, es necesario contar con un proceso simple que *“Genere instancias de reflexión y análisis que inviten al tomador de decisión a identificar en qué etapa de la adaptación se encuentra, y por consiguiente, qué acciones son necesarias de realizar”*, para ello se considera la conceptualización de 5

etapas de un proceso iterativo, los cuales se presentan en el diagrama que a continuación se expone.



**Gráfico 11:** Ciclo de la adaptación al cambio climático; fuente, “*Procesos de toma de decisiones y adaptación al cambio climático*”; fuente, Sandoval E., et al., (2016).

No obstante lo señalado, conforme indica la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2018), “*La descarbonización mantiene el cambio climático bajo control y contribuye a un aire y agua más limpios*”. La OCDE desarrolló un informe basado en las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de energía en 42 países de la OCDE y el G20, y que cubren el 80% de las emisiones mundiales, donde se llevaba a cabo un análisis integral de los precios del carbono incluidos los impuestos específicos sobre el uso de la energía, los impuestos al carbono y los precios de los permisos de emisión negociables, como muestra el gráfico siguiente.



**Gráfico 12:** Emisiones de CO<sub>2</sub> en el comercio internacional, ejemplo de países latinoamericanos y uno europeo, en millones de toneladas, 2003-2011; elaborado con antecedentes de la OCDE; fuente, Roberts C., (2020).

De conformidad a estudios paralelos (Altomonte H., et al., 2000), en su proyección de emisiones de CO<sub>2</sub>, “*Los países en desarrollo contarán con aproximadamente el 70% de las emisiones totales de carbono; China que emitía 800 MTn en 1997 pasará a 2100 MTn en 2020, constituyendo casi el 33% del incremento proyectado. Los países industrializados representarán el 23% del crecimiento. Como resultado de una menor actividad económica en Europa Central y la ex URSS las emisiones de carbón decrecieron en 34% entre 1990-97 y se espera que en 2020 sean menores en 200 Mtn a lo emitido en 1990*”.

Vinculándolo con los párrafos precedentes, se agruparon estas consideraciones de manera continental, a saber “*Europa*”, “*Asia*” y “*América*”, como se detalla a continuación.

**1) Europa:** En los años recientes, este continente ha liderado a nivel mundial la redacción e incorporación de normativas legales, con

miras a reducir las emisiones de contaminantes en el aire. Recientemente la Comisión Europea de conformidad al estudio *“Estrategia europea sobre vehículos limpios y energéticamente eficientes”* (Comisión Europea, 2010), en su *“Plan de Acción para unos vehículos Ecológicos”*, estableció un marco de políticas adecuado y tecnológicamente neutro para *“Vehículos limpios y energéticamente eficientes”*, para lo cual recomiendan que deben seguirse simultáneamente dos vías; siendo la primera de ellas, el *“Promover el uso de vehículos limpios y energéticamente eficientes basados en motores de combustión interna”* y por otra parte, *“Facilitar el desarrollo de tecnologías de vanguardia en vehículos con emisiones de carbono extremadamente bajas”*.

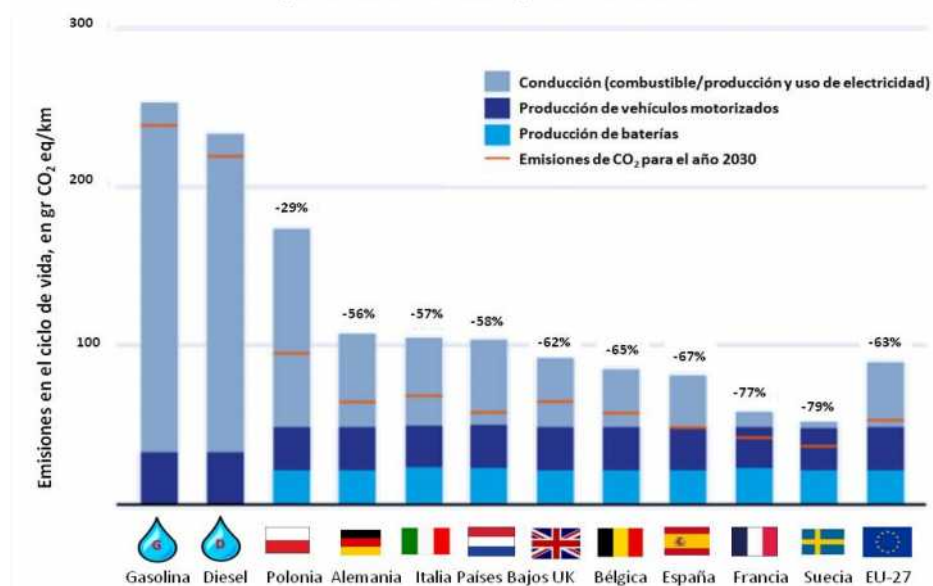
En paralelo, la UE promueve que el futuro cercano se deje de comercializar vehículos de combustión interna (SCI), dado que éstos representan actualmente la forma de transporte por carretera más frecuente, y sus emisiones tienen un impacto significativo en el medio ambiente y la salud, toda vez que el sector *“Transporte”* simboliza más de una cuarta parte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Europa, junto con la contaminación por partículas (PM) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

La UE busca revertir la tendencia en el aumento de la contaminación, mediante políticas de clima y energía bajas en carbono y que a la vez se reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, se estableció que el sector del transporte es fundamental para estas políticas, dado que las emisiones de CO<sub>2</sub> están directamente relacionadas con las actividades humanas de ese sector, cuya

demanda crece día a día por las actividades comerciales, estimándose que el transporte representa el 21% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> en el continente y, en materia del consumo de energía, supone casi el 30% del consumo de energía de la UE, con una elevada dependencia del petróleo (93%), que en su mayor parte debe ser importado (AOP, 2016).

Diferentes organismos verifican la viabilidad legal (Milieu Consulting SPRL for Transport & Environment, 2020) y buscan la manera de proporcionar las herramientas legales de las medidas que se adopten para eliminar paulatinamente los vehículos SCI e identificar problemas donde existe incertidumbre, toda vez que persisten los desafíos importantes para los Estados miembros que buscan implementar una prohibición nacional de venta o registro de vehículos SCI, *“Debido a la probable incompatibilidad de tales medidas con las normas del mercado interior de la UE”*.

Se pone de manifiesto que existe un interés en Europa por proceder a la explotación y uso de tecnologías amigables con el medio ambiente, principalmente aquellas que reducen los gases contaminantes. Este tipo de regulaciones, si bien tienen orígenes diversos de acuerdo a la aplicación regional de ellas, generalmente se basan en los mismos parámetros. Por ello, la Unión Europea es uno de los referentes a nivel mundial, al promover la regulación, la innovación y las buenas prácticas, que sirven de base como modelo para países que no cuentan con este tipo de desarrollos, pero que definitivamente les concierne la problemática medioambiental.

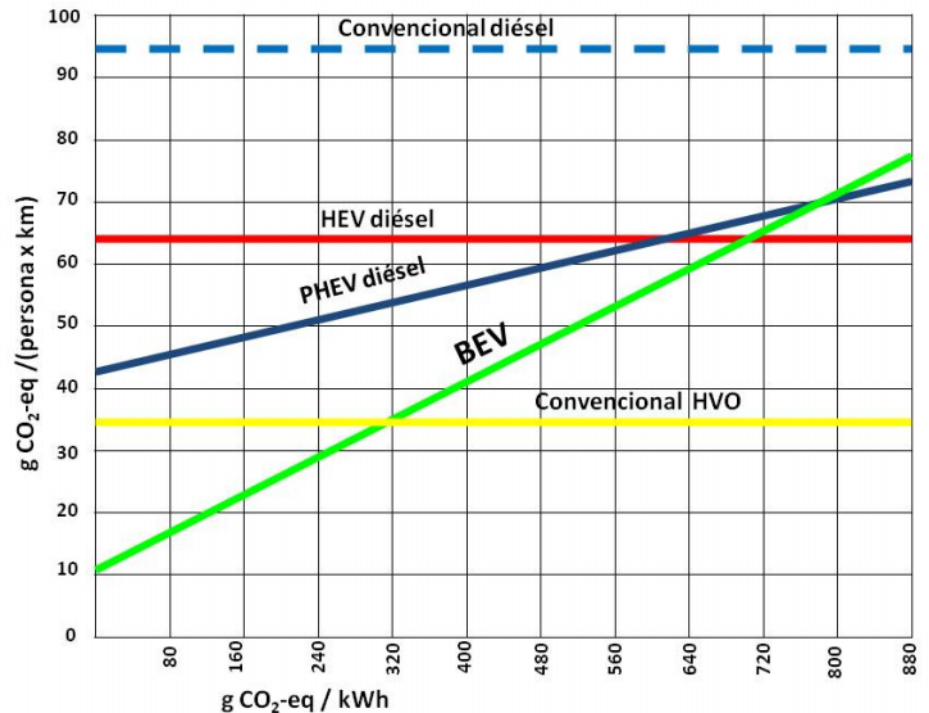


**Gráfico 13:** Comparativo sobre las emisiones en Europa para la generación de energía necesaria de un vehículo con motor de combustión interna; fuente, [www.transportenviroment.org](http://www.transportenviroment.org)

Contemporáneamente, en Europa se han desarrollado investigaciones relativas a los impactos medioambientales del uso de buses para el transporte de pasajeros (Nordelöf A., et al., 2019), con diferentes tipos de combustibles (convencionales, biodiesel y eléctricos), donde los resultados totales de las emisiones de GEI, son expresados como CO<sub>2</sub>-eq en función de los usuarios (persona x km) y en referencia a la intensidad de la electricidad requerida. El gráfico siguiente muestra los resultados de dicha investigación, para las opciones de buses eléctricos (HEV y PHEV) así como para aquellos que cuentan con motores que funcionan con gasóleo o con HVO, donde es posible apreciar que el gasóleo es el medio que genera un mayor impacto en la emisión de CO<sub>2</sub>. Asimismo, se observa en el gráfico que el uso de HVO provoca menores emisiones en los vehículos motorizados, ya que en la etapa WTT<sup>52</sup> (producción de HVO), se generan emisiones

<sup>52</sup> WTT; Well-To-Tank, cuyo significado en materia de combustibles, es desde el “Pozo al depósito de combustible”.

más altas que la del diésel, pero a su vez éstas son más bajas en la etapa TTW<sup>53</sup> del vehículo.



**Gráfico 14:** Impacto ambiental por tipo de vehículo, en relación a la motorización y tipo de combustible, en CO<sub>2</sub>-eq; fuente, Nordelöf A., et al., (2019).

De la misma manera, otros estudios europeos recientes<sup>54</sup> han determinado que “Los VEs emiten en promedio, casi 3 veces menos CO<sub>2</sub> que los automóviles SCI (gasolina o diésel equivalentes), considerando que en el peor de los casos, un VE con una batería producida en China y operando en Polonia emite 22% menos CO<sub>2</sub> que un vehículo de características similares con motor el diésel y 28% menos que uno a gasolina y, el mejor ejemplo, un VE con una batería sueca y operado en Suecia puede emitir un 80% menos de CO<sub>2</sub> que un vehículo diésel y un 81% menos que uno de gasolina”.

El mismo estudio también estima que para el año 2030, los VEs

<sup>53</sup> TTW: Tank-To-Wheel, “Desde el depósito de combustible a la rueda”.

<sup>54</sup> <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/electric-cars/how-clean-are-electric-cars>



podrían reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> cuatro veces, de manera aproximada. La electricidad, se suministraría de la red eléctrica de la UE, que transporta cada vez más electricidad generada con fuentes de energías renovables.

En paralelo, es preciso señalar que actualmente existen normativas muy estrictas relativas a emisiones contaminantes, denominadas *Normas EURO* y que han evolucionado desde la norma “EURO I” hasta la actual “EURO VI”. Estas regulaciones obligan a la industria automotriz al cumplimiento de los límites de las emisiones contaminantes para la homologación de nuevos modelos de vehículos. Las normas EURO aparecen en 1992 como uno de los procedimientos más eficientes en el combate contra la contaminación, la que en su primera edición instaba a todos los fabricantes europeos a reducir las emisiones; para ello requería que los vehículos contasen con un catalizador en el tramo intermedio del tubo de escape, que reducía y oxidaba (REDOX) los gases de escape. En una primera fase, el N<sub>2</sub>O se convertía en nitrógeno molecular (reducción) y en una segunda fase los hidrocarburos no quemados y el monóxido de carbono se convierte en CO<sub>2</sub> y agua (oxidación).

Si bien en principio estas propuestas atacaban la cuestión de fondo, el problema seguía siendo la calidad de los combustibles. A principios de la década de 1990, el plomo empezó a desaparecer de la gasolina, siendo reemplazado por compuestos antidetonantes que no resultaban dañinos para las personas. En los años siguientes, las normativas EURO se volvieron más restrictivas y así, entre 1996 y 2005 se implementaron las Normas II, III y IV; donde en general, se

obliga a los fabricantes a que mejoren sus prestaciones. Algunos fabricantes optaron por modificar u optimizar el catalizador, otros buscaron la fabricación de motores de cilindradas menores o modificaron la transmisión, para permitir circular a RpM inferiores, consumiendo menos combustible y reduciendo por consiguiente la contaminación. A medida que se imponían las normativas, las emisiones se volvían cada vez menores.

Con la norma EURO V, el objetivo fueron las partículas contaminantes, desecho que se produce principalmente en los motores diésel. Para combatirlas, el filtro antipartículas (FAP) derivó en el componente necesario para poder cumplir con esta normativa. Con las partículas retenidas, los gases de escape son mucho más limpios que los emitidos bajo la norma EURO IV.

Finalmente, se ha implementado la norma EURO VI y la adición de urea<sup>55</sup> en el sistema de escape (Mancilla S., 2009), como el *AdBlue*<sup>56</sup>, que es un compuesto líquido que se administra en pequeñas dosis en los gases de combustión, lo que genera una reacción química a alta temperatura que produce amoníaco. Esto descompone las moléculas de NO<sub>x</sub> en nitrógeno molecular y agua, lo que no afecta al ambiente.

Dado lo anterior, los siguientes puntos indican en detalle los parámetros que establecen las normas EURO, tanto para vehículos a gasolina como los que utilizan motores diésel (gasóleo).

---

<sup>55</sup> Sustancia orgánica tóxica, resultante de la degradación de sustancias nitrogenadas en el organismo de muchas especies de mamíferos, que se expulsa a través de la orina y del sudor.

<sup>56</sup> *AdBlue* es la marca registrada del producto urea AUS32 (disolución de urea al 32,5%), utilizado para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> causadas por los gases de escape de los motores diésel, mediante un proceso denominado Reducción Catalítica Selectiva (RCA); el producto es una solución de urea de alta pureza en agua desmineralizada.

a) **Vehículos con motores a gasolina:** Para los vehículos dotados con motor a gasolina, las normas europeas relativas a contaminantes, según su evolución histórica, son las que a continuación se detallan.

Tipo	Año	CO	HC + NO <sub>x</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	MP
EURO I	1992	2,72	0,97	-	-	
EURO II	1996	2,20	0,50	-	-	
EURO III	2000	2,30	-	0,20	0,15	
EURO IV	2005	1,00	-	0,10	0,08	
EURO V	2009	1,00	-	0,10	0,06	0,005
EURO VI	2014	1,00	-	0,10	0,06	0,005

**Tabla 14:** Normas europeas relativas a contaminantes para vehículos a gasolina; fuente, [www.osha.europa.eu](http://www.osha.europa.eu)

b) **Vehículos con motores diésel (gasóleo):** Para los vehículos dotados con motor diésel, las normas europeas relativas a contaminantes, según su evolución histórica, son las que a continuación se detallan.

Tipo	Año	CO	HC + NO <sub>x</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	MP
EURO I	1992	2,72	0,97	-	-	0,140
EURO II	1996	1,00	0,70	-	-	0,080
EURO III	2000	0,64	0,56	-	0,50	0,050
EURO IV	2005	0,50	0,30	-	0,25	0,025
EURO V	2009	0,50	0,23	-	0,18	0,005
EURO VI	2014	0,50	0,17	-	0,08	0,005

**Tabla 15:** Normas europeas relativas a contaminantes para vehículos diésel; fuente, [www.osha.europa.eu](http://www.osha.europa.eu)

En este contexto, cumple destacar que (Comisión Europea, 2010) mediante el Reglamento (CE) N° 443/2009, la Unión Europea (UE), elaboró una estrategia para la reducción de las

emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos de carretera, estableciendo normas de comportamiento en materia de emisiones de automóviles de turismo nuevos, para lo cual promueve que la industria deba aumentar la inversión en tecnologías destinadas a reducir las emisiones y a la gestión inteligente del tráfico, como asimismo reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos comerciales ligeros (furgonetas).

En octubre de 2018, la UE propuso normas más estrictas<sup>57</sup> para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de los automóviles y aumentar el número de VEs (GEOTAB, 2019). En concreto, el objetivo es reducir el límite de emisiones para 2021, en un 15% desde 2025 y en un 30% desde 2030, por lo que las Administraciones Públicas nacionales deberán fomentar la adopción de las medidas tendentes al uso de los VEs y a la vez imponer restricciones adicionales de circulación para aquellos vehículos que sean más antiguos y contaminantes. Podemos concluir que Europa promueve y lidera la preocupación por el medioambiente en relación con el uso de vehículos motorizados, con especial interés en la reducción de las emisiones de agentes contaminantes, tales como las partículas contaminantes y las emisiones de NO<sub>x</sub>, aplicando normas cada vez más estrictas. La UE estimó en el año 2010 que en la década del 2020, si bien seguirá usándose principalmente motores de combustión de gasolina y gasóleo, deberán utilizarse todos los medios disponibles para atenuar el impacto negativo

---

<sup>57</sup> <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180920STO14027/reducir-las-emisiones-de-los-automoviles-nuevos-objetivos-de-co2>

que tienen esos motores en el medio ambiente.

Desde una mirada retrospectiva un poco más amplia (Sierra A., et al., 2007), la UE implementó en el año 1987 los incentivos denominados “*European Business Awards for the Environment*”, (EBAE) para empresas que han sido reconocidas por su compromiso medioambiental. Las empresas candidatas a los premios, deben haber tenido éxito en su país de origen, antes de que puedan participar en la competencia bianual europea, lo que implica que las compañías que resulten ganadoras del EBAE, deben ser las mejores de los países miembros de la Unión Europea y de los países candidatos.

- 2) **Asia:** Teniendo presente que en gran parte del mundo los vehículos de origen asiático han sido utilizados desde el término de la II Guerra Mundial, en un principio, se consideraba que dichos medios eran de calidad inferior a los que eran fabricados en Europa y los Estados Unidos. No obstante, con el desarrollo de la industria y el aumento en la calidad de los componentes, países como China, Corea del Sur, India y Rusia entre otros, aportan un importante porcentaje de SCIs a nivel mundial.

Esos vehículos se rigen por normas de emisiones basadas en los estándares de la UE para la mayoría de las categorías de vehículos, aunque con algunos años de desfase en su implementación. Un caso especial es Japón, el cual tiene sus propias normas, las cuales son de estándares muy exigentes. Sería asimismo, el caso de la normativa de California, en los Estados Unidos.

Asimismo, la imagen siguiente se vincula con el reciente aporte de Turquía a la movilidad eléctrica<sup>58</sup>, con el desarrollo de un VE del tipo SUV (*Sport Utility Vehicle*), al amparo del consorcio Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG, 2019), con el patrocinio del Ministerio de Industria de Turquía, para presentar al mercado europeo y de Asia occidental en el año 2022 un vehículo con una autonomía de 500 km, recarga rápida en 30 minutos y una aceleración de 0 a 100 km/h en 4,8 segundos.



**Imagen 7:** VE de concepto, desarrollado por Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG), previsto su ingreso al mercado europeo para el año 2022; fuente, Motorpasion.

Conviene señalar también que, con el objetivo de reducir el problema de la contaminación y del calentamiento global producido por los vehículos motorizados, la India se encuentra promoviendo la fabricación y el uso masivo de vehículos eléctricos para el año 2030. A título de ejemplo, el estado Indio de Karnataka, promocionará el desarrollo de VEs del fabricante Tata Power, así como la construcción de 25 estaciones piloto de recarga en Bangalore (Bais N.K., 2018). Esto en la India no es nuevo, la preocupación por la

---

<sup>58</sup> <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/primer-coche-electrico-turco-sera-suv-500-km-autonomia-parece-mercedes-benz-eqc>

contaminación atmosférica y los futuros escenarios para los VEs, ya era inquietud hace media década (Shukla P.R., et al., 2014), con escenarios previstos hasta el año 2035 y que se analizan utilizando un modelo de sistema de energía *bottom up* (Martínez K., et al., 2015), diseñados para “*Describir las técnicas, el desempeño y los costes directos asociados a las opciones de tecnología utilizada y permitir identificar posibilidades de mejora en los sistemas*”. Esta iniciativa nace del Ministerio de Industria Pesada Indio, que lanzó el *Plan Nacional de Movilidad Eléctrica 2020*, con el objetivo de mejorar la seguridad energética nacional, mitigar el impacto ambiental de los vehículos de transporte por carretera e impulsar la industria nacional de fabricación de vehículos.

- 3) **América:** Al considerar este continente como fabricante de vehículos, con participación de Estados Unidos, México, Canadá, Brasil y Argentina entre otros, el continente no se queda atrás en la producción y comercialización de diferentes tipos de vehículos motorizados. Dichos vehículos se basan en las normas de la UE, pero es importante señalar que el Estado de California en los Estados Unidos lidera las restricciones con estrictas normas de emisiones, las cuales son las más avanzadas a la fecha.

## 2.2. **Legislación para el control de contaminantes de los vehículos.**

De manera local, si bien Chile no produce actualmente vehículos motorizados, la legislación es bastante amplia en materia medioambiental, aunque antigua, pero en proceso de actualización. Al respecto, la regulación del control medioambiental se basa en el listado que a continuación se indica, y que señalan la materia general de la que tratan.

- a. Decreto 279, de 17 de diciembre de 1983, que *“Aprueba el reglamento para el control de la emisión de contaminantes de vehículos motorizados de combustión interna”*.
- b. Decreto 211, de 11 de diciembre de 1991, que *“Regula emisiones de vehículos motorizados”*.
- c. Decreto 82, de 24 de junio de 1993, que *“Establece las normas de emisión a vehículos y motores que indica”*.
- d. Decreto 4, de 29 de enero de 1994, que establece *“Normas de emisión de contaminantes aplicables a los vehículos motorizados”*.
- e. Ley 19.300, de 9 de marzo de 1994, sobre *“Bases Generales del medioambiente”*.
- f. Decreto 55, de 16 de abril de 1994, que *“Establece las normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados”*.
- g. Decreto 54, de 3 de mayo de 1994, que *“Establece las normas de emisión aplicables a vehículos motorizados medianos”*.
- h. Decreto 130, de 13 de marzo de 2002, que emite *“Normas de emisión de CO, HCT, HCNM, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado para motores de buses de locomoción colectiva de la ciudad de Santiago”*.
- i. Decreto 113, de 6 de marzo de 2003, que *“Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)”*.
- j. Decreto 149, de 23 de octubre de 2006, que *“Establece norma de emisión de NO, HC y CO para el control del NO<sub>x</sub> en vehículos en uso, de*



*encendido por chispa (ciclo Otto), que cumplen con las normas de emisión establecidas en el DS. N° 211 de 1991 y DS. N° 54, de 1994”.*

- k.** Decreto 60, de 5 de septiembre de 2011, que *“Establece especificaciones de calidad de combustibles”*.
- l.** Decreto 145, de 29 de diciembre de 2017, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaría de Transportes, que *“Establece requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos eléctricos que indica”*.

El listado de las normas señaladas, desde la letra *“a”* hasta la letra *“k”*, regulan administrativamente el impacto medioambiental de los vehículos motorizados y fuentes fijas de contaminación, estableciendo parámetros máximos de emisiones, junto a las medidas de mitigación asociadas a ello (multas y restricciones). Por otra parte, el Gobierno de Chile señala que *“...la única metodología de evaluación social de proyectos que incorpora de manera explícita el beneficio por reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es la de transporte ferroviario<sup>59</sup>”*. De ello se desprende que, si bien Chile es un país vanguardista en ciertos sentidos, existen aspectos sociales y medioambientales que carecen de la profundidad y atención que el impacto que generan se merece, teniendo presente que según el estudio *“Air and GHG emissions”* (OCDE, 2019), las emisiones de CO<sub>2</sub> *per cápita* en Chile fueron de 4,6 toneladas en 2013; 4,2 toneladas en 2014 y 4,5 toneladas en 2015. Si se comparan con países desarrollados, como los Estados Unidos de América; 15,3 toneladas *per cápita* en 2015 o países como Qatar, con 31,3 toneladas en 2015 o Kuwait, con 23 toneladas ese mismo año.

---

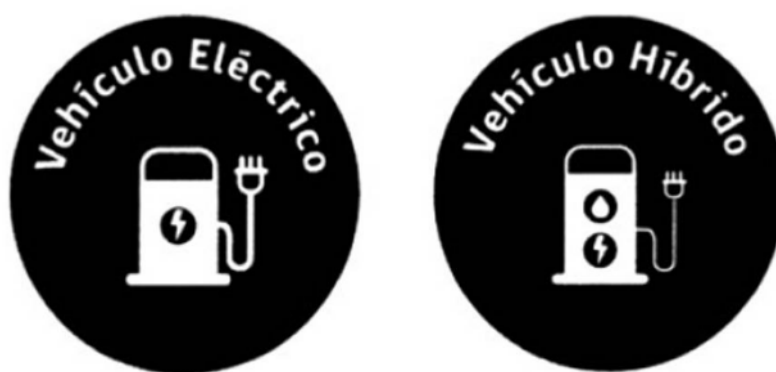
<sup>59</sup> Estimación del Precio Social del CO<sub>2</sub>, División de Evaluación Social de Inversiones, Subsecretaría de Evaluación Social, Sistema Nacional de Inversiones, Gobierno de Chile, Febrero de 2017.

El Gobierno de Chile (MIDEPLAN, 1998) también indicó que *“La evaluación social del proyecto puede diferir de su correspondiente evaluación privada, por la presencia de externalidades”*. Estas externalidades pueden ser negativas (polución) o positivas, como la reducción de la contaminación (beneficios) atmosférica. Aunque es difícil calcular las externalidades que surgen con la puesta en práctica de la presente tesis, conviene hacer una descripción de éstas. Además, existen estudios (Olmedo J., 2016) relativos a la generación de *“Energías Renovables No Convencionales”* (ERNC) que señalan que *“La aplicación de instrumentos regulatorios es deseable desde la perspectiva social, en la medida que sus beneficios sean mayores que sus costes, es decir, si se asocian a un mayor bienestar para el conjunto de la sociedad”*, esto quiere decir que los marcos legales vinculados con el medio ambiente, deben asegurar un beneficio social, minimizando los impactos o costes asociados.

Por otra parte, del listado de normativas indicadas previamente, la señalada con la letra *“I”* entró en vigencia en diciembre de 2018 estableciendo las definiciones, requisitos técnicos y constructivos para vehículos eléctricos, especificando de manera detallada las medidas de seguridad que deben cumplir estos medios de transporte. Especial atención para evitar que los organismos de rescate puedan desconocer los peligros involucrados en eventuales casos de accidente, dado el alto voltaje de los sistemas de almacenamiento de energía, para lo cual se requiere, entre otras medidas de seguridad, lo siguiente.

- Un documento impreso en el interior del vehículo, con antecedentes sistematizados y de aprendizaje que indiquen el procedimiento de desactivación; diagramas del Sistema de Alto Voltaje del vehículo y el procedimiento de remolque o transporte del mismo.

- Una etiqueta de forma circular, adherida a la luneta, fácilmente visible, que contenga la expresión “*Vehículo Eléctrico*” o “*Vehículo Híbrido*” según corresponda a cada medio.



**Imagen 8:** Información gráfica de seguridad que identifica a los vehículos eléctricos o híbridos; fuente, Gobierno de Chile, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Decreto 145, (2017).

### 2.2.1. Parámetros de emisiones permitidos en Chile.

Desde el punto de vista conceptual (Ibarra S., 2013), las “*Emisiones son el producto de un factor de emisión por un nivel de actividad emisora*”, para lo cual un factor de emisión es un valor representativo que se relaciona a la cantidad de un contaminante con una actividad asociada a la liberación de dicho contaminante. En este contexto y derivado de las normativas que se indicaron en el punto 2.2 precedente, se obtienen los parámetros medioambientales permitidos, asociados a los vehículos motorizados de hasta 1.750 kg de Peso Bruto del Vehículo (PBV), con hasta 9 pasajeros y que se indican a continuación.

#### a. Vehículos a gasolina.

Vehículo	CO	HC totales	NO <sub>x</sub>
Vehículos livianos de pasajeros	2,11	0,25	0,62

**Tabla 16:** Parámetros máximos permitidos de los gases de escape, vehículos a gasolina, valores en gramos/km; fuente, Gobierno de Chile, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Decreto 149, (2006).

**b. Vehículos diésel (gasóleo).**

Vehículo	K
Vehículos livianos de pasajeros	2,5 <sup>-1</sup>

**Tabla 17:** Parámetros máximos permitidos de los gases de escape, vehículos diésel (gasóleo), valores en gramos/km; fuente, Gobierno de Chile, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Decreto 149, (2006).

El análisis de los gases de escape de los vehículos que funcionan con gasóleo se realiza a través de un “*Opacímetro*”, instrumento que mide el nivel de opacidad del humo expulsado por los motores diésel, en mediciones estabilizadas y en aceleración. Durante un ensayo de aceleración, el dispositivo registra los valores punta del nivel de humo, a través de la medida de la opacidad (%) y cálculo del coeficiente de absorción luminosa (K en m<sup>-1</sup>).

**2.2.2. Tipos de motores.**

A lo largo de la historia se han desarrollado una serie de medios mecánicos que permiten facilitar el transporte de personas y bienes. Estos sistemas generalmente están dotados de un motor que posibilita a través de diferentes mecanismos vencer la inercia y lograr cumplir el objetivo, que es llevar personas o bienes desde un lugar a otro. Bajo estas particularidades, los motores de combustión interna (SCI) son los que han satisfecho las necesidades de potencia de los vehículos durante mucho tiempo, por lo que es oportuno analizar sus características y capacidades, dado que desde hace más de 100 años son los que han motorizado los vehículos y a la vez los responsables de una parte importante de las emisiones de gases de efecto invernadero al medioambiente. Adicionalmente, este capítulo describe la evolución histórica de los VEs, junto al actual “*Estado del arte*” de los mismos, lo que permite al lector formarse una idea sobre estos vehículos.

### **2.2.3. Vehículos, plantas motrices y transmisión de movimiento.**

Con el fin de contar con propulsión, los medios de transporte requieren de energía para ejecutar la función para lo cual están diseñados, siendo necesario la canalización de ella a través de un sistema que la transforme en movimiento. Esto se logra incorporando un motor en dicho vehículo, que debe ser capaz de soportar el peso del mismo, generando el desplazamiento y el transporte. Un motor térmico se caracteriza por poseer uno o más cilindros, que tienen un fluido dispuesto en su interior y que cuentan con un émbolo o pistón que se puede desplazar dentro de este cilindro, comprimiendo una mezcla, la cuales inflamada mediante una acción mecánica o eléctrica, produciendo un empuje o expansión vertical que se transmite a un dispositivo denominado cigüeñal, que la transforma en movimiento rotativo, que puede ser utilizado de cualquier manera deseada (Moore M., et al., 1977).

Pues bien, es útil señalar que existen diferentes tipos de motores que pueden ser incorporados a los vehículos de transporte. Desde más de un siglo se ha generalizado el uso de motores de combustión interna (ICE, por sus siglas en inglés; *Internal Combustion Engine*; SCI en castellano, *Sistema de Combustión Interna*), los cuales han evolucionado desde los primitivos modelos hasta los que actualmente están en uso, utilizando diversos tipos de combustibles para efectuar el trabajo termodinámico que permite la generación de movimiento; para ello, es necesario conocer los diferentes conceptos involucrados en este tipo de motores, como a continuación se indica.

### **2.2.4. Eficiencia energética de los motores de combustión interna.**

De acuerdo con el primer principio de la termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma y en esa transformación se degrada. Junto con esto, es necesario comprender el significado de que el rendimiento de un

motor es el trabajo realizado por cada unidad de energía consumida.

Si el trabajo realizado por el motor fuera igual a la energía química del combustible, utilizado para producirlo, la eficiencia de éste sería del 100% (eficiencia perfecta). Desafortunadamente ningún proceso puede tener una eficiencia superior al 100%, ya que implicaría la generación de nueva energía, lo que es contrario al primer principio de la termodinámica. Por otro lado, cuando el trabajo realizado es menor que la energía consumida, la diferencia entre ambos valores se transforma en calor, que podemos considerar como “*pérdida de energía*”. Un motor que funcione con gasóleo (diésel) puede tener una eficiencia térmica (Grinstein D., 1960) del 37% cuando se encuentra en buenas condiciones de mantenimiento, régimen de trabajo y carga óptima y, ciertamente no en toda su gama de revoluciones. Por otra parte, un motor de gasolina tiene una eficiencia térmica del 24,67% en las mismas condiciones, ya que éstos motores cuentan aproximadamente con 2/3 del rendimiento de un motor diésel (Grinstein D., 1960). Estos valores no han sido sustancialmente mejorados en la actualidad, dado que “*La diferencia principal de los motores actuales con los antiguos se basa en la incorporación del ciclo de compresión de la mezcla aire – combustible, que es lo que provocaría un primer avance tecnológico en cuanto al aumento en el rendimiento energético del motor*” (Tapia D., 2012).

### **2.2.5. Limitaciones a la eficiencia térmica.**

Las máquinas térmicas (como los motores de gasolina y diésel) tienden a desperdiciar mucha energía en forma de calor, a pesar de lo que pueda parecer. La tecnología, en constante evolución, solo puede atenuar ligeramente algunos puntos porcentuales de la energía desperdiciada, porque las máquinas térmicas están limitadas de manera absoluta por las leyes físicas en las que se basa su

funcionamiento, que son los principios de la termodinámica.

### 2.2.6. Ciclo de Carnot.

En principio, cualquier ciclo termodinámico puede usarse para diseñar una máquina o un refrigerador, de acuerdo con la dirección en que se recorre el ciclo. Dado que según la termodinámica, ninguna máquina puede tener un rendimiento del 100%, es importante conocer cuál es el máximo rendimiento posible entre dos focos determinados. Existe un límite absoluto para el rendimiento de cualquier máquina térmica, que es el rendimiento de una máquina imaginaria, perfecta y reversible cuyo proceso operativo se conoce como el Ciclo de Carnot. En este sentido, indica el límite superior entre dos focos, que es una idealización, ya que está constituido por transformaciones reversibles, produciéndose el intercambio de calor con los focos a través de isothermas<sup>60</sup> y variaciones de temperatura adiabáticas<sup>61</sup>, por lo que no se producen pérdidas de energía a través de calor. Esta máxima eficiencia “*Perfecta*” está muy por debajo del 100% y es necesario indicar que al ser un máximo físico, absoluto y universal, no es posible superarlo por medios tecnológicos.

El rendimiento de una máquina térmica solo depende de la temperatura máxima y mínima entre las que funciona, por lo que dada estas dos temperaturas, su cálculo es simple; en el caso de un SCI, podemos considerar una temperatura mínima (que sería la temperatura ambiente) de 18°C (equivalente a 291° Kelvin) y una máxima<sup>62</sup> de 2.000°C (2.273°K), esta combinación de temperaturas nos daría un rendimiento teórico máximo de

---

<sup>60</sup> Puntos de igual temperatura.

<sup>61</sup> Proceso en el cual un sistema termodinámico (generalmente, un fluido que realiza un trabajo), no intercambia temperatura con el entorno.

<sup>62</sup> Temperatura estimada que se logra al interior de la cámara de combustión de un ICE.

87,19% (fórmula siguiente), lo que puede considerarse muy optimista.

$$e = \frac{w}{Qc} = \frac{Qc - Qf}{Qc} = 1 - \frac{Qf}{Qc}$$

**Ecuación 4**

$e$  : Eficiencia térmica.

$w$  : Trabajo neto realizado por una máquina térmica.

$Qc$  : Foco caliente, dentro de una máquina térmica.

$Qf$  : Foco frío dentro de una máquina térmica.

Bajo la fórmula anterior, la eficiencia teórica máxima de un motor de combustión interna es de un **87,19%**, lo que en un principio es bastante favorable, aunque es necesario considerar que existen pérdidas por radiación térmica y por las condiciones de mantenimiento de cada vehículo, que se transforman en ineficiencias, como se desarrollará en uno de los apartados siguientes.

### **2.2.7. Los combustibles versus los vehículos eléctricos.**

El constante crecimiento vegetativo de la población mundial, provoca un sinnúmero de situaciones asociadas al aumento de la demanda de diferentes bienes y servicios, todos los cuales necesariamente son vinculados a través del “*Transporte*”. Esta función “*Transporte*” requiere de energía para cumplir su función, siendo principalmente satisfecha por una amplia gama de insumos combustibles y, sobre esta necesidad de combustibles, un creciente competidor es el que supone el desarrollo de los VEs. Conforme al estudio<sup>63</sup> sectorial elaborado por CETELEM España-Grupo BNP Paribas, que señala que dada la

---

<sup>63</sup> [https://cdn-pays.bnpparibas.com/wp-content/blogs.dir/91/files/2014/04/NdeP\\_ObservatorioCetelemAuto2014.pdf](https://cdn-pays.bnpparibas.com/wp-content/blogs.dir/91/files/2014/04/NdeP_ObservatorioCetelemAuto2014.pdf)



complicada situación que se vive en la esfera de las relaciones internacionales *“El petróleo tendrá que caer hasta los 10 dólares por barril para que pueda competir con el coche eléctrico”* y las nuevas formas de movilidad, indicando además que los VEs y los proyectos de energías sostenibles *“Producirán en un futuro hasta siete veces más energía útil que los coches de gasolina y hasta cuatro veces más que los diésel con precios actuales de combustible”*, por ello *“Por cada Euro gastado en gasolina se podría producir el equivalente a siete litros de energía eléctrica para los vehículos”*.

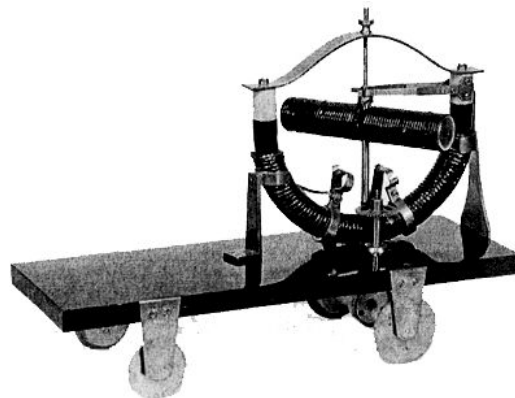
### **2.3. Los vehículos eléctricos (VEs).**

Dados los niveles de contaminación atmosférica en algunos lugares del mundo, la atención de la opinión pública y la de los gobiernos de diferentes países, la investigación tiende hacia el desarrollo de sistemas alternativos. Esto provoca que la industria intervenga en este proceso y por consiguiente se desarrolle y evolucione la tecnología, en especial aquellas que buscan la mitigación de los efectos nocivos del uso de combustibles fósiles, tanto en el transporte como en la generación de energía. Ante este escenario de contaminación atmosférica, una solución viable para la problemática asociada al transporte son los vehículos eléctricos, los que se pueden perfilar como el medio del futuro al estar progresivamente presentes en nuestros caminos y carreteras.

#### **2.3.1. Historia de los VEs.**

La historia contemporánea nos indica que los vehículos eléctricos llevan circulando mucho tiempo, pero fueron sobrepasados por los de combustión interna por diferentes motivos. Los inicios del vehículo eléctrico datan del primer tercio del siglo XIX, con *Ányos Jedlik*, ingeniero y sacerdote húngaro que diseñó un motor formado por un estator, un rotor y un conmutador, lo que propició que algunas personas adelantadas a su época instalaran este tipo de

motores a sus coches de caballos, o los utilizaran para pequeños prototipos con fines recreativos. Dado que éstos no eran totalmente operativos o capaces de competir en autonomía con los que ya existían, como los de vapor y estos VEs se limitaron a un uso urbano y naturalmente para uso de la aristocracia o la alta burguesía. Posteriormente, en 1839, el escocés *Robert Anderson*, desarrolló un vehículo eléctrico con una pila no recargable, siendo el primer prototipo diseñado para ser un VE. De manera paralela, en esa época se comienzan a implementar en los Estados Unidos las líneas electrificadas, cuyo destino era la iluminación y la entrega de potencia a los trenes y tranvías, no así para los incipientes vehículos eléctricos.



**Imagen 9:** Modelo de vehículo eléctrico desarrollado por Ányos Jedlik (1828); fuente, [www.unitedexplanations.org](http://www.unitedexplanations.org)

Por otra parte, en 1859, el físico francés *Gastón Planté* perfeccionó la primitiva pila eléctrica utilizada hasta esa época, desarrollando una de ácido-plomo que podía recargarse haciendo pasar electricidad en sentido inverso a través de ella. Dos décadas después, otro francés, el químico *Camille Alphonse Faure*, sobre la base de la investigación de Planté, perfeccionó la batería existente añadiéndole placas formadas por una rejilla de plomo, lo que incrementó la capacidad y de esa manera, su fabricación industrial.



**Imagen 10:** Automóvil eléctrico “*Jamais Contente*” desarrollado en 1899; poseía una carrocería de aleación ligera en forma de torpedo, con el cual se logró superar por primera vez los 100 km/h.; fuente, [www.lautomobileancienne.com](http://www.lautomobileancienne.com)

Alrededor del año 1900, el vehículo eléctrico se desarrolla con un esquema social donde la periferia de la ciudad era el “*Proveedor*” y el centro urbano el “*Distribuidor*” (aproximadamente el 30% de los vehículos eran eléctricos en 1900, mientras que las áreas rurales, aunque no estaban electrificadas, podían abastecer a las ciudades de manera barata con energía hidroeléctrica). Después de la década de 1910, con los avances de las técnicas del transporte, los viajes más largos pusieron en tela de juicio el patrón de distribución del centro urbano (Boyom C., et al., 2016).

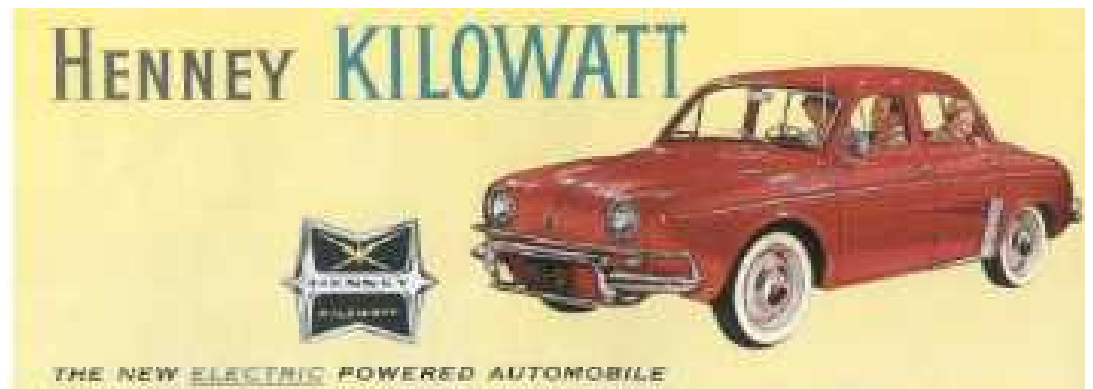


**Imagen 11:** Coche eléctrico en Alemania en 1904; fuente, [www.lavanguardia.com](http://www.lavanguardia.com)



**Imagen 12:** Vehículo eléctrico en Washington, Estados Unidos, 1905; fuente, [www.lavanguardia.com](http://www.lavanguardia.com)

A pesar de que los beneficios medioambientales del uso de los VEs, y considerando que desde los inicios del siglo XX, éstos eran relativamente comunes en las grandes ciudades del mundo, los vehículos con motores de combustión interna comenzaron a ganar terreno, especialmente en los Estados Unidos dada la disponibilidad de combustible, las mejoras en la red vial y las recientes tecnologías como el motor de arranque eléctrico, que eliminaba la poco práctica manivela. En esa época (1908) se introduce al mercado el popular *Ford modelo T*, que provoca la pérdida de la prevalencia del VE se haga latente, frenando su desarrollo. A partir de la década de 1920 su producción disminuyó hasta casi desaparecer, salvo excepciones europeas durante la II Guerra Mundial, producto de la escasez de combustible.



**Imagen 13:** Publicidad del automóvil eléctrico *Henney Kilowatt*, Estados Unidos, 1959; fuente, [www.cars.svebas.com](http://www.cars.svebas.com)

Desde esa época en adelante, no hubo interés industrial en desarrollar vehículos eléctricos hasta la década de 1970, cuando se produce la crisis del petróleo. Los países productores de petróleo redujeron la explotación, impactando brutalmente en aquellos cuya demanda era alta o en los países que no contaban con reservas o producción. Esta situación supuso una oportunidad en la cual la generación de energías alternativas para el transporte, volvió a poner la atención en los medios eléctricos, que progresivamente comenzaron a aparecer como prototipos y como vehículos de mercado.



**Imagen 14:** Publicidad del furgón de reparto eléctrico “Batronic”, Inglaterra, 1971; fuente [www.electricvehiclesnews.com](http://www.electricvehiclesnews.com)



**Imagen 15:** Vehículo eléctrico “CityCar”, producido en Estados Unidos por la compañía Sebring-Vanguard Inc., (1974-1977); fuente [www.greencarreports.com](http://www.greencarreports.com)

Posteriormente, en la década de 1990, como consecuencia de los altos niveles de contaminación, el Estado de California en los Estados Unidos aprobó una ley que pretendía reducir el número de automóviles contaminantes que circulaban, sin embargo la influencia de la industria petrolera hizo que la iniciativa fracasara. No obstante, derivado de la dependencia de los combustibles fósiles, en esa década se incrementa la investigación y desarrollo de proyectos asociados a los VEs.



**Imagen 16:** Automóvil eléctrico “General Motors EV-1”, Estados Unidos, (1993-1999); fuente, [www.unitedexplanations.org](http://www.unitedexplanations.org)

Paralelamente, en la misma década de los 90’, en Europa también se desarrollaba el concepto de VE a través del fabricante Mercedes Benz, que presentó en la Feria de Hannover una versión eléctrica del tradicional modelo 190e, el cual contaba<sup>64</sup> con motores eléctricos en el eje trasero, con un sistema de frenado regenerativo y alimentado por una batería de cloruro de sodio y níquel, más funcional que las de sulfuro de sodio.

Mercedes Benz fabricó 10 unidades, a manera de prototipo, y el gobierno alemán financió un programa para la promoción del uso de vehículos eléctricos, para lo cual destinó dichos VEs, junto con otros 50 más, de

---

<sup>64</sup> <https://es.motor1.com/news/419804/mercedes-190-electrico-clasico-1990/>

diferentes fabricantes (furgonetas y vehículos de pasajeros), que fueron enviados a la isla de Rügen, frente al Mar Báltico, donde fueron empleados por particulares, comerciantes, servicios de taxi y empresas de turismo. El proyecto implicó la construcción de múltiples puntos de recarga que se alimentaban de paneles solares fotovoltaicos. Este proyecto gubernamental puso en evidencia los mismos inconvenientes que hoy en día encuentran los posibles interesados en los VEs, tales como la percepción de escasa autonomía, la vida útil de la batería y la infraestructura de recarga; siendo esta iniciativa finalmente descartada por el gobierno alemán y en paralelo, Mercedes Benz no continuó con el desarrollo de esta tecnología.



**Imagen 17:** Automóvil eléctrico Mercedes Benz 190 elektro; fuente, [www.es.motor.com](http://www.es.motor.com)

Actualmente, y como consecuencia de la preocupación mundial por la reducción de emisiones y gases de efecto invernadero, como el CO<sub>2</sub>, vapor de agua, metano entre otros (Zhongchao T., 2014), evitando con esto la contaminación atmosférica en los entornos urbanos, ha surgido un nuevo interés en la movilidad eléctrica, iniciado por los vehículos híbridos y los eléctricos, tales como el *Toyota Prius*, los *Tesla modelos Roadster, S, X, Y*

junto con *Cybertruck*, *Citröen C-Zero*, *Mitsubishi MIEV*, *Peugeot iOn* y la Pickup eléctrica *Rivian RT1*, entre otros vehículos de producción industrial y proyectos de investigación. Estos modelos logran un alto interés en los potenciales usuarios, pero sus altos costes, duración de las baterías, infraestructura de recarga y los impuestos a los que éste tipo de vehículos están gravados<sup>65</sup>, desincentivan en parte su masificación en mercados consolidados y emergentes.



**Imagen 18:** Camioneta (Pickup) eléctrica modelo RT1 (2020) de la marca americana Rivian; fuente, [www.rivian.com](http://www.rivian.com)



**Imagen 19:** Vehículo eléctrico Tesla Cybertruck, incorporado al mercado el año 2020; fuente, [www.tesla.com](http://www.tesla.com)

Asimismo, no solamente los aspectos medioambientales interesan a los posibles usuarios de VEs, existiendo otros conceptos que podemos considerar, tales como el diseño, los accesorios, el rendimiento y alcance entre muchos

---

<sup>65</sup> <https://movilidadelectronica.com/que-impuestos-se-pagan-al-comprar-un-coche-electrico/>

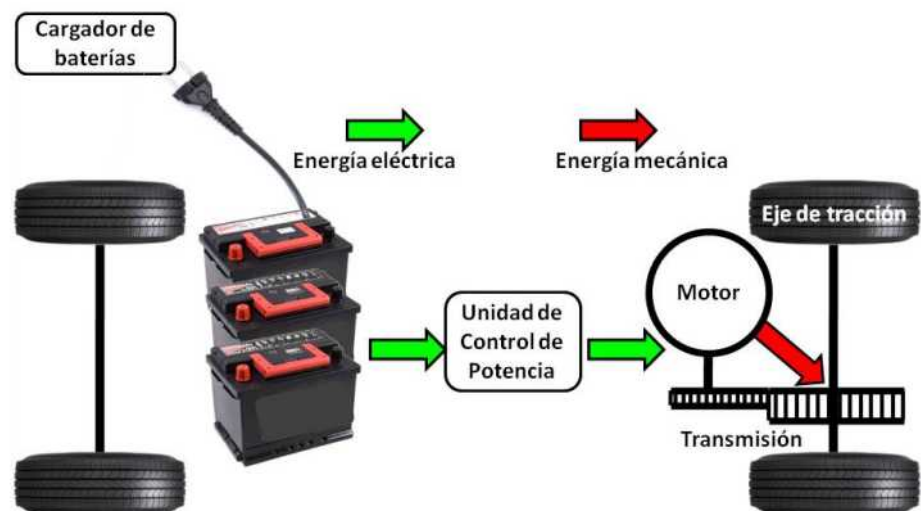


otros, lo que a la altura de la tecnología con que cuentan algunos VEs, podríamos pensar que solamente son de interés del segmento de edad considerado como “*Público joven*”, lo que no necesariamente podría ocurrir.

### 2.3.2. La motorización de los Vehículos Eléctricos.

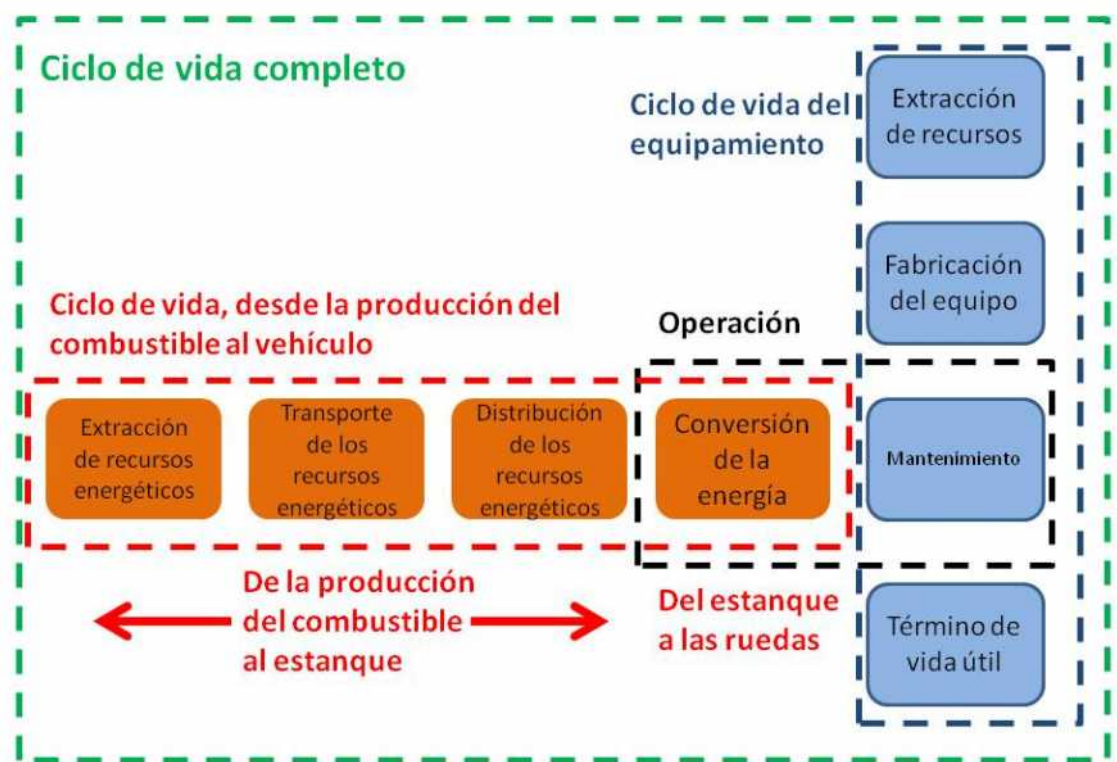
No solamente es posible utilizar motores de combustión interna para movilizar un vehículo, sino que existen variadas alternativas, siendo una de ellas la utilización de motores eléctricos. De hecho, el que se considere que los VEs tengan un impacto medioambiental menor que los vehículos con motores de combustión interna (SCIs) no es el único factor a considerar. Su incorporación a una flota automotriz determinada no debe basarse únicamente en este aspecto, ya que la eficiencia y la economía también son ventajas a tener en cuenta.

En general, existen diferentes tipos de Vehículos Eléctricos, de manera simplificada, un VE cuenta con baterías que se cargan de manera externa, entregando la energía que permita que un motor eléctrico la transforme en energía mecánica, que mueva el eje de tracción (Salameh Z., 2015).



**Imagen 20:** Esquema del flujo de la energía en un Vehículo Eléctrico; fuente, Salameh Z., (2015).

Habitualmente, existe la percepción en las personas de que los vehículos eléctricos no contaminan o lo hacen de manera reducida, lo que parcialmente es cierto si se considera únicamente el impacto ambiental derivado de su utilización como medio de transporte. Pero precisando lo anterior, si se contempla su ciclo de vida en su totalidad (“*desde la cuna a la tumba*” o por sus siglas en inglés WTW, Well-To-Wheels, “*del pozo a las ruedas*”) si emiten polución bajo la forma de emisiones de CO<sub>2</sub> y de material particulado o polvo en suspensión, siendo una de las problemáticas a considerar.



**Gráfico 15:** Límites del sistema para un análisis completo del ciclo de vida de los vehículos, desde el origen al término de ésta; fuente, Kukreja B., et al. (2018).

Bajo la premisa de que los VEs son catalogados como “*Amigables con el medioambiente*” o “*Limpios*”, es importante señalar las ventajas y desventajas del uso de éstos, como se detalla a continuación.

### 2.3.3. Ventajas de uso de los Vehículos Eléctricos.

Actualmente los costes de un VE son más altos que los de un vehículo dotado de un SCI, debido en parte por el precio de las baterías; Existen diferentes estudios (*International Workshop of Lithium, industrial Minerals and Energy – IW LiME, 2018*)<sup>66</sup>, interesados en el desarrollo de baterías con mayor durabilidad y estaciones de recarga más rápidas y eficientes, lo que posiblemente genere una reducción en los precios de venta de los VEs. Aunque las ventas de vehículos eléctricos representan solo una pequeña parte de las ventas mundiales de vehículos, en el futuro contribuirán a reducir la demanda de todos los combustibles de carbono. La investigación ha demostrado la interdependencia entre el desafío de reducir las emisiones de transporte de CO<sub>2</sub> a través de la difusión del uso de vehículos con bajas emisiones y el despliegue de energía renovable (Boyom C., et al., 2016).

Asimismo, el hecho de que la energía eléctrica sea mucho más limpia y económica que los combustibles fósiles, permite apuntar que a nivel mundial los VEs se convertirán eventualmente<sup>67</sup> en el estándar de transporte para varias plataformas.

Por otra parte, considerar que los VEs son una solución viable para su uso en las vías urbanas, generando en su desplazamiento menor contaminación atmosférica y acústica en comparación con los vehículos dotados de motores de combustión interna, es un factor que debe ser analizado en profundidad, toda vez que nace de una percepción social que solo considera el uso de los VEs, no así la cadena de fabricación, insumos y componentes empleados en ellos, los que en cierta medida aportan CO<sub>2</sub> al medioambiente.

---

<sup>66</sup> <https://www.celimin.com/workshop-csst>

<sup>67</sup> <https://qz.com/1341155/nine-countries-say-they-will-ban-internal-combustion-engines-none-have-a-law-to-do-so/>

Seguidamente, es de destacar que desde una perspectiva ergonómica, existe una percepción por parte de los usuarios de VEs, de que éstos son notoriamente menos ruidosos que los motores SCI, poniendo en duda que *“El motor esté en funcionamiento”*<sup>68</sup>. Por otra parte, desde un punto de vista estrictamente económico, los usuarios de vehículos a combustión interna que se cambiaron al uso de VEs, manifiestan una notable reducción de los costes de circulación, calculado con el indicador de coste por kilómetro (Hyundai Ioniq Eléctrico 2018) asociado a la electricidad<sup>69</sup> (0,019 €/Km). En relación con el mantenimiento, manifestaban que *“Es mucho más simple que el de los autos de combustión tradicional, ya que al motor prácticamente no se le realiza nada; salvo que cada 20.000 km es necesario cambiarle el filtro de polen, del sistema de climatización, por lo tanto, mucho más barato”*<sup>70</sup>.

#### 2.3.4. Desventajas de los VEs.

Hay que considerar que los VEs también presentan desventajas o problemas para una movilidad sostenible y amigable con el medioambiente, las cuales deben ser superadas o resueltas para que su uso masivo impacte de forma positiva en los usuarios. Algunas de estas desventajas se vinculan con los modelos urbanísticos y de transporte que no fueron diseñados para este tipo de medios, en particular en lo que se refiere a la autonomía y los sistemas de recarga de energía, existiendo algunas razones<sup>71</sup>, quizás con fundamentos precarios, para que la opinión pública no se interese en los VEs, tales como los que a continuación se indican.

**a. Autonomía:** La autonomía de un vehículo dotado de un motor de

---

<sup>68</sup> <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-12-17&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=29&r=w>

<sup>69</sup> <https://goelectricchile.com/catalogo-2/?make=hyundai&tipo=electrico>

<sup>70</sup> <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-12-17&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=29&r=w>

<sup>71</sup> <https://laopinion.com/2018/08/04/3-razones-para-odiar-los-autos-electricos/>

combustión interna (SCI) depende de la cantidad de combustible con que cuenta y de los puntos de recarga de éste (estaciones de servicio/gasolineras), sin embargo en los VEs el rango de independencia es limitado a la capacidad de su sistema de almacenamiento de energía, por lo que una vez que la batería comienza a agotarse es necesario recargarla en un lugar que disponga de la conexión apropiada, lo cual no es frecuente<sup>72</sup>. A modo de ejemplo, se encuentra en desarrollo una red de estaciones de servicio<sup>73</sup> que instaló 23 electrolinerías en el año 2019 en Chile, lo que en parte, satisface la necesidad de recarga de los VEs, en la medida que la autonomía de éstos les permita llegar al siguiente lugar de recarga. Por otro lado, dependiendo de la capacidad de su depósito de combustible, un SCI usualmente tiene una autonomía de 300 a 500 km por recarga, pero no un VE, que en los mejores escenarios dispone de 312 km de autonomía<sup>74</sup> para vehículos comerciales y de pasajeros de gama media.

- b. Vida útil de las baterías y precio:** Las baterías se ven afectadas por factores externos, como serían las altas temperaturas, así como por el frío y la humedad. En climas cálidos produce una disminución de su ciclo de vida útil, que afectará la longevidad de su sistema de almacenamiento de energía. Por otra parte, el uso constante o regular de un VE, posibilita que sus baterías se mantengan en buen estado, dado que la degradación de una batería no es lineal, con una disminución lenta en el uso regular, seguida por una fuerte caída en poco tiempo.

En otro orden de consideraciones, la mayoría de los fabricantes de vehículos motorizados no fabrican sus propios sistemas de

---

<sup>72</sup> <https://www.eneldistribucion.cl/mapa-electrolinera>

<sup>73</sup> <https://ww2.copec.cl/voltex>

<sup>74</sup> Automóvil KIA e-Niro, año 2019.

almacenamiento de energía eléctrica, siendo esto realizado por proveedores tecnológicos que tampoco controlan el ciclo completo, pues las materias primas tienen un elevado precio en el mercado. Bajo esta consideración, el precio de las baterías se ve afectado por la oferta de sus insumos y la demanda mundial del producto final.

- c. Tiempo de recarga de las baterías:** Muchos de los VEs disponibles en el mercado requieren de tiempos considerables para la recarga de sus baterías. Dicha recarga de baterías varía en función de la capacidad de ésta y podría ser catalogado en 5 tipos; *recarga lenta* (entre 7 a 10 horas), *recarga intermedia* (de 3 a 5 horas), *recarga semi-rápida* (una hora), *recarga rápida* (de 15 minutos al 50% de carga y 30 minutos al 80% de carga) como la de los cargadores Lincoln y *recarga ultra-rápida* (Modalidad excepcional y exclusiva de los supercargadores de Tesla, los Fast Charge de Ford<sup>75</sup> y los de la red Ionity).



**Imagen 21:** Cargador Lincoln (izquierda), Supercargador Tesla (centro) y cargadores de la red Ionity; fuente, [www.hibridosyelectricos.com](http://www.hibridosyelectricos.com)

- d. Pocas opciones y altos costes:** Si bien la oferta de modelos de VEs e Híbridos, ha mostrado un crecimiento en el último tiempo, esta no se compara con la variedad de vehículos dotados de motores de combustión

<sup>75</sup> <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/fastorcharge-red-recarga-rapida-ford-tesla/20200416121611034483.html>

interna. Actualmente, al año 2020, se cuenta con alrededor de 25 modelos disponibles de VEs, cada uno de éstos tiene sus propias características, sistemas y tecnologías (muchas veces no compatibles entre sí), lo que los convierte en vehículos de alto coste; de hecho, el precio de un vehículo eléctrico (Citycar) en Chile<sup>76</sup>, comienza en los USD 46.000, equivalente a 41.860 €

- e. **Escasa potencia:** Existe la percepción de que los vehículos eléctricos cuentan con sistemas de propulsión de escasa potencia y con un bajo nivel de aceleración. Producto de esta percepción, se evidencia en el mercado chileno (y latinoamericano en general) la masificación de vehículos personales o recreacionales de combustión interna, dotados de motores de alta cilindrada, los que incluso han sido adquiridos para uso policial, con el argumento de contar con medios que permitan contrarrestar los vehículos de escape de los delincuentes. Tales vehículos se clasifican en los segmentos de *gama alta* y en el concepto SUV (*Sport Utility Vehicle*), como serían los modelos Ford Explorer, Mazda CX5, Dodge Durango, BMW X6, Audi Q8 y Chevrolet Tahoe o Suburban, entre otros.
- f. **Liquidación o reventa del activo:** Algunos de los usuarios de VEs estiman<sup>77</sup> que “*El gran pero de los autos eléctricos es que, como la batería tiene una vida útil de entre 8 y 10 años, pasados seis años será difícil revender el auto*”. En Chile y en general en Sudamérica existe la tendencia a conservar los vehículos de combustión interna por 10 o más años, dado que existe un amplio mercado para los vehículos usados, por lo que en un tiempo más se comenzarán a comercializar masivamente los

---

<sup>76</sup> Mitsubishi MIEV; <https://www.auto.cl/nuevos/mitsubishi/i-miev/i-miev>

<sup>77</sup> <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-12-17&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=29&r=w>

VEs de segunda mano, lo que eventualmente implicará el crecimiento de empresas que se dediquen al mantenimiento, reparación y venta de repuestos de manera masiva.

- g. Disponibilidad de accesorios:** El mercado de los VEs, dado que no ha logrado una estandarización, ya sea en sus baterías, conectores y estaciones de recarga, ha generado una serie de accesorios que buscan el incremento de la autonomía de los vehículos eléctricos y naturalmente la venta de productos, pero que algunos de ellos, dadas sus características de funcionamiento, hacen que se pierda la minimización de los impactos medioambientales, como por ejemplo el generador portátil que se muestra en la imagen siguiente.



**Imagen 22:** Generador portátil Blink, proporciona hasta 9,6 kWh de carga, lo que significa recorrer aproximadamente 1,6 km por cada minuto de recarga; fuente, [www.motorpasion.com](http://www.motorpasion.com)

- h. Mantenimiento de alto coste, escasa disponibilidad de repuestos y componentes:** La exclusividad de los VEs los transforma en vehículos con dificultades para contar con sus respectivos mantenimientos, dada la baja penetración en el mercado, la falta de capacitación de los mecánicos



y la escasa disponibilidad de piezas de repuesto. Si bien la problemática por la falta de repuestos y servicios de mantenimiento progresivamente desaparecerá, en la medida que se incremente la penetración de los VEs en el mercado chileno.



**Imagen 23:** Automóvil eléctrico (VE) Mitsubishi MIEV (año 2011) en condición de abandono en la ciudad de Santiago de Chile por falta de repuestos; fuente, Roberts C., (2019).

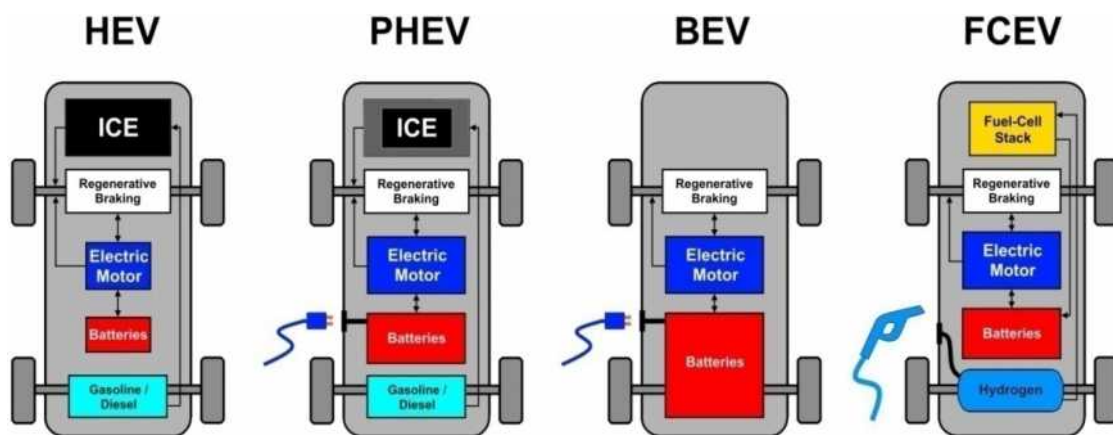
Aunque existen variadas y heterogéneas desventajas en el uso, mantenimiento y explotación de los VEs, desde una perspectiva del uso de la energía, existen recomendaciones (Salameh Z., 2015) que parcialmente entregan soluciones a dichas problemáticas, como lo son la carga de los VEs fuera de las horas pico de demanda eléctrica y/o el uso de fuentes de energía renovables para las recargas, generando un impacto menor en la red instalada. Por otra parte, en lo que respecta a los servicios de mantenimiento y contar con repuestos y accesorios, una planificación logística adecuada, promovida por los fabricantes y/o comercializadores de VEs, podrá entregar confianza a los usuarios y

seguridad a la comunidad que interactúa con ellos.

### 2.3.5. Tipos de VEs.

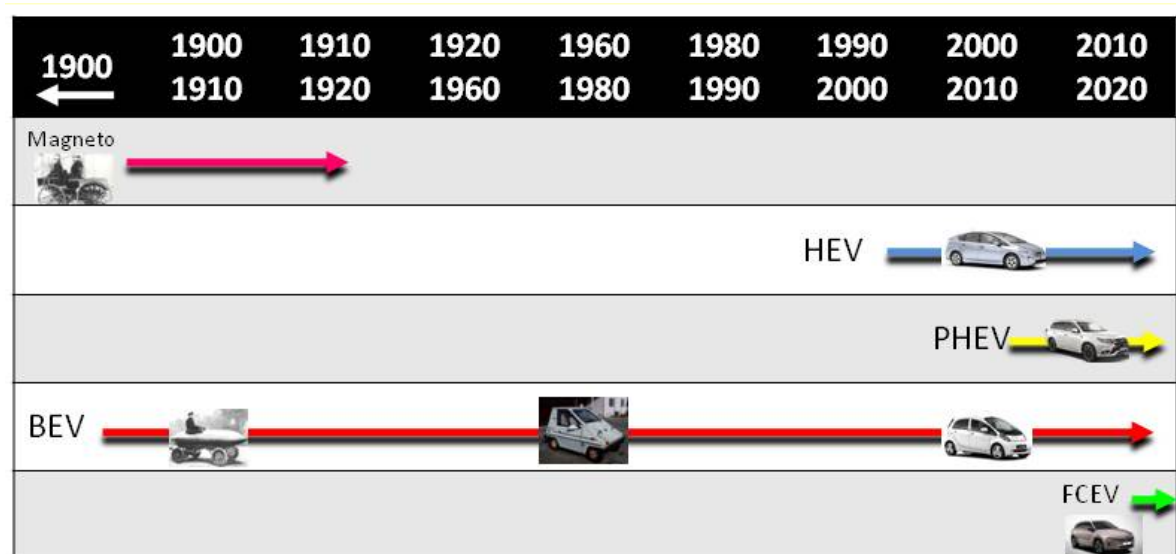
Teniendo en cuenta los problemas asociados con la contaminación ambiental de los vehículos motorizados y la manera de reducir su impacto (Cantor B., et al., 2008), se contemplan diferentes métodos para la mitigación de las emisiones de escape, el uso de energía limpia, la reducción de contaminantes, el ahorro de combustible y el reciclaje entre otros, debiendo ser diseñados y fabricados para estar en armonía con el entorno. Para ello se necesitan nuevos materiales, nuevas tecnologías o ideas ingeniosas para resolver estos problemas. Es por ello necesario conocer las alternativas de motorización de vehículos no contaminantes, centrándose en el uso de motores eléctricos y baterías recargables, destacando las ventajas de la propulsión eléctrica y generando un punto de partida para un estudio más profundo de este tema.

Actualmente existen diferentes tipos de sistemas de transporte que se basan en la electricidad para generar su movimiento; los “*Vehículos eléctricos*”, los “*Vehículos híbridos-eléctricos*” y los “*Vehículos eléctricos de pila de combustible*”, los cuales se grafican en la imagen (ver imagen siguiente) y se detallan en el listado subsiguiente.



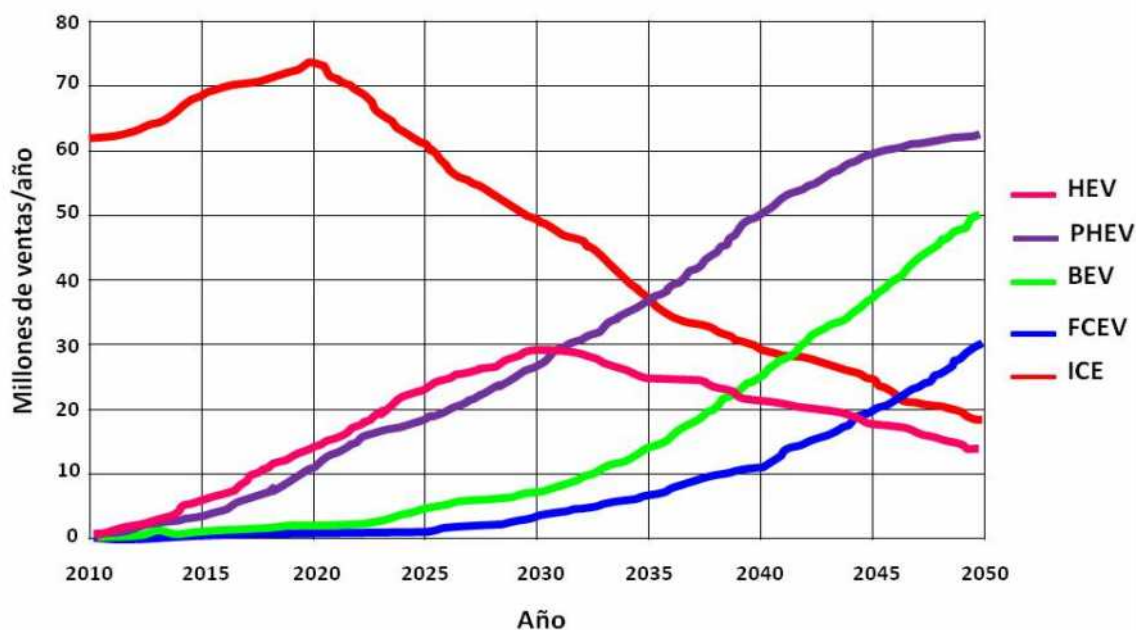
**Imagen 24:** Tipos de vehículos eléctricos y sus variantes; fuente, Girard A., et al., (2019).

- **HEV** (*Hybrid Electric Vehicle*), que incluye un motor de combustión interna (SCI) y un pequeño motor eléctrico, configura dos en paralelo o en serie, junto con una batería que se recarga mediante la regeneración de energía producto del frenado.
- **PHEV** (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), cuenta con una batería que es recargada por fuentes externas (enchufable) que alimenta el motor eléctrico que desplaza el vehículo y además cuenta con un pequeño motor de combustión interna (SCI) que apoya la recarga de la batería.
- **BEV** (*Battery Electric Vehicle*), vehículo que cuenta con un único sistema de propulsión a través de un motor eléctrico, cuyas baterías son alimentadas a través de fuentes de recarga externa.
- **FCEV** (*Fuel Cell Electric Vehicle*), son vehículos de propulsión eléctrica, cuya batería es recargada a través de una celda de combustible, usualmente hidrógeno (Correa G., et al., 2014), insumo que es recargado de manera externa.



**Tabla 18:** Perspectiva histórica, con una línea de tiempo de la evolución de los VEs; fuente, Sandén B., (2014).

Dada esta amplia gama de VEs, estudios contemporáneos (Contestabile M., et al., 2011), que consideran el aumento de las necesidades de transporte, proyectan en un horizonte al año 2050 una reducción progresiva del mercado de los SCIs, a favor de las diferentes variantes de vehículos eléctricos, contemplando que los VEs con un rango limitado de autonomía, eventualmente tomarán una cantidad significativa del segmento de mercado de vehículos urbanos. Los viajes inter ciudades o rurales serán absorbidos por los PHEV y FCEV donde serían más competitivos, antecedentes a tomar en cuenta por los clientes ante un análisis económico del ciclo de vida TCO<sup>78</sup>. Dicha proyección se muestra en el gráfico siguiente, que indica los posibles escenarios de ventas para los diferentes tipos de VEs hasta el año 2050.



**Gráfico 16:** Proyección de un posible escenario (2010-2050) a nivel mundial de ventas de VEs; fuente, Contestabile M., et al., (2011).

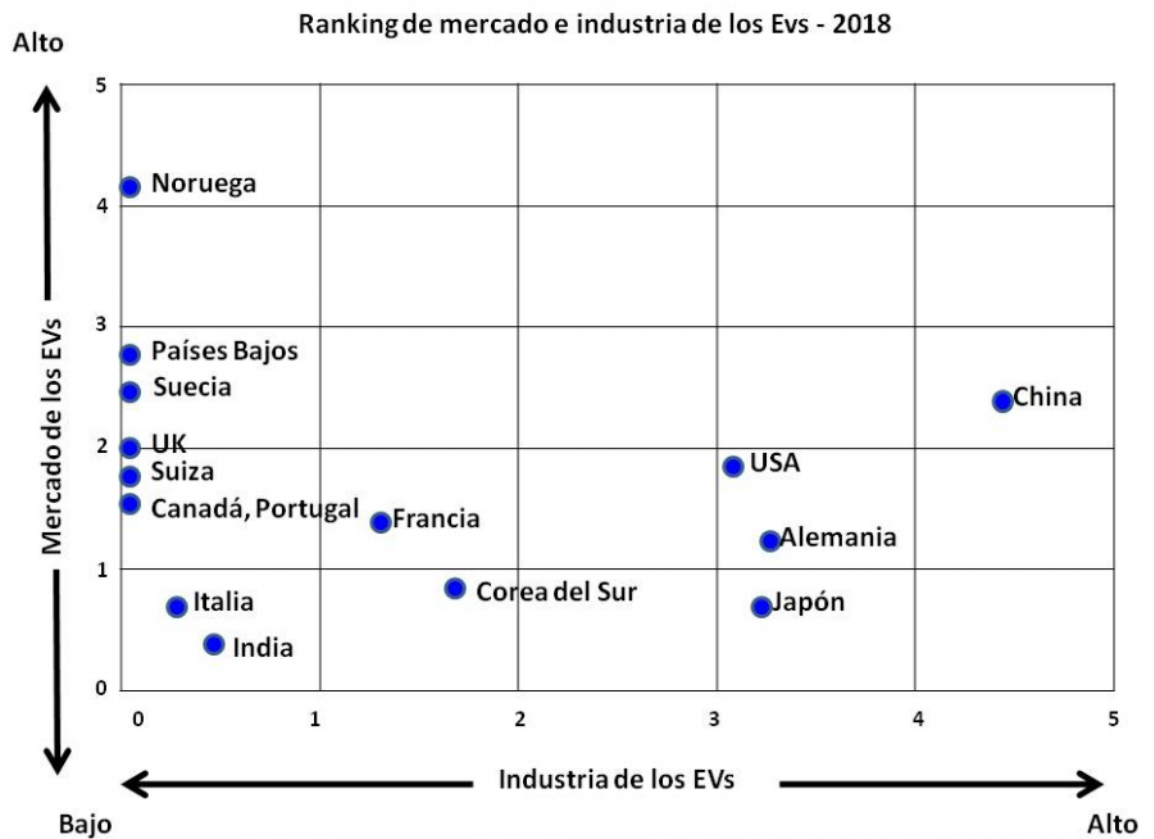
El cuadro siguiente nos puede ilustrar sobre los modelos comerciales de VEs disponibles en el mercado norteamericano, con sus respectivos rendimientos y costes de circulación (Shekar Das H., et al., 2017).

<sup>78</sup> TCO; Total Cost Ownership, coste total de propiedad del activo.

Marca y modelo del vehículo	Tipo	Fuente de energía	Rendimiento km/lt		Coste anual (por 25.000 km)
			Ciudad	Carretera	
Honda Fit 2014	BEV	Eléctrica	56,1	44,6	465,00 €
Nissan Leaf 2015	BEV	Eléctrica	53,6	42,9	511,50 €
Ford Focus Electric 2016	BEV	Eléctrica	46,8	42,1	558,00 €
Mitsubishi i-MiEV 2016	BEV	Eléctrica	53,6	42,1	511,50 €
Honda Civic Hybrid 2015	HEV	Gasolina	18,7	20,0	744,00 €
BMW Active E 2011	BEV	Eléctrica	45,5	40,8	558,00 €
BMW Active Hybrid 3 2015	HEV	Gasolina	10,6	14,0	1.395,00 €
Toyota Camry Hybrid LE 2015	HEV	Gasolina	18,3	16,6	790,50 €
Ford Fusion Hybrid FWD 2016	HEV	Gasolina	18,7	17,4	790,50 €
Honda Insight 2014	HEV	Gasolina	17,4	18,7	790,50 €
Lexus LS 600 h L 2015	HEV	Gasolina	8,1	9,8	1.906,50 €
Toyota Prius 2015	HEV	Gasolina	21,7	20,4	651,00 €
Porsche Panamera S E-Hybrid 2016	PHEV	Gasolina - Electricidad	21,7 (combinado)		1.348,50 €
Chevrolet Volt 2015	PHEV	Gasolina - Electricidad	42,9	39,5	744,00 €
Toyota Prius 1.8 2015	PHEV	Gasolina - Electricidad	40,4	21,3	604,50 €
Audi A3 E-tron 2016	PHEV	Gasolina - Electricidad	35,3 (combinado)		883,50 €

**Tabla 19:** Vehículos Eléctricos de uso personal disponibles en el mercado norteamericano, características, rendimiento y costes; fuente, Shekar Das H., et al., (2017).

Por otra parte, el centro de investigación *McKinsey Center for Future Mobility* (Hertzke P., et al., 2019), presentó un estudio denominado “*Expanding electric vehicle adoption despite early growing pains*”. Los autores señalaban un crecimiento del 60% anual, en relación con los VEs y a la vez detallan la industria representativa (a nivel mundial), junto con los países donde mayoritariamente se despliegan y utilizan los vehículos eléctricos, tal y como se muestra en el gráfico siguiente.



**Gráfico 17:** Ranking de mercado e industria de VEs, año 2018; fuente, Hertzke P., et al., (2019).

En dicho estudio (Hertzke P., et al., 2019) destaca China, que lidera la industria de la fabricación y produce un balance entre uso y desarrollo; además indica que “*El último análisis de nuestro índice de vehículos eléctricos muestra que la industria de los vehículos eléctricos ligeros continúa haciendo progresos sólidos. Para acelerar aún más el crecimiento, se deben superar varios*

*obstáculos*”; siendo estas barreras desde una perspectiva de la Industria, la “*Toma de decisiones audaces para acelerar la rentabilidad de los VEs*”, “*Sincronizar la cadena de valor del VEs*” y “*Ampliar aún más la gama de modelos*”. Como vemos, la preocupación de los fabricantes está enfocada directamente con la comercialización.

### **2.3.6. Vehículos eléctricos (VEs) o BEV.**

Los vehículos eléctricos son aquellos que solo tienen un sistema de propulsión alimentado por un paquete de baterías; su autonomía depende de la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica de su sistema, además de sus condiciones de recarga de los mismos. Estos VEs pueden ser aquellos específicamente diseñados como vehículos eléctricos o los que originalmente cuentan con un motor de combustión interna (SCI) y que son modificados a través del reemplazo de su planta de energía, transformándose en VEs, conservando parte de sus características originales (chasis, transmisión, dirección y carrocería), denominando a esta condición “***Movilidad eléctrica***”.

### **2.3.7. Vehículos Híbrido-Eléctricos, HEV y PHEV.**

Los vehículos Híbrido-Eléctricos son los que utilizan un sistema de propulsión que combina un SCI con un motor eléctrico, siendo el primero de ellos el sistema motriz que desplaza el vehículo bajo ciertos estándares de velocidad y disponibilidad de energía, cargando las baterías y el segundo, para la propulsión eléctrica propiamente tal. Hay varios modelos de ellos, tales como *Toyota Prius*, *Mitsubishi MIEV*, *Chevrolet Volt*, *Lexus Hybrid Drive* y *Honda Civic Hybrid*, todos ellos vehículos civiles que ***no cumplen con los estándares militares***.

No obstante lo indicado en el párrafo precedente, existen algunos modelos de

vehículos híbrido-eléctricos con estándares militares, entre los que destaca la plataforma multipropósito VAMTAC, fabricada por la empresa Gallega Urovesa, y representado por el vehículo “URO Vamtac”, HEV 4x4 de “Autonomía extendida”, cuya configuración se basa en dos motores eléctricos alimentados por una batería que le otorga 40 km de autonomía y que, gracias a un generador eléctrico y a un motor de gasolina que lo mueve, puede recuperar la energía para continuar alimentándolo y sumar una autonomía similar a la de su versión diésel<sup>79</sup>.



**Imagen 25:** Vehículo híbrido-eléctrico “URO Vamtac”, con estándares militares todo terreno y con “Autonomía extendida”; fuente, [www.hibridosyelectricos.com](http://www.hibridosyelectricos.com)

### **2.3.8. Vehículos eléctricos de pila de combustible, FCEV.**

Son aquellos vehículos donde una pila de combustible genera la electricidad necesaria para que el sistema de propulsión (eléctrico) mueva el VE. La pila

<sup>79</sup> <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/ejercito-espanol-electrifica-uro-vamtac-4x4-electrico-autonomia-extendida/20191129181259031841.html>



genera electricidad mediante hidrógeno<sup>80</sup> que proviene de un depósito o es producido a partir de gasolina, bioetanol<sup>81</sup> u otros combustibles líquidos en el mismo vehículo.



**Imagen 26:** Estación española de repostaje de hidrógeno; fuente, [www.abc.es](http://www.abc.es)

Sin embargo, este tipo de tecnología, en desarrollo actualmente, presenta complicaciones respecto del sostenimiento de dichos medios de transporte, en especial al repostaje, disponibilidad de repuestos e insumos y, principalmente, de personal técnico competente capaz de intervenir y realizar reparaciones y mantenimiento en éstos vehículos. No obstante, estudios contemporáneos (Shekar Das H., et al., 2017) hacen presente que la aplicación de la tecnología de celda de combustible en vehículos eléctricos (FCEV) se está transformando en una opción viable para los eventuales usuarios, considerando que éstos valoran el diseño del vehículo, su celda de combustible, la batería y el uso de un ultra-condensador como fuentes de energía, que los hace ser muy eficientes. Asimismo, dichas características, junto con el aumento de la autonomía y el bajo impacto medioambiental, hacen que los FCEV puedan en un futuro reemplazar los vehículos dotados de motores de combustión interna y ser muy

<sup>80</sup> <https://www.xataka.com/vehiculos/coche-electrico-vs-coche-hidrogeno-batalla-futuro-automovil>

<sup>81</sup> Alcohol etílico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa.

competitivos en relación con el resto de los VEs, que limitan su movilidad a la capacidad de sus baterías.

#### **2.4. El “*Estado del arte*” en materia de VEs.**

El estado actual del desarrollo y uso de los vehículos eléctricos es variado, la Industria y algunos gobiernos han lanzado intensas campañas de promoción de los VEs como una alternativa sin emisiones contaminantes, versus los tradicionales vehículos con motores de combustión interna. Ello ha propiciado una tenaz competencia por parte de las empresas para contar con aquel VE que tenga la tecnología más puntera, la mayor autonomía, el menor impacto ambiental y un precio que sea atractivo para los potenciales compradores.

Lo anterior ha llevado a la homologación de tecnologías, principalmente aquellas que se vinculan con los sistemas de recarga de energía, los repuestos y sus componentes, junto con la disponibilidad de estaciones de mantenimiento y reparación, lo que aumenta la confianza de los potenciales clientes, entusiastas y usuarios de este tipo de vehículos.

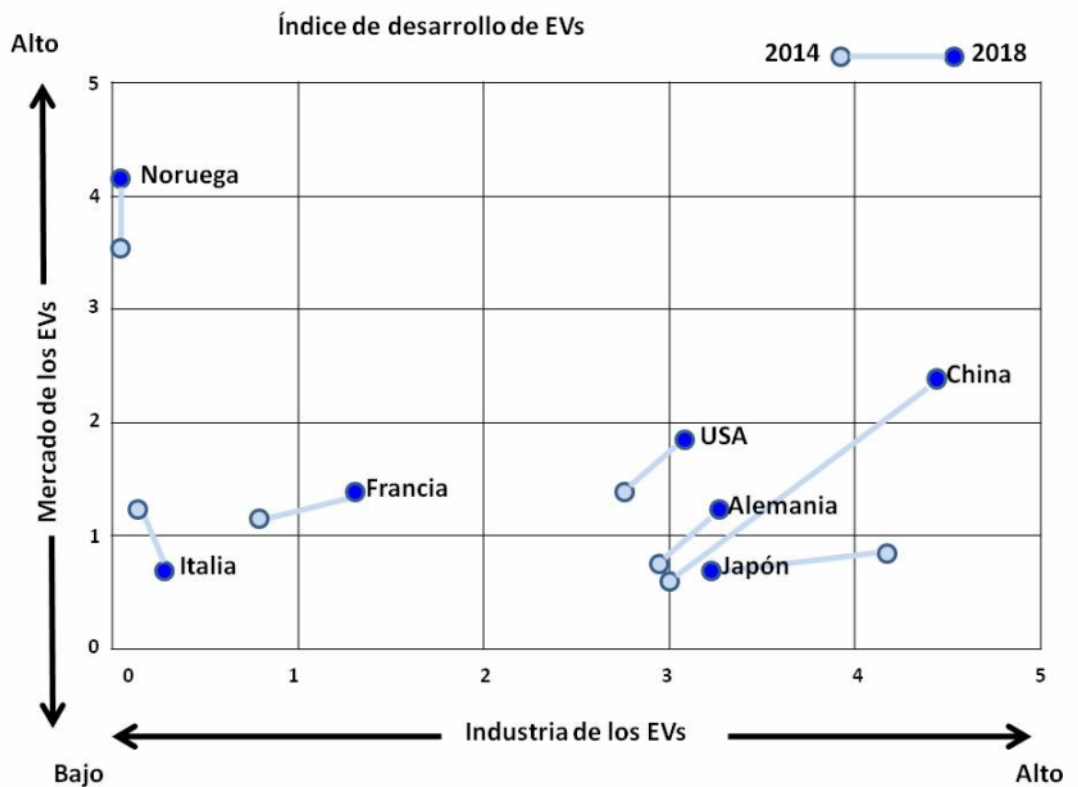
##### **2.4.1. A nivel mundial.**

Existen muchos esfuerzos tendentes al desarrollo y comercialización de vehículos eléctricos o híbrido/eléctricos, principalmente en China, Estados Unidos de América, Europa, Japón y Corea. Este desarrollo comercial podría suponer un complemento adicional a los vehículos SCI ya disponibles, más que una sustitución de los mismos, considerando que eventualmente las personas que adquieran uno de éstos medios de transporte, lo realicen para recorridos urbanos o metropolitanos, no así para largos recorridos.

El estudio denominado “*The global electric-vehicle market is amped up and on the rise*”, presentado por *McKinsey Center for Future Mobility* (Hertzke P., et

al., 2018), determinó que en el año 2017 “las ventas globales de nuevos vehículos eléctricos superaron el millón de unidades”, que “bajo la trayectoria de crecimiento actual, los productores de vehículos eléctricos podrían casi cuadruplicar la producción para el 2020”.

Para corroborarlo, exponen el gráfico siguiente, el cual indica el “Índice de desarrollo” de 7 países representativos, con el desarrollo contrastado entre el año 2014 y el 2018, mostrando los avances (y retrocesos) en materia de Mercado versus Industria, evidenciándose claramente la posición de China, que en cuatro años marca el dominio en ambos escenarios.



**Gráfico 18:** Índice de desarrollo de VEs en 7 países representativos, mercado versus industria; fuente, Hertzke P., et al., (2018).

Teniendo presente que, a la fecha (2020), la tecnología asociada a la movilidad eléctrica está en desarrollo, los costes de un VE son relativamente altos, pero existe un renovado interés por mitigar los impactos medioambientales que

producen los diferentes medios de transporte, lo que reforzado por políticas gubernamentales vinculadas a las restricciones de las diferentes fuentes contaminantes, se estima que progresivamente el parque automotor eléctrico aumentará hasta reemplazar en gran medida a aquellos dotados de motores de combustión interna.

Si consideramos el caso particular de España, según la *Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso de la Movilidad Eléctrica* (AEDIVE), entidad que promueve y fomenta el uso de VEs en España, las proyecciones para la década de 2020, con 5.000.000 de unidades de vehículos eléctricos para el año 2030, como lo detalla la tabla siguiente.

Matriculaciones de vehículos eléctricos en España en 2019	Matriculaciones de vehículos híbridos enchufables en España en 2019	Parque actual estimado de vehículos eléctricos en España	Objetivo del Gobierno de España, vehículos eléctricos para el año 2030
24.261 unidades	7.427 unidades	76.430 unidades	5.000.000 de unidades

**Tabla 20:** Cuadro de datos (matriculaciones, parque de vehículos actual y objetivos gubernamentales para el 2030), de VEs en España; fuente, Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso del vehículo Eléctrico.

En relación al párrafo precedente, dicho estudio, así como muchos otros más, no contemplaron los tremendos impactos globales que ocasiona aun el confinamiento producto de la pandemia de COVID-19, por lo cual, GANVAM (*Asociación Nacional de Vendedores de vehículos a Motor, Reparación y Recambios*) estimó en mayo<sup>82</sup> de 2020 que el mercado español de comercialización de vehículos eléctricos cerrará dicho año con una caída cercana al 30%, acumulando un descenso del 25,5% en su primer cuatrimestre. Estas estimaciones pueden ser cifras conservadoras, si las comparamos con los efectos de la pandemia a nivel mundial.

<sup>82</sup> <https://www.ganvam.es/>

La masificación del uso de VEs podría llevar a la aparición de algunos problemas vinculados con la mayor demanda de electricidad para la recarga de sus baterías y la disponibilidad de materias primas para la fabricación de éstas. Asimismo y de manera contingente, se debe contar con una fuerte campaña de reciclaje de los componentes de los VEs, dado que como cualquier medio de transporte y máquina en general, tiene a una vida útil limitada.

Sin tener presente el inconmensurable impacto que ha generado la pandemia de COVID 19 a nivel mundial, se estimaba que el crecimiento anual de VEs sería cercano al 40% (Fernández A., 2018) y se consideró que para el año 2025 los costes de un VE serán competitivos en función de los precios de insumos y componentes. En este contexto, los compromisos gubernamentales y empresariales en materia de movilidad eléctrica se exponen en los cuadros siguientes.

<b>País</b>	<b>Acciones</b>
<b>Alemania</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El gobierno alemán destinó 100.000.000 € anuales para la instalación de estaciones de recarga y planea tener estaciones adicionales para el 2020.</li> <li>- Los vehículos eléctricos están libres de impuestos por 10 años.</li> </ul>
<b>Argentina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A partir de 2018 se introduce una política de movilidad eléctrica para impulsar la producción y venta de VEs, se eliminan los impuestos a la importación de vehículos híbridos, eléctricos y de hidrógeno.</li> <li>- Una ley de incentivos de vehículos eléctricos podría aprobarse para el año 2020.</li> </ul>
<b>China</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los VEs están exentos de impuestos hasta 2020.</li> <li>- Subsidio gubernamental para el usuario de VEs.</li> <li>- Planes de construcción de 12.000 estaciones de recarga para 2020.</li> <li>- Subsidio gubernamental para VEs de largo alcance.</li> </ul>
<b>Noruega<sup>83</sup></b>	<p>Todos los vehículos nuevos vendidos serán híbridos o eléctricos para 2025.</p>

<sup>83</sup> Una encuesta en Noruega realizada a 12.000 personas en 2017, indicaba que las preferencias principales para optar a la compra de un VE, sería si se contase con eliminación de impuestos por la adquisición, peajes preferenciales, reducción de los permisos de circulación y estacionamientos gratuitos (Lorentzen E., et al., 2017).

País	Acciones
<b>Reino Unido</b>	Todas las ventas de automóviles nuevos, a gasolina y diésel estarán prohibidas en 2040.

**Tabla 21:** Países comprometidos con la movilidad eléctrica; fuente, Fernández A., (2018).

De la tabla anterior, podemos deducir que existe un compromiso a nivel mundial con los VEs. Esto trae como consecuencia a su vez, un aumento del interés por parte de los usuarios, ya sea para el transporte público, uso personal o un destino institucional/corporativo.

Fabricante	Acción
<b>Alianza Renault, Nissan y Mitsubishi</b>	Para 2022, ofrecerán 12 nuevos modelos de VEs.
<b>Aston Martin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Completamente híbrido para el año 2025.</li> <li>- 25% de las ventas en el año 2030 provendrán de vehículos eléctricos.</li> </ul>
<b>BMW</b>	Para el año 2025 ofrecerá 25 tipos de VEs, de los cuales 12 serán exclusivamente eléctricos.
<b>Ford</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compromiso de inversión de USD 11.000.000.000 en VEs para el año 2022 (Equivalente a 10.010.000.000 €).</li> <li>- Para el 2023, creará 16 VEs y 24 vehículos híbridos.</li> </ul>
<b>General Motors</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el 2023, lanzará al menos 20 nuevos modelos de VEs.</li> <li>- Compromiso con la tecnología de pila de combustible de hidrógeno.</li> <li>- Busca alcanzar la venta de 1 millón de VEs para el año 2025.</li> </ul>
<b>Toyota</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A partir de 2020, ofrecerá más de 10 VEs.</li> <li>- Para el año 2025, ofrecerá una versión híbrida o eléctrica de cada modelo que venda.</li> <li>- Para el año 2030, invertirá USD 13.300.000.000 (Equivalente a 12.103.000.000 €) en desarrollo de baterías.</li> </ul>

**Tabla 22:** Fabricantes de automóviles “Comprometidos con la movilidad eléctrica”; fuente, Fernández A., (2018).

Por otra parte, de la tabla anterior también se evidencia un interés desde el punto de vista de importantes fabricantes de vehículos, pero es necesario tener presente que (López J., 2013) “*El concepto de sostenibilidad va más allá de los*

*planteamientos meramente ecologistas y adquiere una dimensión estratégica en la comunicación empresarial actual. Las marcas de coches eléctricos o e-cars constituyen un ejemplo paradigmático de esta reformulación del concepto a través de su publicidad*". De ello podemos inferir que los fabricantes de vehículos, además de promover la venta de sus productos, intentan mostrar una imagen “*Limpia*” y amigable con el medio ambiente.



**Imagen 27:** ORAR 1, vehículo eléctrico de 47cv (35 kW) con una autonomía de entre 310 km y 351 km; fuente, Great Wall.

Además de los aspectos medioambientales, los fabricantes se han percatado del renovado interés por contar con VEs, en especial, penetrando en mercados como el europeo. Como ejemplo de ello, es destacable el modelo ORAR 1 (traducción que significa *Abierto, Fiable y Alternativo*) del conglomerado chino Great Wall (imagen anterior), el cual salió al mercado chino a fines de diciembre<sup>84</sup> de 2018, con un precio estimado (para China) de 7.600 € al cambio, contando con una autonomía de más de 300 km, convirtiéndose en el VE de producción industrial más barato del mundo, con planes de acceder al

---

<sup>84</sup> 18.071 unidades del ORAR1 vendidas el primer semestre del año 2019 en el mercado chino.

mercado europeo<sup>85</sup> para el año 2020.

Los párrafos anteriores se han referido a la producción y comercialización de vehículos eléctricos nuevos, fabricados específicamente con ese fin, pero también existe la *movilidad eléctrica*, por la cual organizaciones, talleres y entusiastas modifican vehículos que cuentan con un SCI, transformándolos en VEs. Estas iniciativas han sido objeto de diferentes críticas tanto positivas como negativas, muchas de estas últimas motivadas por alteraciones técnicas que vulneran parámetros de seguridad establecidos por los fabricantes y regulados por diferentes países, o de organizaciones como la FIVA (*Fédération Internationale des Véhicules Anciens* – Federación internacional de vehículos antiguos<sup>86</sup>), que ven con preocupación la modificación de vehículos considerados históricos, indicando que “*Apoyar las conversiones de clásicos en coches eléctricos va en contra de su preservación y protección*”. Un caso particular es el de Francia, que ante la crisis económica promueve el desarrollo<sup>87</sup> de los EVs, además de que con posterioridad a múltiples análisis, ha logrado que se aprueben las regulaciones que permitan la movilidad eléctrica, modificando o recuperando automóviles cuyo sistema de gasóleo o gasolina ya no funcione de forma correcta, con el consiguiente ahorro en la fabricación de un coche nuevo, así como incentivar una actividad industrial con un gran potencial. No obstante, estas actuaciones, están limitadas a que solamente podrán ser convertidos los vehículos de la categoría M (al menos con 4 ruedas y diseñados para el transporte de pasajeros) así como los del grupo N (vehículos comerciales de transporte de al menos 4 ruedas) que

---

<sup>85</sup> <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/donde-sale-ora-r1-coche-electrico-chino-que-quiere-arrasar-europa-su-precio>

<sup>86</sup> <https://fiva.org/en/>

<sup>87</sup> <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/gobierno-frances-advierete-renault-puede-desaparecer-crisis/20200523134236035354.html>



deberán contar con más de 5 años de antigüedad; estableciéndose que el nuevo VE tendrá que haber sido convertido en un taller especializado, con un kit homologado, cumpliendo requisitos de compatibilidad electromagnética, distribución de peso y de seguridad y principalmente la nueva motorización no podrá ser superior en potencia superior a la disponible en el modelo original.

Otro caso son los Países Bajos, que fomentan la movilidad eléctrica, donde una empresa de construcción llamada *BAM Infra Nederland* ha transformado<sup>88</sup> un rodillo compactador con motor diésel, en un VE funcional para los trabajos de asfaltado de carreteras, adaptación exitosa de maquinaria que permite hacernos ideas de las múltiples posibilidades de conversión.



**Imagen 28:** Rodillo eléctrico compactador de asfalto modificado; fuente, BAM Infra Nederland.

Dicha transformación realizada por *BAM Infra Nederland* nació de la necesidad de reciclar los activos de la empresa, dado que el mercado actual ofrece muy pocas opciones en lo que se refiere a maquinaria de obra civil eléctrica, por lo que este nuevo VE trae beneficios como “*Trabajar sin*

<sup>88</sup> <https://www.baminfra.nl/nieuws/bam-neemt-s-werelds-eerste-elektrische-wals-in-gebruik>

*emisiones y en completo silencio*”, ahorrando 73 lt/día de combustible y con una reducción de alrededor de 236 kg de CO<sub>2</sub>/día.

En materia de transporte público, China y Europa lideran la fabricación de autobuses eléctricos de pasajeros, tanto interurbanos como aquellos de cortos recorridos. En Europa, las ventas de autobuses Híbrido-Eléctricos (HEV) alcanzaron las 1.918 unidades<sup>89</sup> el año 2019, con registros principalmente en Alemania, España, Bélgica, Italia, Francia y los Países Bajos, representando el 4,8% del total del mercado, frente a las 1.607 unidades de autobuses 100% eléctricos en dicho año, con un 4% del mercado, por lo tanto, en materia de transporte público eléctrico, Europa se encuentra incorporando y en expansión, estos nuevos medios sostenibles. Es de destacar al fabricante español IRIZAR, con los modelos *Ie*, que llevan operando desde el 2014 por distintas ciudades europeas<sup>90</sup>, utilizando baterías de iones de Litio y motorización propia, cuyas prestaciones le permiten incluso una capacidad de tracción en pendientes máximas de 18%.



**Imagen 29:** Autobús eléctrico de la marca IRIZAR modelo *Ie* 18, en recorrido en España; fuente, [www.irizar.com](http://www.irizar.com)

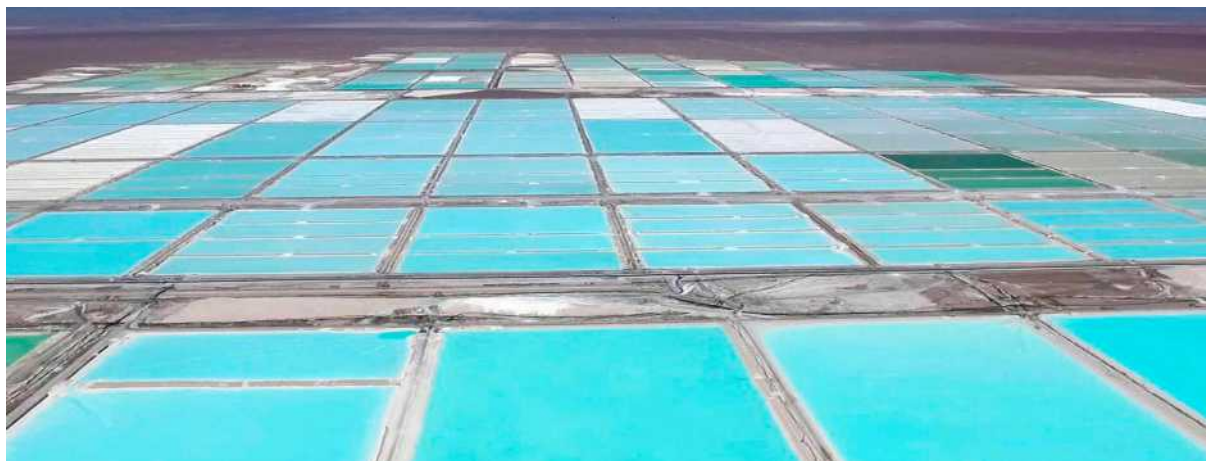
<sup>89</sup> <https://www.acea.be>

<sup>90</sup> [www.irizar.com](http://www.irizar.com)

### 2.4.2. Sudamérica y los VEs.

Los países sudamericanos no se han quedado al margen del aporte en materia de movilidad eléctrica, aunque de una manera incipiente en la importación y uso de los VEs y de forma experimental, en la fabricación de los mismos. El presente apartado, se centra en los aportes tecnológicos de cada país, como manera de evidenciar los esfuerzos que se realizan en esta materia, ya sea para la generación de conocimiento, en relación con los aspectos comerciales o con la mitigación de efectos contaminantes.

No hay que dejar de considerar que Sudamérica posee importantes yacimientos de Litio, elemento fundamental para la fabricación de baterías, que en sí mismos, son los que almacenan la energía que permite la alimentación de teléfonos celulares, ordenadores portátiles y el movimiento de los VEs. Este mineral se encuentra en forma de salmueras continentales en Bolivia, Argentina y Chile<sup>91</sup>, que contienen soluciones concentradas de litio, como serían el Carbonato de Litio, el Cloruro de Litio o el Hidróxido de Litio.



**Imagen 30:** Planta de secado de sales de Litio, Atacama, Chile; fuente, [www.hibridosyelectricos.com](http://www.hibridosyelectricos.com)

Junto a los yacimientos de Litio indicados anteriormente, en Sudamérica se

---

<sup>91</sup> El Ministro de Minería de Chile, Baldo Pukurica, declaró en 2019 que en Chile existen 52 salares con concentraciones de Litio, no obstante ello, solamente se explota  $\frac{1}{4}$  de un solo salar, el de Atacama.

encuentran yacimientos de *Tierras raras*<sup>92</sup>, particularmente en Brasil y Chile, con los principales yacimientos a nivel mundial en China y los estados Unidos, cuyos usos a partir de la década de 1990 se masificaron, en función de aportar componentes claves para los equipos electrónicos y, en el caso de los vehículos eléctricos, a través de la utilización de motores eléctricos hechos con imanes permanentes que no se necesitan excitación externa, ni escobillas para generar el campo magnético en el rotor y hacerlo girar cuando se expone al campo generado externamente en el estator, lo que los hace más compactos y sencillos en su funcionamiento, pero dado que en su mayoría son importados de China, son escasos, caros y difíciles de reciclar. Esto ha llevado a una gran demanda de dichos elementos, considerándolos estratégicos por los países que los poseen, por ello, el ministro de Minería de Chile, Baldo Prokurica, en el año 2020 destacó el gran potencial de Chile en las denominadas tierras raras, *“Hoy los smartphones, televisores, parques eólicos, ampolletas de bajo consumo, vehículos híbridos y fibras óptimas son una realidad gracias a estos minerales”*<sup>93</sup>, asimismo, en esa oportunidad el Secretario de Estado indicó que *“El 90% del uso de las tierras raras se destina a electro movilidad y generación de energías renovables. Los autos eléctricos llevan 10 veces más tierras raras que los autos convencionales, y las turbinas eólicas son grandes consumidores de dicho material. Chile posee prospectos y proyectos importantes para la extracción de estos elementos en Atacama y Bío Bío”*.

No obstante lo señalado en ambos puntos anteriores, Sudamérica mayormente no desarrolla una industria dedicada a la fabricación masiva de baterías y/o

---

<sup>92</sup> Agrupación de 17 elementos químicos, 15 pertenecientes al grupo de los lantánidos (Lantano, Neodimio, Cerio, Praseodimio, Prometio, Samario, Europio, Gadolinio, Terbio, Disprosio, Holmio, Erblio, Tulio, Iterbio y Lutecio), junto al Escandio y el Itrio. Los imanes permanentes formados por tierras raras, proporcionan un flujo magnético cuando se magnetizan y no pierden sus propiedades una vez que cesa la causa que provoca el magnetismo.

<sup>93</sup> <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2020/09/22/las-tierras-raras-una-potencial-caja-de-ahorro-que-tiene-chile.shtml>

componentes eléctricos o electrónicos, por lo que sus países se limitan a ser proveedores de *comodities* y no de productos terminados. Esta condición puede variar en un futuro no muy lejano, dados los menores costes de producción en comparación con la extracción de mineral en Australia y China (Desormeaux D., 2018) además de la concentración de litio/potasa, la tasa de evaporación de las salmueras en Chile y Argentina, los nuevos acuerdos comerciales de Chile, los innovadores métodos de producción en Argentina y el fortalecimiento de Bolivia, lo que ha hecho crecer y consolidarse la industria extractiva del Litio.

**a. Argentina:** Desde hace un tiempo a la fecha, en Argentina se desarrollan estudios asociados a la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que ha propiciado un renovado interés (Gil S., et al., 2013) en la implementación de vehículos convencionales a GNC (Gas Natural Comprimido) como una opción válida e interesante, en especial en el transporte público y en automóviles híbridos, los cuales son adaptados en dicho país, teniendo en cuenta que Argentina es un gran productor de este gas. Asimismo, este interés se ve apoyado por una política que incentiva el uso de vehículos eléctricos con baterías (BEV; *Battery Electric Vehicle*) o vehículos híbridos (HEV; *Hibrid Electric Vehicle*), para lo cual, dicha variante híbrida resultaría interesante en una combinación GNC-VE, bajo una premisa de mínimo impacto medioambiental. En este contexto y en el año 2019 Argentina presentó<sup>94</sup> al público su primer vehículo totalmente eléctrico, “*Se trata de un vehículo que representa la nueva movilidad por tratarse de un microcar 100% eléctrico y amigable con el planeta*”<sup>95</sup>. El *microcar* está fabricado en Buenos Aires por la empresa<sup>96</sup> *Sero Electric*,

---

<sup>94</sup> <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/auto-electrico-argentina/840616/>

<sup>95</sup> Declaración de Director de la compañía Sero Electric, Sr. Pablo Naya al periódico argentino La Nación.

<sup>96</sup> [www.seroelectric.com](http://www.seroelectric.com)

que lo comercializará por lo pronto en Argentina y con posterioridad a Brasil y México, en versiones sedán y *pick-up*, con una autonomía de 50 y 100 km, dependiendo si utilizan baterías de ácido-plomo o de iones de Litio respectivamente. La opción con batería de plomo tiene un coste de USD 9.990 (equivalente a 9.091 €) y el de mayor rango llega a los USD 14.600 (13.286 €), pesando 450 kg y con un tiempo de recarga estimado de unas 6 a 7 horas.



**Imagen 31:** Vehículo eléctrico de fabricación argentina, de la marca Sero Electric, en versión sedán y Pick-up; fuente, SeroElectric.

- b. Bolivia:** Al igual que Chile y Argentina, Bolivia posee importantes yacimientos de salmueras de Litio (Salar de Uyuni), por ello, de manera reciente el país altiplánico impulsó políticas nacionales a través de su ex presidente, el Sr. Evo Morales<sup>97</sup>, el cual estrenó un VE fabricado localmente por la empresa Quantum, que comenzará a ser comercializado a un precio estimado de USD 5.600 (5.096 €).

---

<sup>97</sup> <https://www.eldinamo.cl/actualidad/2019/09/29/evo-morales-estreno-auto-electrico-hecho-en-bolivia-para-fomentar-la-industria-del-litio/>



**Imagen 32:** El ex presidente boliviano Evo Morales, impulsando la electro movilidad de la industria en Bolivia, conduce un automóvil eléctrico de fabricación boliviana; fuente, El Dínamo.

El ex presidente de Bolivia declaró *“Le pedimos a la población que adquiera y apoyemos a la industria boliviana que es un orgullo. Tenemos científicos exponiendo carros eléctricos en Bolivia y nuestra tarea es incorporar el Litio”*, fomentando la industria del Litio y la fabricación automotriz boliviana. Para efectos de este fomento a la industria local, el entonces presidente Morales garantizó la adopción de medidas para que este vehículo pueda transitar por las calles bolivianas sin ningún problema; *“Es la tarea del equipo jurídico acelerar y cumplir con las normas que permitan el manejo de este carro”*, señalando además por las redes sociales el 28 de septiembre de 2019; *“Brindaremos todo nuestro apoyo a los ejecutivos y técnicos de la empresa Quantum, orgullo cochabambino y boliviano, que inaugura con creatividad y esfuerzo el nuevo ciclo de industrialización de autos eléctricos en nuestra querida #Bolivia. Juntos conquistamos un #FuturoSeguro”*.

El proyecto de fabricación de vehículos eléctricos en Bolivia llevó dos años y contó<sup>98</sup> con el asesoramiento de un ex empleado de General Motors. Según las estimaciones bolivianas, de concretarse las ventas esperadas, la empresa a responsable podría producir 200 unidades por mes. En cuanto a su autonomía y prestaciones, *“El vehículo se alimenta de energía enchufándolo a un sistema eléctrico que suministre 220 voltios. El tiempo para cargarlo es de 6 horas y brinda una autonomía de 60 a 70 km, puede alcanzar una velocidad máxima de 42 km/h y es apto para todo el territorio boliviano”* (José Márquez, gerente de la empresa Quantum, declaraciones en [www.eldeber.com.bo](http://www.eldeber.com.bo)).



**Imagen 33:** Vehículo eléctrico boliviano Quantum E3, vista exterior e interior; fuente, Industrias Quantum Motors.

Por otra parte, en el contexto de la transición mundial a las energías limpias<sup>99</sup>, Bolivia intenta convertirse en una potencia del Litio, para lo cual *“La industrialización del litio tendrá un gran peso en la transformación de la matriz energética de Bolivia, y nuestra voluntad es contribuir a que se masifique el empleo de vehículos eléctricos, garantizar la provisión del litio necesario para ese proceso, así como impulsar el uso de energías limpias”*, conforme a lo declarado por el

<sup>98</sup> Cámara del Automotor Bolivia (CAB), 2019.

<sup>99</sup> <https://www.eldinamo.cl/actualidad/2019/09/19/guerra-del-litio-bolivia-toma-la-delantera-y-se-prepara-para-exportar-baterias/>



gerente de la empresa Yacimientos del Litio Bolivianos (YLB) en declaraciones a Prensa Latina<sup>100</sup>.

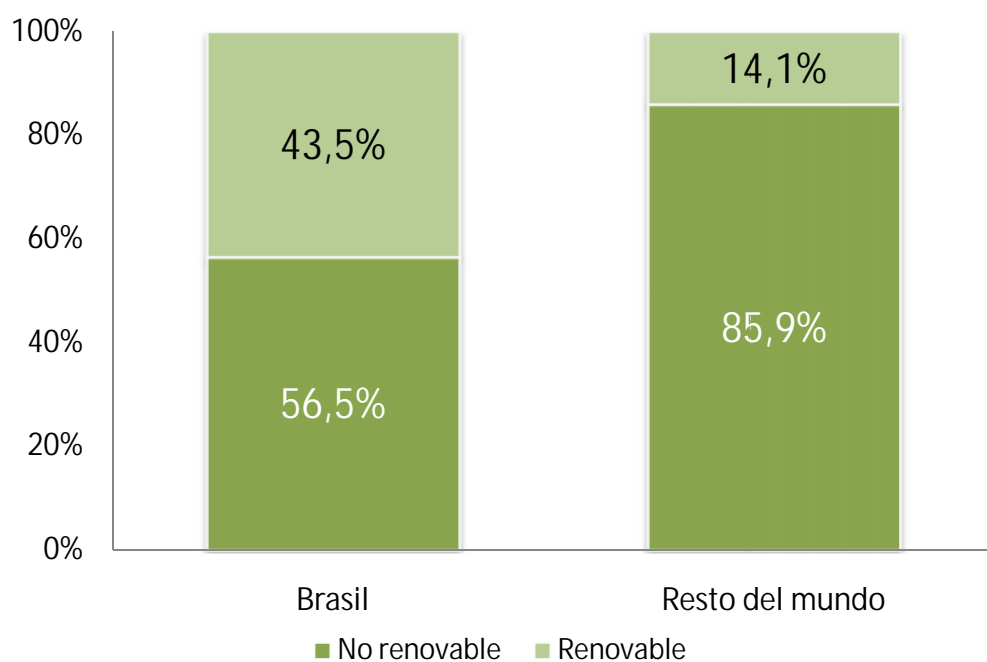
- c. **Brasil:** El país más grande de Sudamérica es un notable productor de vehículos de combustión interna, ya sean de desarrollo propio o como productos licenciados de diferentes marcas o en coalición con Argentina y Venezuela, ya que se vio fuertemente afectado por la escasez de combustible propiciada por la OPEP en la década de los 70´ lo que impulsó el desarrollo de su industria, en especial el de la producción de bioetanol. Debe tenerse en cuenta que Brasil es un productor de hidrocarburos, consumidos por los vehículos motorizados y por la gran industria en general. Dado que la carga impositiva es importante, los precios de venta al público de los VEs son más altos en comparación con los vehículos producidos en el país, la escasa red de puntos de recarga y las enormes distancias a recorrer afectan a la autonomía de los vehículos, son factores que desincentiven la movilidad eléctrica en Brasil, uno de los mayores mercados automotrices a nivel mundial. Esto se refuerza con lo que señalan estudios recientes (Knorr S., et al., 2019) que indican que *“Brasil no presenta los impulsos y motivaciones que llevaron a otros países a establecer políticas de movilidad eléctrica, ya que hay otras peculiaridades en su matriz energética que dispersar los esfuerzos hacia la electrificación de los vehículos”*. En relación con la preocupación gubernamental, y que no se centra especialmente en la movilidad eléctrica, se aprobó en 2018 la Ley 13.755 que creó la RUTA 2030. Se trata de un programa de movilidad y logística que se inició en el año 2019, válido por un período de 15 años y con el objetivo de apoyar el desarrollo

---

<sup>100</sup> Juan Montenegro, Gerente de YLB, declaración en <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/gerente-ejecutivo-de-ylb-el-litio-impulsara-el-cambio-de-la-matriz-energetica-de>

tecnológico, seguridad de los vehículos, la protección del medio ambiente y la eficiencia energética, considerando las pautas que se indican a continuación.

- Aumento de la eficiencia energética, rendimiento estructural y disponibilidad tecnológica en vehículos comercializados en Brasil.
- Aumento de las inversiones en investigación, desarrollo e innovación.
- Promoción del uso de biocombustibles y formas alternativas de propulsión y valorización del mix energético brasileño.



**Gráfico 19:** Matriz energética brasileña año 2018, en comparación con la matriz energética mundial promedio; fuente, Knorr S., et al., (2019).

- Promoción de la producción de nuevas tecnologías e innovaciones, siguiendo las tendencias tecnológicas mundiales.

- Aumento de la productividad industrial para la movilidad y la logística.
- Garantía de formación técnica y calificación profesional en movilidad y sector logístico.
- Garantizar la expansión o mantenimiento del empleo en la movilidad y sector logístico.

De hecho, el programa RUTA 2030 fomenta los vehículos híbridos equipados con un motor simultáneo de gasolina y alcohol (motor de combustible flexible), al amparo de la producción brasileña de combustibles alternativos. Promueve beneficios en la carga impositiva, sin dejar de considerar que dicho programa tiene como principal incentivo la investigación y el desarrollo en el sector automotriz, sin motivar el desarrollo de la movilidad eléctrica.

Sin embargo, no es posible dejar de considerar que existen variados estudios tendentes a la utilización de recursos como el biogás (análisis energético de la planta con una micro turbina a biogás) o la energía solar fotovoltaica para la producción de electricidad y con ello dotar de energía a vehículos eléctricos a ciertas regiones acotadas (Pereira R., et al., 2018). En este contexto, también se dispone de estudios focalizados para la introducción de vehículos eléctricos en las flotas de transporte de carga (Almeida P., et al., 2016), cuya motivación, al igual que el presente estudio, se basa en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero producidos por vehículos de combustión interna, para lo cual promueven el uso de VEs en empresas cuyo negocio principal sea el transporte, distribución de correos y servicios de *courrier* en áreas

urbanas, evaluando para ello los niveles de ruido y el desempeño del medio propuesto.

Seguidamente, es menester destacar que en Brasil existen proyectos a través de empresas emergentes que desarrollan vehículos eléctricos de transporte personal, como por ejemplo el modelo *Mobilis Li*, que saldrá a la venta en el año 2020, siendo el primer vehículo sin motor a combustión fabricado completamente en Brasil. Este vehículo fue desarrollado para uso urbano cotidiano, sin depender de la infraestructura y accesibilidad a la electricidad diferente de la ya disponible para uso doméstico<sup>101</sup>.



**Imagen 34:** Vehículo eléctrico *Mobilis Li*, desarrollado íntegramente en Brasil, disponible en dicho mercado a partir de 2020; fuente, Sputnik – Ivor Braga.

Desde el punto de vista de la investigación (Geraldo Costa J., 2019), a través del reciente estudio denominado “*Introducción masiva de vehículos eléctricos de pasajeros en Brasil: evaluación de impacto en el uso de energía, mitigación climática y necesidades de infraestructura de carga*”

---

<sup>101</sup> <https://mundo.sputniknews.com/america-latina/201810121082688837-primer-automovil-electrico-de-brasil-ahorra-miles-dolares/>

*para varios estudios de caso*”, se exponen y analizan las barreras y desafíos para el uso masivo de los VEs (especialmente de transporte público) en Brasil. Estas barreras se basan en los factores que transversalmente impactan en la sociedad, a saber: la mitigación de los efectos contaminantes de los vehículos de combustión interna, el consumo de energía y los aspectos económicos relacionados.

- d. Colombia:** A la fecha, este país tiene desarrollos experimentales en materia de VEs desde una perspectiva comercial. En Colombia se han vendido, desde el año 2011 a julio del 2019, un total de 3.167 VEs, entre eléctricos (1.421), híbridos (1.120) e híbridos enchufables (626). Lo anterior, a pesar de que los vehículos híbridos no gozan del beneficio de exención del “*Pico y placa*”<sup>102</sup> en Bogotá, que es una medida restrictiva de circulación de vehículos, asociada a la contaminación ambiental y la congestión. Colombia es un interesante mercado para los fabricantes de todo tipo de vehículos, en especial de los VEs e híbridos, que son los de mayor desarrollo, siendo en actualidad del modelo *Kia Niro* el que lidera las ventas, con un total de 545 unidades vendidas en dos años (366 de ellas el año 2019). Hasta el mes de julio de 2019, en Colombia las ventas de VEs 100% eléctricos la lideraba el automóvil *RenaultT wizey* (99 unidades) y en híbridos enchufables se destaca la SUV Mercedes Benz GLC, con 66 ventas.
- e. Ecuador:** De acuerdo a estudios recientes (Paredes L.A., 2019), Ecuador manifiesta su interés en los vehículos eléctricos. Analiza escenarios hipotéticos bajo diferentes proyecciones de energía en términos

---

<sup>102</sup> <https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/inicia-periodo-de-gestion-de-episodio-de-calidad-del-aire-para-octubre.aspx>

comparativos entre autobuses que utilizan combustibles fósiles, particularmente el gasóleo (Ecuador es productor de combustibles) y el uso de medios de transporte a través de autobuses eléctricos. El propósito es determinar el número de vehículos eléctricos en el sistema de transporte público para pasajeros, su consumo y rendimiento en términos de energía, para verificar el impacto en la demanda de energía eléctrica y cómo variará a lo largo del tiempo hasta el año 2025.

Asimismo, en Ecuador, se desarrollaron (Torres J., 2015) estudios tendentes a impulsar el perfeccionamiento energético en relación a los medios de transporte urbano, verificando los parámetros que posibiliten que la red eléctrica general apoye la movilidad eléctrica, siendo la principal fuente de energía que la provea.

- f. Perú:** Al igual que otros países sudamericanos, Perú cuenta con el desarrollo experimental de VEs, considerándose que a la fecha esta tecnología se encuentra en etapa incipiente<sup>103</sup>, sin embargo, dados los ejemplos de países limítrofes, el gobierno peruano comienza a incentivar a su población en el uso y explotación de los vehículos eléctricos, a través de la declaración del Ministerio de Energía y Minas, el cual se encuentra preparando el marco regulatorio para la implementación de éstos en dicho país.

Al margen de lo anterior, según declaraciones en el año 2019 del Vice Ministro de Energía, Raúl García Carpio, *“El Ministerio de Economía y el de Transportes preparan un bono que incentive la compra de vehículos eléctricos, que suelen ser más costosos que un auto a gasolina, por su*

---

<sup>103</sup> <https://rpp.pe/economia/economia/buses-electricos-por-que-es-tan-dificil-su-ingreso-al-peru-noticia-1193784>

*tecnología*”. Conviene señalar que este bono es debido a que en Perú, “*El coste de un auto eléctrico es de dos a tres veces superior al de uno convencional, consumen un tercio de la energía y casi no tienen coste de mantenimiento, sin mencionar sus efectos positivos sobre el medioambiente*”, conforme a lo declarado por dicho Vice Ministro.

Conviene señalar también que Perú, cuenta con proyectos destinados al transporte público eléctrico. A casi 4.000 Metros Sobre el Nivel del Mar (MSNM), en Cajamarca, transita un autobús de pasajeros con esta tecnología y como anécdota, su punto de recarga es considerado el de mayor altitud del mundo. Lo que ya funciona a modo de prueba en Cajamarca, se espera replicar en el sistema de transporte público de Lima, capital del Perú, conforme a lo que manifestó Rick de Buyserie, gerente de Engie Perú, el cual indicó “*Estamos teniendo conversaciones con la Municipalidad, pero también con empresarios de transporte de taxis y minero. No solamente estamos mirando el tema de buses eléctricos, también estamos mirando taxis eléctricos, autos eléctricos y también quizá algún día los moto taxis eléctricos*”. Debe tenerse en cuenta que, aunque existe interés en la explotación de los VEs, no se dispone de la infraestructura que permita la sostenibilidad y recarga de los sistemas de almacenamiento de energía, lo que naturalmente implicará una importante inversión en dichas instalaciones.

### **2.4.3. Chile y los vehículos eléctricos.**

Chile es una especie de “*Laboratorio*” de la industria automotriz mundial. No fabrica vehículos motorizados pero confluyen en él 68 diferentes marcas de fabricantes de distintos orígenes (y modelos), tanto americanos, asiáticos (incluyendo Rusia) y europeos, registrándose en el año 2017, la cantidad de

5.079.718 vehículos motorizados (CAVEM, 2017). Esto permite que los usuarios tengan un amplio abanico de posibilidades, dado que no existen restricciones proteccionistas respecto de las importaciones. Esta condición también se puede observar para los vehículos eléctricos, con las limitaciones que el mercado y la infraestructura imponen.

Con una mirada histórica, el registro de vehículos eléctricos en Chile, se remonta al uso de tranvías eléctricos (que renueva a los tirados por caballos) a partir del 1 de abril de 1900, de manera experimental e inaugurado de manera formal el 2 de septiembre de ese año<sup>104</sup>. En un principio con material de origen alemán (AEG “*Allgemeine Electricitäts Gesellschaft*” y Van der Zypen), comienza a ser sustituido en 1921 por equipos norteamericanos.



**Imagen 35:** Tranvía J.G. Brill en servicio en la ciudad de Santiago de Chile, década de 1940; fuente, Allen Morrison.

En paralelo, en la década de 1940, comienzan a incorporarse los trolebuses en Santiago y la ciudad portuaria de Valparaíso, si bien en la primera de ellas el servicio ya no está disponible, derivado de la ausencia de repuestos y sistemas de mantenimiento eficiente, junto a la rigidez de su trazado y requerimientos técnicos (líneas de 660V CC). En la ciudad puerto de Valparaíso aun se cuenta con “*Troleys*”, que se mantienen en buenas condiciones de conservación, dado

---

<sup>104</sup> <http://www.tranviahistorico.cl/breve-historia-del-tranvia/>



el arraigo en la cultura personal de los habitantes de Valparaíso y su uso turístico. En Santiago, estos medios se inician de manera experimental en 1940, con un sistema con 200 vehículos (entre 1947 y 1978) y una nueva línea (Morrison A., 2006) de 32 trolebuses (desde 1991 hasta el año 1994).



**Imagen 36:** Trolebús en servicio en la ciudad de Santiago de Chile, década de 1980; fuente, Allen Morrison.



**Imagen 37:** Trolebús en servicio en la ciudad de Valparaíso (Chile); fuente, [www.T13.cl](http://www.T13.cl)

En este mismo orden de ideas, Santiago cuenta con medios rígidos de transporte eléctrico (no pueden variar su trazado vial, por el uso de vías y rieles), el primero de ellos para uso turístico. Se trata de un funicular y un sistema teleférico instalados en el Parque Metropolitano; el segundo es el Metro de Santiago. Los medios eléctricos de tipo turístico vienen de antiguo, aunque con modernizaciones recientes, las cuales buscan otorgar seguridad y confianza a los operadores y a los turistas usuarios del sistema.



**Imagen 38:** Funicular y teleférico del parque Metropolitano de Santiago de Chile; fuentes, [www.24horas.cl](http://www.24horas.cl) y Viatty, respectivamente.

En cuanto al Metro de Santiago, se trata de una potente red de transporte subterráneo y de superficie, que data desde el año 1975 y que actualmente cuenta con 136 estaciones, 1.197 vagones (algunos de los cuales totalmente automatizados), estando su sistema tarifario vinculado sistemáticamente con los autobuses de recorrido urbano y que, según información del Instituto Nacional de Estadísticas (INE - 2019), durante el año 2018 transportó<sup>105</sup> un total de 721.007.312 pasajeros; entre estudiantes, adultos mayores y pasajeros normales, de los cuales las dos primeras categorías tienen tarifa preferencial y el resto una diferenciada, basada en aspectos asociados a la demanda y la saturación del medio de transporte.



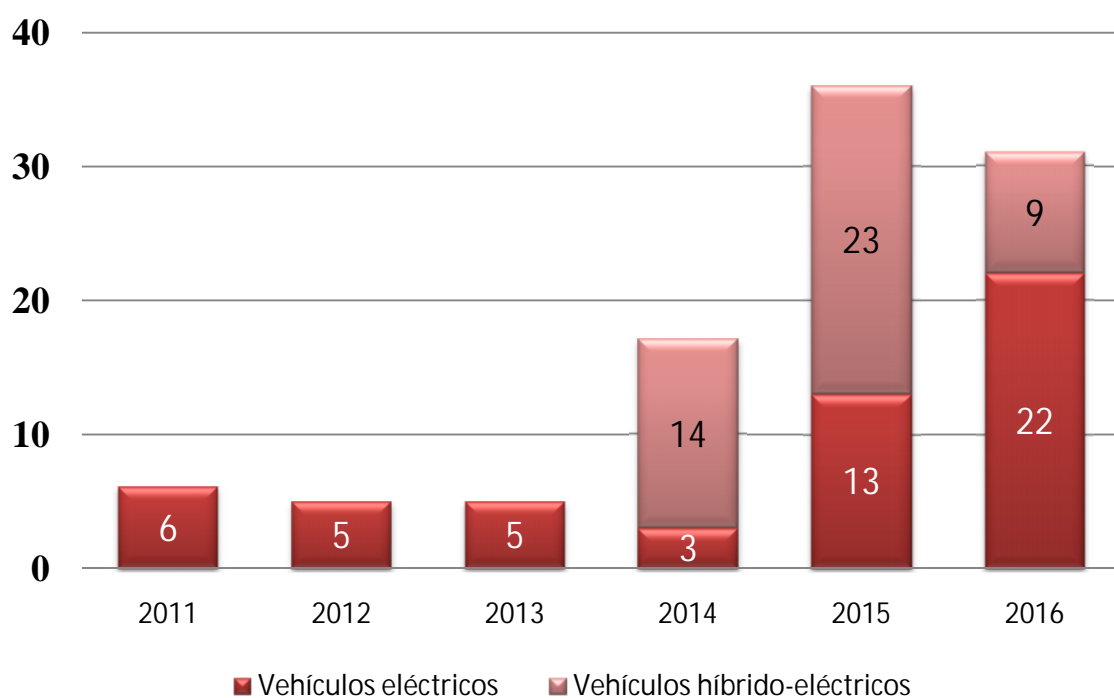
**Imagen 39:** Antigua imagen de los inicios del Metro de Santiago de Chile (1975); fuente, Metro de Santiago.

<sup>105</sup> <https://www.ine.cl/estadisticas/economicas/transporte-y-comunicaciones>



**Imagen 40:** Moderna estación de Metro “Fernando Castillo Velasco”, en la ciudad de Santiago de Chile (2019); fuente, Metro de Santiago.

Aunque Chile cuenta con vehículos eléctricos, no fabrica ni desarrolla estos medios de manera industrial. No obstante existen investigaciones en el área, particularmente en términos de movilidad eléctrica (Figueroa A., 2018) y el uso del Litio como fuente de reserva de energía (Muneer T., et al., 2017). En este contexto, los VEs de uso personal en Chile son recientes, el primero en ser comercializado en este país lo fue en el año 2011 y corresponde al modelo MIEV de Mitsubishi, el cual, por su elevado coste en comparación con un vehículo SCI de características similares, no tuvo una gran acogida en el mercado local.



**Gráfico 20:** Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en Chile (unidades vendidas entre 2011 y 2016); fuente, Anuario automotriz de la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC) 2018.

Es posible que los factores señalados en el párrafo precedente incidan en que a fecha de hoy, Chile no cuente con un uso intensivo de VEs de uso personal. De hecho, el año 2018, solo se vendieron 104 vehículos eléctricos en Chile<sup>106</sup> y hasta octubre de 2019 se comercializaron 252 unidades de VEs e híbridos enchufables, que supusieron un aumento del 58,7% respecto del año anterior, correspondiendo estas cifras a los distribuidores de vehículos, y no al consumidor final. En este sentido como se muestra en el gráfico anterior, la compra de un VE es una tendencia que ha crecido fuertemente en otras partes del mundo, pero en esta parte de Sudamérica se enfrenta barreras como la financiación, la disponibilidad de modelos, la disponibilidad de redes de recarga y el soporte técnico.

<sup>106</sup> [https://www.cnnchile.com/tecnologias/quieres-un-auto-electrico-este-es-el-escenario-en-chile\\_20180816](https://www.cnnchile.com/tecnologias/quieres-un-auto-electrico-este-es-el-escenario-en-chile_20180816)

En el año 2018, el Gobierno de Chile difundió la “*Guía de buenas prácticas en movilidad eléctrica*”, documento que consigna que para el periodo 2018-2022, la movilidad eléctrica será “*Parte de las oportunidades de innovación y desarrollo tecnológico del sector energético al servicio del progreso del país*”.

El párrafo precedente se enlaza con el documento de política energética “*Ruta Energética 2018-2022: Liderando la modernización con sello ciudadano*”, el cual busca definir el camino y prioridades en materia energética para los próximos años. Tiene como meta para el año 2022, que existan al menos 10 veces más vehículos eléctricos en Chile, lo que “*Implica incentivar el desarrollo de puntos de recarga públicos y/o privados y la incorporación de nuevos vehículos a nuestro sistema de transporte*”.

Las declaraciones anteriores refuerzan la idea de que los VEs son el futuro, tanto desde la perspectiva medioambiental como de la innovación. Esto ha generado mucho interés en organismos dependientes del gobierno y de particulares, ya sea para apoyo a la comunidad o simplemente como una oportunidad de negocio, lo que ha promovido el uso del vehículo eléctrico a través de la instalación de puntos de recarga, la incorporación de VEs al parque en circulación y el incentivo a la investigación y desarrollo, ya que “*Este avance es relativamente incipiente todavía en nuestro país y sin embargo ya existe experiencia acumulada que puede y debe ser compartida entre todos quienes ya están involucrados con esta tecnología y todos quienes están pensando en sumarse en el corto y mediano plazo*” (Gobierno de Chile, 2018).

Bajo esta línea, el Gobierno de Chile<sup>107</sup> ha señalado el propósito de “*Posicionar a Chile como potencia regional en materia de electro movilidad*”, “*Difundir y*

---

<sup>107</sup> <https://www.fidelmov.cl/>

*sociabilizar la ruta energética 2018-2022 del Gobierno de Chile”, “Aumentar la eficiencia en el transporte público y privado en Chile, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>” e “Incentivar la formación de capital humano en temáticas de electro movilidad”.*



**Imagen 41:** Carrera Fórmula E, desarrollada en Chile en 2019; fuente, [www.lifestyle.americaeconomia.com](http://www.lifestyle.americaeconomia.com)

Por otra parte, a manera de incentivo, en Chile y desde el 2017 se corre la competición de vehículos eléctricos denominada “Fórmula E”, organizada<sup>108</sup>, la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) que indica que “... *es un nuevo campeonato con autos de Fórmula que funcionan exclusivamente con energía eléctrica. Representa una visión para el futuro de la industria del motor en las próximas décadas, sirviendo como marco para la investigación y el desarrollo en torno al vehículo eléctrico, acelerando el interés general en estos automóviles y promoviendo la sostenibilidad*”. Esta competición ha tenido un gran éxito en Chile, contando con el auspicio privado y gubernamental, dada la participación de 11 escuderías en su versión 2019 y 22 pilotos en sus monoplazas eléctricos, oportunidad en la que asistieron cerca de 10.000 personas según estimaciones de los organizadores.

Al respecto, con la finalidad de clasificarlos y basado en lo señalado en los

<sup>108</sup> <https://www.fiaformulae.com/>

párrafos precedentes, analizaremos los diferentes segmentos del transporte terrestre en Chile, que disponen, explotan o pueden ser usuarios de vehículos eléctricos.

- a. Transporte público:** Dado que para la opinión pública *“La venta de vehículos eléctricos no es masiva, toda vez que son costosos, producto del precio de sus baterías de litio”* (Agenda Motor, 2018) y que no hay incentivos o reducción de impuestos para quienes compran VEs para uso personal, el Gobierno de Chile ha impulsado el uso de autobuses 100% eléctricos. En primer lugar, en la ciudad de Santiago<sup>109</sup>, que cuenta con un sistema integrado de transporte, que combina el uso del tren subterráneo (Metro de Santiago) y una concesión de autobuses urbanos denominado originalmente *“TranSantiago”* (2006-2019) hoy *“Red Metropolitana de Movilidad”* y de manera experimental en otras regiones del país, tales como: Antofagasta<sup>110</sup> (zona norte de Chile) y Concepción (zona centro-sur de Chile), todo como parte de estrategias de promoción del uso y explotación de VEs.



**Imagen 42:** Autobús eléctrico marca YUTONG (China) en servicio en la ciudad de Santiago desde 2017; fuente, Roberts C., (2020).

<sup>109</sup> <https://www.mtt.gob.cl/archivos/20065>

<sup>110</sup> <https://thetimes.cl/noticia/7017/presentan-bus-electrico-que-recorrera-de-forma-gratuita-el-centro-de-antofagasta>



**Imagen 43:** Autobuses eléctricos marca BYD (China) en servicio en la ciudad de Santiago desde el 2019; fuente, TranSantiago–Red Metropolitana de Movilidad.



**Imagen 44:** Llegada (importación) en el año 2019 al puerto de San Antonio (Chile) de autobuses eléctricos de la marca BYD, para ser utilizados en el transporte público de la ciudad de Santiago; fuente, RED.



**Imagen 45:** Flota de autobuses eléctricos marca BYD, llegados el año 2019 al puerto de San Antonio (Chile), para ser utilizados en el transporte público de la ciudad de Santiago; fuente, RED.





**Imagen 46:** Taxi híbrido Hyundai Eon en servicio en la ciudad de Santiago desde 2019, Empresa Transvip; fuente Roberts C., (2020).



**Imagen 47:** Automóvil eléctrico Hyundai Eon, promocionando el uso de vehículos eléctricos, a través de la Empresa Nacional de Electricidad (ENEL); fuente, Roberts C., (2020).

En el contexto del transporte público y considerando la problemática asociada a la contaminación del aire (particularmente en Santiago), “Chile

*acelera su compromiso con la adopción de los vehículos eléctricos*<sup>111</sup>”, debido a que en el año 2017, los Ministerios de Transportes, Energía y Medio Ambiente publicaron la “*Estrategia de electro movilidad de Chile*<sup>112</sup>”, que traza la ruta que debe seguir el país para hacer uso y explotación de los vehículos eléctricos.

De acuerdo a lo publicado recientemente en la prensa escrita, el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile, contempla<sup>113</sup> que para el año 2020, la ciudad de Santiago de Chile dispondrá de 106 taxis eléctricos en concesión, bajo un sistema de licitación pública, como parte de su plan de movilidad eléctrica.

La ciudad de Santiago de Chile, con 7.036.792 habitantes<sup>114</sup> y una densidad de 461,77 habitantes/km<sup>2</sup>, ha propiciado las condiciones para la movilidad eléctrica, principalmente en la red de transporte público y la disponibilidad de electrolinerías para todo tipo de vehículo. Estas condiciones no se han replicado masivamente en el resto del país, que cuenta con 10 millones de personas en el 98% del territorio nacional. Solamente la concentración del área metropolitana de la capital de Chile ha señalado el interés por el uso de VEs, desde la perspectiva de la infraestructura vial disponible. No obstante, a seis meses del plan piloto de incorporación de autobuses eléctricos en Santiago, éstos han gozado de una buena acogida por parte de los usuarios, conforme a lo declarado por la Ministra de Transporte y Telecomunicaciones, Sra. Gloria Hutt, comentó<sup>115</sup> que los 203 autobuses eléctricos “*Han tenido una buena*

---

<sup>111</sup> <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/chile-autos-electricos-futuro/498168/amp/>

<sup>112</sup> [http://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/2018/electromovilidad/estrategia\\_electromovilidad-27dic.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/estrategia_electromovilidad-27dic.pdf)

<sup>113</sup> <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-12-17&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=29&r=w>

<sup>114</sup> [www.ine.cl](http://www.ine.cl)

<sup>115</sup> <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-06-17&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=28&r=w>

recepción por los usuarios, quienes los han calificado con una nota de 6,3” de un máximo de 7, lo que se ha manifestado con un mayor nivel de satisfacción y un menor nivel de vandalismo, rayados y grafitis, aspectos que comúnmente podríamos asociar a un rechazo por parte de los usuarios del sistema.

Asimismo, se ha impulsado el cambio en la infraestructura vial tendente a sostener la nueva demanda, dado que en el mes de Octubre de 2019, se dio a conocer<sup>116</sup> que el Consejo Municipal de Pedro Aguirre Cerda (Santiago) aprobó la concesión del proyecto de terminal de autobuses denominado “Parque Intermodal Metropolitano”, promete ser el terminal más grande y moderno de Sudamérica. El terminal tiene como objetivo el traslado de la actual terminal de autobuses de Santiago, ubicada en el centro de la ciudad y que funcionará de manera soterrada, neutralizando todo efecto en superficie como contaminación visual, aplicando ingeniería sostenible, como sería el caso de la movilidad eléctrica.



**Imagen 48:** Interior de autobús eléctrico BYD en servicio en la ciudad de Santiago desde el 2019; fuente, [www.lun.com](http://www.lun.com)

<sup>116</sup> <https://www.radioagricultura.cl/nacional/2019/10/03/detalles-ineditos-del-nuevo-megaterminal-de-buses-que-tendra-sudamerica-en-pedro-aguirre-cerda.html>

Junto con lo señalado en los párrafos anteriores y dado que se encuentra en preparación una licitación pública, cuyo objeto es de proveer un 30% de autobuses eléctricos al sistema de transporte público para la ciudad de Santiago de Chile (RED), diferentes fabricantes han facilitado medios de transporte para que sean testeados y evaluados, con el propósito de que sean conocidos y la opinión pública genere debate sobre ellos, manifestando sus preferencias, circulando en los diferentes recorridos previstos para el Gran Santiago y con diferentes niveles de requerimientos, principalmente en relación con su ergonomía. Para que el lector se forme una idea de los medios de transporte eléctrico urbano en uso en Chile, los autobuses, fabricantes y modelos se exponen en las imágenes siguientes.



**Imagen 49:** Autobús ALSTOM, modelo APTIS, con capacidad de 103 pasajeros y 120 km de autonomía; fuente, RED.



**Imagen 50:** Autobús de la marca King Long, capacidad de 86 pasajeros y 250 km de autonomía; fuente, RED.



**Imagen 51:** Autobús de la marca BYD, modelo articulado, con capacidad de 104 pasajeros y autonomía de 250 km; fuente, RED.

Además de lo indicado, de manera experimental y para la evaluación y eventual implementación masiva y, a través de un proyecto financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), TRANSDEV (Empresa de desarrollos tecnológicos en materia de transporte) y la Universidad de

Chile, se encuentra en implementación un minibús autónomo (sin conductor) 100% eléctrico y con capacidad para transportar a 12 personas. Este VE se encuentra asignado a un circuito interior de un importante parque metropolitano<sup>117</sup>, a modo de piloto y, cuya operación, permitirá analizar su tecnología y potenciales usos a nivel nacional.



**Imagen 52:** Minibús eléctrico autónomo, en fase de implementación y pruebas en un parque de la ciudad de Santiago de Chile (2020); fuente, [www.publimetro.cl](http://www.publimetro.cl)

- b. Iniciativas municipales:** Diversas municipalidades del área metropolitana (Gran Santiago) o de ciudades pertenecientes a otras regiones del país, han hecho su aporte a la movilidad eléctrica, principalmente por motivaciones medioambientales asociadas a la reducción del CO<sub>2</sub>. Estos aportes se basan principalmente en el desarrollo de funciones de transporte gratuito para ciudadanos de la tercera edad y actividades de fiscalización y control, mediante Guardias Municipales.

Las iniciativas indicadas en el párrafo anterior son muy recientes, de hecho, la primera de ellas se inicia con la Municipalidad de Vitacura (Santiago) en marzo de 2018, le siguió la Municipalidad de Las Condes

<sup>117</sup> <https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2019/12/30/no-chofer-100-electrico-primero-latinoamerica-minibus-debuta-chile.html>

(Santiago), con transporte público vecinal y Antofagasta (Zona norte de Chile), también con un proyecto de transporte público.



**Imagen 53:** Autobús eléctrico YUTOG, utilizado a partir del año 2019 para el transporte vecinal gratuito en la comuna de Las Condes (Santiago); fuente, Roberts C., (2020).



**Imagen 54:** Autobús eléctrico de la marca BYD, operado por ENEL X y entregado en comodato a la ciudad de Antofagasta (zona norte de Chile), para recorridos gratuitos de adultos mayores; fuente, Roberts C., (2020).

En este sentido, pero con un uso diferente al del transporte público, la

Municipalidad de Independencia (Comuna del Gran Santiago) incorpora<sup>118</sup> a su flota de vehículos de seguridad municipal y vigilancia, 13 automóviles eléctricos *Nissan Leaf*, en el contexto del plan del municipio para reducir en un 30% las emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2030. La inversión no se limita solamente en la adquisición de los VEs, sino que también en 13 sistemas de carga, incluyendo 3 de recarga rápida y 3 de recarga media, posibilitando contar con una alta disponibilidad de sus medios de vigilancia municipal; *“Independencia ha tomado la decisión de tomar acciones activas en contra de cambio climático. Los gobiernos locales tenemos mucho que contribuir en materia de sustentabilidad, y eficiencia energética, y un paso muy importante que hemos iniciado es la adquisición de estos 13 vehículos eléctricos, lo que permite fortalecer nuestra flota de vehículos municipales, para labores de fiscalización y seguridad. Esto lo hacemos retirando de circulación vehículos a combustibles fósiles, lo que significa reducir la contaminación y los gases de efecto invernadero, y hacer una importante contribución al rol que nos cabe en materia de cambio climático”*, señaló el alcalde de de la comuna de Independencia, Sr. Gonzalo Durán.



**Imagen 55:** Flota de vehículos eléctricos Nissan Leaf, adquiridos por la Municipalidad de Independencia (Santiago), destinados a la *“Seguridad ciudadana”* (Guardias Municipales) a través de labores de fiscalización y control; fuente, La Tercera.

<sup>118</sup> <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/independencia-autos-100-electricos/843923/>



Conviene señalar también que en la zona sur-austral de Chile, la ciudad de Coyhaique implementó<sup>119</sup> en el año 2019 un plan piloto de “*Movilidad eléctrica*”, con la incorporación de dos taxis Hyundai Ioniq VE para el transporte público. Tras un año de funcionamiento, arrojaron sus primeros resultados, recorriendo en promedio 160 km al día, con un rendimiento de alrededor de 0,02 USD/km (0,017 €/km), versus un vehículo de combustión interna, cuyo coste es seis veces más caro, considerando que Coyhaique es una de las ciudades con los precios más altos<sup>120</sup> de los combustibles en Chile.



**Imagen 56:** Taxis Hyundai Ioniq, VEs utilizados en el “*Plan piloto de movilidad eléctrica*” en la ciudad de Coyhaique; fuente, [www.cooperativa.cl](http://www.cooperativa.cl)

Estos resultados demuestran la conveniencia económica de esta tecnología a tener en cuenta, que en el caso particular de Coyhaique, y dadas sus condiciones climáticas, en invierno la autonomía de dichos medios se

<sup>119</sup> <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-aysen/auspiciosos-resultados-arrojo-plan-piloto-de-electromovilidad-en-coyhaique/2020-01-12/165742.html>

<sup>120</sup> <http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=7>

reduzca de 200 a 165 km aproximadamente, ya que utilizan los sistemas de climatización. No obstante, las autoridades locales, los conductores y los usuarios manifiestan un alto grado de interés y aceptación de los VEs, por lo que para un futuro cercano, las autoridades del Ministerio de Transporte estudian la incorporación de nuevos medios eléctricos en esa zona.

Por otra parte, desde una perspectiva industrial, la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), empresa estatal chilena dedicada a la explotación minera cuprífera, rubro en el que es la mayor compañía del planeta, ha presentado recientemente<sup>121</sup> una iniciativa con una perspectiva medioambiental, consistente en la implementación en fase de prueba, de un vehículo eléctrico para el transporte de personas.



**Imagen 57:** Camioneta Toyota Land Cruiser eléctrica, originalmente con motor de combustión interna, modificada en Alemania y actualmente en uso por parte de la cuprífera CODELCO, para el transporte de personas; fuente: [www.lun.com](http://www.lun.com)

CODELCO adopta el uso del VE mostrado en la imagen anterior, en

<sup>121</sup> <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2020-10-20&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=30&r=w>

función del desafío de implementar equipos eléctricos en operaciones mineras, para lo cual usa desde el 2020 una camioneta (pick-up) Toyota Land Cruiser, reconvertida en Alemania a Vehículo Eléctrico, originalmente con motor de combustión interna a gasóleo y ahora con motorización eléctrica que le otorga una autonomía aproximada de 150 km.

- c. Transporte privado (vehículos personales):** En el plano de los VEs para uso personal, ya sean híbridos o 100% eléctricos, Chile no es un referente. Incluso, teniendo presente que los costes del combustible son de los más altos de Sudamérica debido a que no es productor de petróleo; esto no ha generado impacto en la demanda de VEs, dado que no existen beneficios tributarios por la adquisición de éstos. Debido a que no se producen en Chile, sus precios son comparativamente altos respecto de un SCI, los cuales son asequibles y con una variada gama (ANAC, Anuario Automotriz, 2018). En este plano y a modo de ejemplo, Santiago tiene solamente 250 vehículos eléctricos (incluyendo los de transporte público) y 2 millones de automóviles dotados de motores de combustión interna<sup>122</sup>.

Por otra parte y al igual que los vehículos eléctricos de tipo automóvil, Chile ha incursionado en el uso de motocicletas y *Scooters* eléctricos para alquiler en Santiago. Las primeras iniciativas se corresponden con 25 vehículos de la empresa Awto, la cual se especializa en el alquiler de automóviles y medios de transporte, en alianza con la Municipalidad de Ñuñoa<sup>123</sup>. Estas motocicletas cuentan con baterías de Litio, de la marca NIU, una de las más populares en el mercado asiático, siendo requisito

---

<sup>122</sup> <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/santiago-tiene-solo-250-autos-electricos/781498/>

<sup>123</sup> <https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2019/08/28/crece-parque-arriendo-vehiculos-santiago-lanzan-la-primer-flota-motos-electricas.html>

para alquilarlas, el descargar la aplicación *Awto* y contar con la licencia respectiva para su conducción.



**Imagen 58:** Fotografía del lanzamiento promocional de la alianza entre la Municipalidad de Ñuñoa (Santiago de Chile) y AWTO, para el arrendamiento de motocicletas eléctricas; fuente, [www.publimetro.cl](http://www.publimetro.cl)

Por otro lado, en materia de recreo y de transporte personal para cortos trayectos, existen disponibles patinetas eléctricas (*Scooters*) en régimen de alquiler. La Municipalidad de Las Condes<sup>124</sup> ha sido pionera, ya que autorizó la incorporación en la vía pública de este tipo de transporte, tanto del proveedor Scoot como de LimeS. Este tipo de medio cuenta con una autonomía aproximada de 30 km, con una velocidad máxima de 25km/h, gozando de una gran popularidad entre personas menores de 35 años, aunque es importante indicar que han sufrido problemas de vandalismo y robo, ya que su uso y disposición final es en la vía pública, sin una custodia permanente. Su uso se restringe a descargar una aplicación desde *App Store* o *Google Play* y registrar la tarjeta de crédito, lo que permite desbloquear los *Scooters* cada vez que se quieran usar, utilizarlos y después estacionarlos en cualquier lugar público dentro del sector, para que otra persona pueda usarlo.

<sup>124</sup> <https://www.lascondes.cl/noticias/las-condes-al-dia/detalle/248/municipio-lanza-plan-piloto-de-scooters-electricos>



**Imagen 59:** Patinetas eléctricas (*scooters*) para alquiler, en la comuna de Las Condes y La Reina, Santiago, pertenecientes a los proveedores de servicio Scoot y LimeS; fuentes, Firewyer y Press Latam respectivamente.

Conviene señalar también que dado el aumento de las ciclovías en las grandes ciudades chilenas, a través de la promulgación de la “*Ley de Convivencia vial*” (Gobierno de Chile, Ley 21088, 2018), marco regulatorio que modifica la Ley del Tránsito y que indica la convivencia de diferentes modos de transporte en las vías públicas y mediante la cual se aumentará la infraestructura, desde los actuales 443 km de ciclovías en un total de 900 km para el 2026, lo que ha propiciado un notorio uso y masificación de bicicletas, incluyendo aquellas que se desplazan con motores eléctricos, como la de la figura siguiente, cuyo implementación va en aumento, limitada únicamente por su alto precio, ya que en lo que dice relación con su recarga, ésta es factible de realizarla en una toma de energía domiciliaria.



**Imagen 60:** Bicicleta eléctrica Völmärk, con autonomía de 25 km con sus baterías de iones de Litio, o de 60 km en ciclo combinado, a través del uso de los pedales, fuente, Gómez J., (2020).

- d. Transporte de carga y vehículos comerciales:** En materia de transporte de carga y vehículos comerciales, los VEs penetran progresivamente en el comercio. Actualmente en Europa se comercializan furgonetas eléctricas como la Mercedes Benz EQV, y que fue recientemente presentada en el Salón del Automóvil de Frankfurt.



**Imagen 61:** Furgoneta eléctrica Mercedes Benz, modelo eVito, cuenta con una autonomía de 150 km y un precio base de 42.900 €, erogando 204CV de potencia; fuente, Mercedes Benz.

También el mismo fabricante cuenta con el modelo *eSprinter* y el *eVito*,

vehículos de la gama convencional, con múltiples configuraciones, siendo el último de ellos, el correspondiente a una furgoneta 100% eléctrica que ofrece 150 km de autonomía.

Por otra parte, China<sup>125</sup> acaba de lanzar en el año 2019 con destino al mercado europeo, vehículos eléctricos utilitarios tipo pickup para uso urbano, dadas sus reducidas dimensiones (3,23 mt de largo; 1,31 de ancho y 1,46 de alto) que lo califican como un vehículo de reducidas dimensiones. Tiene un coste en China de 2.400€, previéndose que el precio en Europa y Estados Unidos rondará los 7.500€



**Imagen 62:** Vehículos eléctricos de carga menor Kaiyun Pickman; fuente, Kaiyun Motors.

Este VE (Kaiyun Pickman) cuenta con baterías de ácido-plomo, que le entregan una autonomía de 120 km, con una velocidad máxima de 45 km/h, pudiendo llevar una carga máxima de 500 kg incluyendo al conductor y al pasajero. Para el caso de su uso en China, además del bajo

<sup>125</sup> <http://www.kaiyunmotors.com/index.php?lang=en>

precio y la posibilidad de recarga mediante paneles solares fotovoltaicos, han sido objeto de un gran interés, dado que no se requiere licencia de conducir, toda vez que la legislación China no la contempla para vehículos que desarrollen velocidades inferiores a 60 km/h.

Todos estos modelos de características comerciales no están disponibles en el mercado chileno, así como tampoco se dispone de otras marcas, presumiblemente porque el mercado se encuentra con un amplio stock de furgonetas, camiones pesados y livianos dotados de motores de combustión interna en diferentes configuraciones y capacidades, lo que por lo al día de hoy se satisface la demanda.



**Imagen 63:** Vehículos eléctricos de reparto, muy comunes en Chile, mayoritariamente de origen chino, su uso es masivo, ya que la legislación del tránsito no exige contar con permisos de circulación o seguros contra accidentes; fuente, Roberts C., (2020).

Ahora bien, existe un segmento de los vehículos de carga que ha sido cubierto ampliamente por medios de transporte eléctrico, como lo son las motocicletas de reparto y triciclos motorizados, elementos de tecnología



muy básica y de frágil construcción, pero que por sus precios y amplia disponibilidad han sido de un gran interés por parte de los usuarios, considerando también que algunos de ellos no requieren permisos de circulación.

Por otra parte, en materia de vehículos de carga pesada, las limitaciones relativas a las distancias a cubrir son las que mayormente coartan el desarrollo de camiones con motorización eléctrica. No obstante y a pesar de esta restricción, se han desarrollado estudios (Valenta M., 2013) que demuestran la conveniencia de su uso, al menos para camiones de reparto urbano, indicando que *“Los vehículos eléctricos proporcionan costes de combustible más bajos y estables, no producen ruido ni emisiones de carbono y necesitan de reducido mantenimiento. Los VEs presentan menos estrés y fatiga para los conductores, ya que no tienen que hacer cambios de marcha o movimientos de embrague y, por otra parte, no presentar molestos ruidos”*.

Estas consideraciones son importantes pero no suficientes, hasta que se logre contar con VEs de carga pesada, que puedan generar viajes entre ciudades sin tener que repostar sus baterías, o que cuenten con sistemas híbridos.

- e. **Las Fuerzas Armadas Chilenas y los VEs:** Actualmente, el sistema de energía eléctrica en muchos vehículos militares dotados de SCIs es relativamente pequeño, principalmente destinado a las necesidades del vehículo y al uso de equipos de comunicaciones, existiendo interés en avanzar hacia la transmisión eléctrica, para no depender de los combustibles derivados del petróleo.

Por ello y dadas las consideraciones anteriores, en este momento las Fuerzas Armadas Chilenas no cuentan con vehículos eléctricos destinados al transporte de tropas (existiendo algunas iniciativas a nivel de experimentación<sup>126</sup> y participación en carreras de vehículos solares<sup>127</sup>) principalmente debido a los altos costes de los posibles vehículos que cumplen con las características requeridas, que se resumen en los puntos que a continuación se indican.

- Capacidad de transporte bajo condiciones geográficas y climáticas difíciles y todo terreno.
- Confiabilidad.
- Autonomía.
- Fácil operación, mantenimiento y reparación.
- Capacidad de carga.



**Imagen 64:** VEs experimentales con recarga mediante paneles solares fotovoltaicos, fabricados por alumnos de la Academia Politécnica Militar del Ejército<sup>128</sup> (ACAPOMIL), los cuales participaron en carreras de vehículos solares; fuente, Roberts C., (2019).

La modificación de un vehículo dotado de un motor de un SCI por uno de

<sup>126</sup> <https://ecolyma.cl/blog09/wp-content/uploads/2012/10/Equipos-carrera-solar-atacama-2012.pdf>

<sup>127</sup> <https://www.slideshare.net/LaRutaSolar/revista-carrera-solar-atacama-2016>

<sup>128</sup> [www.acapomil.cl](http://www.acapomil.cl)

características eléctricas, brinda una opción viable para extender la vida útil de estos vehículos y, asimismo, atenuar los efectos negativos de la contaminación que éstos producen. Desde ese punto de vista, el presente estudio compara las emisiones de un vehículo SCI arquetipo, con la modelación de un prototipo equivalente convertido en un VE. Asimismo se analizan las siguientes opciones: emisiones de CO<sub>2</sub> al cargar éste mediante la red eléctrica general o mediante un sistema de recarga alternativo, a través de paneles solares fotovoltaicos (estación de recarga solar), aprovechando los altos niveles de radiación solar en Chile. Se verificará además la conveniencia del uso de baterías de iones de Litio, como reserva de energía para el vehículo, en lugar del uso de las baterías de ácido-plomo, que son las de uso regular en los vehículos de combustión interna actuales.

## **2.5. Almacenamiento de la energía en los VEs y los sistemas de recarga.**

La energía eléctrica no se puede almacenar como tal; en realidad es necesario transformarla en otros tipos, como la energía mecánica o la química para que sea viable el almacenamiento. Para ello, el sistema utilizado son las baterías, las cuales son capaces de almacenar electricidad en forma de energía química. De manera genérica consisten en dos electrodos capaces de intercambiar cargas eléctricas positivas y negativas a través de una interfase, que se suele llamar electrolito, si se conectan los dos electrodos con un cable se produce una corriente eléctrica.

Los electrodos son diversos compuestos químicos (por ejemplo; níquel y hierro), produciendo energía eléctrica mientras se descargan y por otra parte, se cargan al ser alimentados de electricidad. Las baterías tienen una potencia limitada y se pierde mucha energía en el proceso de conversión de energía eléctrica a energía química, no obstante, son imprescindibles para proporcionar electricidad a los aparatos y

dispositivos portátiles, con una gama de tensiones bajas.

En la red eléctrica general, las plantas eléctricas (Vokosavic S., 2017) producen la energía, mientras que los diferentes consumidores convierten una porción de ella en energía mecánica, lumínica, calórica y un largo etcétera, requerido por procesos de producción, transporte, iluminación y otras aplicaciones industriales, residenciales, domésticas y de ocio entre otras y, en paralelo *“Gracias a la conversión electromecánica, la energía se transporta y se entrega a los consumidores remotos mediante conductores eléctricos. La transmisión eléctrica es muy confiable, no está acompañada por emisiones de gases u otras sustancias nocivas, y se lleva a cabo con bajas pérdidas de energía”*.

Considerando la capacidad de la red eléctrica general *“Es evidente por las actividades diarias que la demanda de electricidad no es constante, estando sujeta a fluctuaciones diurnas, semanales y estacionales”* (Michaelides E., 2012); usualmente el consumo durante el día es mayor que por las noches, lográndose determinar que en países de la OCDE, la demanda de energía eléctrica por hora durante invierno y verano, tanto en días laborables como en los fines de semana y festivos, muestran las particularidades que se indican a continuación.

- En un día laboral, tanto en invierno como en verano, el pico diario de la demanda de energía es aproximadamente el doble de la demanda mínima.
- Durante el verano, la demanda máxima en un día laboral, es aproximadamente tres veces más que la demanda mínima los días no hábiles.
- En un día determinado, la demanda de energía en verano es más de un 60% superior a la demanda de invierno en un día similar.
- Durante las primeras horas de la mañana, la demanda de energía eléctrica puede

ser casi el doble dentro de un período de tres horas (6:00–9:00 am). Del mismo modo, al final de la tarde la demanda de energía eléctrica cae casi un 50% en un período de 4 a 6 horas.

En la actualidad, desde la perspectiva del uso de los VEs, la autonomía es el mayor problema, que se relaciona directamente con el sistema de almacenamiento de energía, para el cual existe una amplia variedad de dispositivos y configuraciones, ya sea a través de baterías de ácido-plomo e iones de Litio entre otros. No obstante, el almacenamiento de energía presenta costes importantes (Olmedo J., 2016) por lo que será de relevancia la investigación asociada a la búsqueda de un sistema que equilibre el precio con el desempeño.

En atención a lo indicado en los párrafos precedentes, es necesario tener en cuenta que los sistemas de almacenamiento de energía requieren de un suministro eléctrico eficaz y eficiente, que posibilite su recarga, aumentando con ello la autonomía y distancias que pueden cubrir los VEs. Para ello, el sistema más común es la red eléctrica general, ya sea domiciliaria o de manera específica, como sería el caso de las electrolíneas, pero dado que el uso y lugar de empleo de los medios militares se realiza usualmente fuera de carretera, se necesitan de medios desplegados en el terreno, con capacidad móvil o que puedan suministrar baterías de recambio.

### **2.5.1. Baterías eléctricas.**

Una batería es un convertidor electroquímico reversible, que provee energía eléctrica a través de una reacción química, la cual es creada mediante el almacenamiento de electricidad; donde la potencia eléctrica es  $V \cdot A$  (Watt<sup>129</sup>), siendo las funciones de una batería en un vehículo motorizado (SCI), las que a continuación se indican.

---

<sup>129</sup> Watt (W), unidad métrica utilizada para la tasa de generación o consumo de energía (potencia) 1.000 watts = 1 kilowatt (kW); 746 watts = un hp (horse power).

- Suministro de energía eléctrica al arranque y al sistema de encendido.
  - Suministro de energía eléctrica a los accesorios, tales como radio y luces cuando el motor no está en marcha.
  - Proporcionar energía eléctrica adicional a los accesorios, mientras el motor está en marcha o cuando el rendimiento del alternador se excede con el consumo de corriente.
  - Actuar como un estabilizador de voltaje en el sistema eléctrico, para asegurar el buen funcionamiento de los componentes electrónicos.
- a. Tipos de baterías eléctricas:** Las baterías generalmente contienen varias celdas electrolíticas, cada una de las cuales tiene 3 componentes principales, llamados ánodo, cátodo y electrolito. El ánodo (electrodo de combustible) suele ser un metal, como el zinc, el Litio, el aluminio o el cadmio, o un gas como el hidrógeno; el cátodo (electrodo oxidante) suele ser una fuente de oxígeno y el electrolito es un ácido, siendo las reacciones electroquímicas entre el electrolito y los dos electrodos, lo que produce el voltaje de salida de la batería.

Hay cuatro tipos de baterías: primaria, secundaria, celdas de combustible y súper condensadores, como se detallan.

- 1) **Primarias:** Son baterías no recargables, que se desechan después de agotar su carga. Se utilizan principalmente para equipos pequeños.
- 2) **Secundarias:** Son baterías recargables, soportan muchos ciclos de recarga, sus aplicaciones son para arranque de motor, potencia de emergencia y propulsión de vehículos.

- 3) **Celdas de combustible:** Son un tipo de batería en el que se mantiene un suministro estable de combustible y oxidante, lo que le permite producir energía continua.
- 4) **Súper capacitores:** Es un tipo de condensador que puede almacenar grandes cantidades de energía, que puede descargarse rápidamente para entregar flujos de alta potencia, sin afectar el número de ciclos de recarga y descarga.

**b. Especificaciones de las baterías eléctricas:** La capacidad específica (C) de una batería, es la cantidad de carga eléctrica en amperes-hora (Ah), que puede entregar antes de que la tensión de salida caiga a una tensión final insatisfactoria (1 Ah es la carga entregada por una corriente de 1A que fluye durante 3.600 segundos, es decir, 1 Ah = 3.600 Coulomb).

La capacidad especificada se calcula para un tiempo de descarga determinado, generalmente de 20 horas, 5 horas o 1 hora, según el tipo de aplicación para el que se diseñó la batería. La energía de salida de una batería se expresa generalmente en watts/hora y se proporciona en amperios-hora y en voltaje promedio durante la descarga.

**c. Baterías recargables:** La tabla siguiente resume algunas de las características y aplicaciones típicas de las baterías recargables comerciales más comunes.

Tipo	Voltaje de la celda	Temperatura de operación °C	% de pérdida de capacidad por mes, a 20°C	Aplicaciones
Ácido-Plomo (automotriz)	2	-40 a 55	3 (bajo mantenimiento)	Vehículos motorizados
Ácido-Plomo (ciclo profundo)	2	-20 a 40	5	Vehículos motorizados, iluminación

Tipo	Voltaje de la celda	Temperatura de operación °C	% de pérdida de capacidad por mes, a 20°C	Aplicaciones
Ni-Cd (ventiladas)	1,2	-40 a 50	10	Aeronaves, iluminación, equipos de comunicaciones
Ni-MH <sup>130</sup>	1,2	-20 a 50	20	Vehículos eléctricos
Iones de Litio	4	-20 a 55	7	Vehículos eléctricos

**Tabla 23:** Baterías recargables y sus aplicaciones; fuente, [www2.elo.utfsm.cl](http://www2.elo.utfsm.cl)

- d. Tensión y carga:** Una batería de ácido-plomo funciona a una tensión nominal de 12,6V a 12,8V; para recargar la batería se requiere una diferencia de potencial de al menos 1V, por lo que los sistemas eléctricos del vehículo funcionan entre 13,5V y 14,5V. Las baterías de iones de Litio funcionan a un valor nominal de 14,4V, entonces la tensión de recarga del vehículo es insuficiente; Por este motivo, las baterías de iones de Litio están equipadas con sistemas transformadores que elevan el voltaje suministrado por el vehículo para recargar la batería correctamente.
- e. Potencia de una batería:** La potencia del sistema de almacenaje de energía se expresa como el número de amperios que se puede entregar durante un período de tiempo, antes de que se descargue el sistema (amperios-hora). Los “Amperios-hora” miden la cantidad total de energía que el sistema de baterías puede suministrar después de un ciclo de 20 horas, a una tasa constante de descarga, antes de que la batería alcance 10,5V. Otra medida del rendimiento son los “*minutos de reserva*”, que es el tiempo en minutos que un sistema de baterías puede funcionar con un consumo de 25A hasta que alcanza los 10,5V. Esta medida se calcula mediante la carga combinada de las luces y otros accesorios de un

<sup>130</sup> La batería de hidruro de níquel-metal es recargable, utiliza un ánodo de hidróxido de níquel como en la batería de níquel-cadmio, pero cuyo cátodo está hecho de una aleación de hidruro metálico.



vehículo, que normalmente es de 25A.

Dado que el presente estudio busca operar un motor eléctrico que propulse un vehículo al menos por 150 km, se requiere de un sistema de almacenamiento de energía de máximo rendimiento, ahorrando energía como sea posible.

- f. **Sistemas de conexión a la red eléctrica:** Sin duda, la conexión al sistema eléctrico para la recarga de las baterías es fundamental, toda vez que el vehículo debe ser compatible con la toma de energía disponible, dado que existen diferentes modelos, como, por ejemplo, en Europa está el estándar recomendado de conector tipo 2 para la recarga normal y el CCS para la recarga requerido rápida.



**Imagen 65:** Conector de tipo 2 (Mennekes); fuente, [www.lugenergy.com](http://www.lugenergy.com)

Resulta necesario señalar que el mercado cuenta con una amplia variedad de sistemas de conexión, entre los que destacan los siguientes.

- Conector doméstico *schuko*. Conector domiciliario de tipo corriente, utilizado en Chile y España para los electrodomésticos. Soporta hasta 16A y puede realizar cargas lentas de hasta 10A con reducida potencia, pero una amplia disponibilidad de lugares de recarga, sin que sea necesario una instalación eléctrica dedicada para estos fines

de manera exclusiva.

- Conector **SAE J1772 (tipo 1)**: También conocido como *Yazaki*. Está pensado para vehículos eléctricos con estándares norteamericanos.
- Conector **IEC62196 (tipo2)**: Conocido como “*Mennekes*”. Corresponde a uno de sus fabricantes, es muy común en los puntos de recarga en España. Posibilita realizar cargas lentas de hasta 16A y también cargas rápidas de 43,8kW.
- Conector **combinado** o **CCS**: Estandarización alemana y norteamericana, que permite recarga rápida. Disponible en electrolinerías europeas.
- Conector **Scame (tipo 3)**: Utilizado por los fabricantes franceses de vehículos eléctricos, entrega hasta 31A y permite una recarga semi-rápida.
- Conector **CHAdeMO**: Correspondiente al estándar japonés de recarga rápida, incorporado en vehículos de la marca Nissan. Se utiliza para hacer recargas rápidas en corriente continua, entregando hasta 200A para cargas ultra-rápidas.



SAE 1772



Mennekes



CCS-Combo 1



CCS-Combo 2

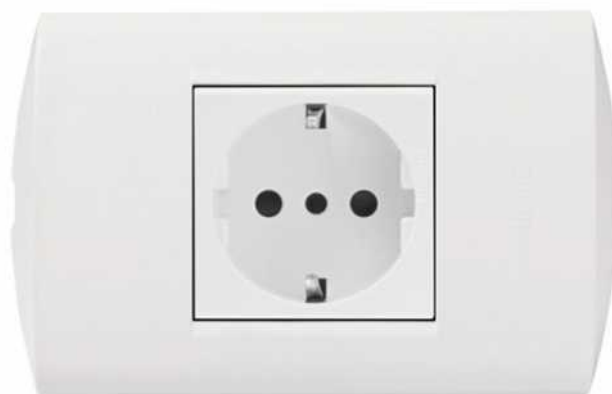


GB/T

**Imagen 66:** Conexiones disponibles en el mercado para la recarga de vehículos eléctricos; fuente, [www.xanaka.com](http://www.xanaka.com)

**g. Recarga de las baterías:** Considerando que el tiempo de recarga de las baterías de los VEs varía en función de la capacidad del sistema de almacenamiento, junto a la disponibilidad del suministro eléctrico, estos tiempos de recarga se dividen en los tipos que se detallan a continuación.

- Recarga profunda o lenta. Correspondiente a la recarga estándar de los VEs comerciales, la cual mayormente se realiza mediante la red eléctrica domiciliaria (corriente alterna monofásica). Se requiere la conexión a una toma de corriente común (CEE7 o *Schuko*), con 220V-240V, 15A, generando recargas completas entre 7 a 10 horas.



**Imagen 67:** Conector hembra CEE7 o Schuko; fuente, [www.nedis.es](http://www.nedis.es)

- Recarga intermedia: Correspondiente a recarga disponible en la vía pública, como aparcamientos y centros comerciales, utilizando corriente trifásica (380V–28A) lo que puede generar recargas completas entre 3 a 5 horas.
- Recarga semi-rápida: Se realiza con una potencia desde los 11kW hasta los 22kW. Lo que puede generar recargas completas en aproximadamente una hora.
- Recarga rápida: Correspondiente a la que utilizan estaciones de

servicio y electrolineras<sup>131</sup> (de 15 minutos al 50% de carga y 30 minutos al 80% de carga), utilizando corriente continua (625V–80A).

- Recarga ultra-rápida: Modalidad excepcional y exclusiva de los supercargadores de Tesla y los de la red *Ionity*<sup>132</sup>. Entregan una potencia superior a los 150kW, debiendo el vehículo y su sistema de recarga estar especialmente acondicionado para ello. En particular, y para el caso de la red IONITY cuenta con una “*tarifa plana*” de recarga de 30 minutos por 8 € a una velocidad de recarga muy alta (Hasta 350 kW). En el año 2020 contempló<sup>133</sup> un nuevo esquema con los costes que se indican en la tabla siguiente, donde se comparó el precio de 1 kW, equivale a medio litro de gasolina (precios de España), resultando el siguiente cuadro de precios.

País	Precio del kW/h
Zona EURO (España, Portugal, Alemania, Austria, Italia, Francia, Bélgica, Países Bajos, Irlanda, Finlandia, Lituania, Letonia, Estonia, Eslovaquia y Eslovenia)	0,79 €
Reino Unido	GBP 0,69
Suiza	CHF 0,79
Polonia	PLN 3,50
Dinamarca	DKK 6,20
Noruega	NOK 8,40
Suecia	SEK 8,70
República Checa	CZK 21,00
Hungría	HUF 280,00

**Tabla 24:** Cuadro de precios de recarga de vehículos eléctricos en Europa para el año 2020; fuente, IONITY.

<sup>131</sup> <https://ww2.copec.cl/voltex>

<sup>132</sup> <https://ionity.eu/>

<sup>133</sup> [https://ionity.eu/\\_Resources/Persistent/a7c7cece094e15da7bfc2864a74e62b51c8d829a/\\_20200116\\_IONITY\\_PRICIN\\_G\\_EN\\_pdf](https://ionity.eu/_Resources/Persistent/a7c7cece094e15da7bfc2864a74e62b51c8d829a/_20200116_IONITY_PRICIN_G_EN_pdf)



**Imagen 68:** Electrolinera Ionity; fuente, Ionity.

Todos los sistemas de recarga de VEs señalados precedentemente, requieren de un cable que conecte el surtidor con el vehículo eléctrico. Fabricantes alemanes como BMW o Mercedes Benz realizan estudios que tienen como objetivo la recarga de vehículos eléctricos por inducción, lo que sin duda originará beneficios a los usuarios, en reducción de tiempos y eliminación de accesorios que se deben portar en el momento de la recarga.



**Imagen 69:** Sistema de recarga experimental mediante inducción; fuente, BMW Blog.

Podemos concluir que Europa es un referente en materia de infraestructura para la movilidad eléctrica y se refleja por el desarrollo y

la ingeniería aplicada por parte de los fabricantes, las regulaciones gubernamentales y el interés por parte de los usuarios. La Federación de Transporte y medioambiente europeo manifiesta que *“Después de años de lento progreso, los vehículos eléctricos finalmente están llegando a Europa. Impulsado por los estándares exigidos para 2020/21 en materia de emisiones de CO<sub>2</sub>: de manera que los fabricantes de automóviles alcancen un promedio de 5% de participación en las ventas de VEs en 2020 y hasta 10% en 2021....estimándose que la producción europea de vehículos eléctricos crecerá significativamente hasta llegar a cuatro millones de vehículos anualmente para 2025”*.

Actualmente la UE dispone de alrededor de 185.000 puntos de recarga eléctrica de carácter público, lo que se convierte en 7 vehículos eléctricos por punto de recarga, considerado suficiente para el escenario actual. No obstante, los nuevos desafíos medioambientales y el impulso de la movilidad eléctrica exigirá contar con una infraestructura vial y de sostenimiento apropiada y suficiente, en la que no solo se requieren puntos de recarga, sino que los sistemas de distribución de energía eléctrica deben ser capaces de soportar la sobretensión, teniendo en cuenta una estimación de entre 33 y 44 millones de VEs para el año 2030, bajo escenarios conservadores y optimistas. Esto implica que los objetivos de implementación de puntos de recarga pública de la UE para el quinquenio 2025-2030, deberían ser 1,3 millones en 2025 y cerca de 3 millones en 2030 (European Federation for Transport and Environment AISBL, 2020).

- h. Vida útil:** La vida útil de un sistema de baterías se mide por la cantidad de ciclos que puede soportar y que se corresponde con el número de veces

que se puede descargar y cargar nuevamente. Cada ciclo de recarga y descarga representa la pérdida de vida útil del sistema de baterías; cuando la batería es capaz de recibir solamente la mitad de su recarga o de entregar solamente algunos minutos de energía eléctrica, es en este punto que la batería ha dejado de ser útil, debiendo ser reemplazada.

Más allá de la vida útil de los ciclos de carga, las baterías de iones de Litio sufren problemas de sulfatación, que suelen producirse después de 3 años de uso, junto a que su capacidad se reduce considerablemente, aunque se mantengan a plena carga. Las baterías de ácido-plomo no son inmunes a la sulfatación, pero si se mantienen cargadas resisten por más tiempo.



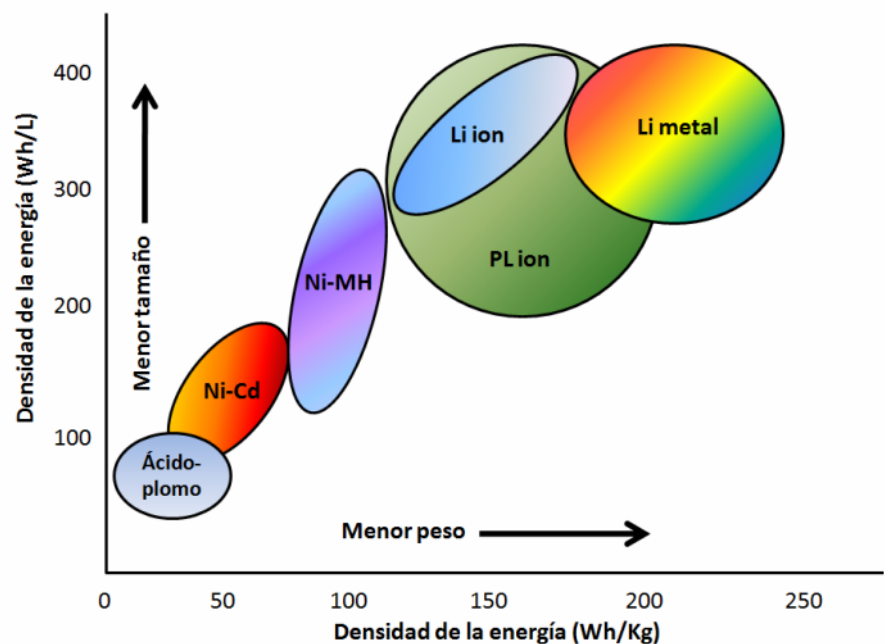
**Imagen 70:** Terminal positivo “Sulfatado” de una batería de ácido-plomo; fuente, Roberts C., (2018).

Uno de los factores que afectan a las baterías de ácido-plomo es la inactividad, cuando un vehículo no se opera, la batería se descarga progresivamente, lo que no ocurre con las baterías de iones de Litio, ya que es muy estable cuando no se usan, manteniendo su capacidad. Su punto débil es la vida útil medida en ciclos de recarga, del orden de

1500/2000 ciclos. Teniendo en cuenta que el sistema de recarga del vehículo alimenta constantemente la batería, cada vez que arrancamos/paramos el motor consumimos un ciclo de carga útil. Esto sucede cuando usamos este tipo de baterías en un SCI, pero, dado que el presente estudio está buscando la transformación a un VE, no se verá afectado por este factor, sino que sucederá únicamente cuando se descargue completamente la batería.

Tecnología	Vida útil estimada
Baterías de ácido-plomo	4 años.
Baterías de iones de Litio	1500 a 2000 ciclos de carga, equivalente a 3 años.
Batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> )	4000 a 5000 ciclos de carga, equivalente a 6 años.

**Tabla 25:** Vida útil estimada de las baterías; fuente, Bais N.K., (2018).



**Gráfico 21:** Diagrama de energía para diferentes tipos de baterías, según componentes, tamaño y peso; fuente, Bais N.K., (2018).

El gráfico anterior ilustra la densidad de la energía de diferentes tipos de baterías, de acuerdo con sus componentes, su tamaño y peso (Bais N.K.,



2018), lo que permite tener un panorama de las características de éstas. En este contexto, al analizar la gráfica podemos evidenciar que las baterías de ácido-plomo son las que tienen menor eficiencia en relación a su volumen y peso.

- i. **Autonomía energética:** La autonomía energética (medida en horas), es la relación entre la energía disponible y el consumo de energía del vehículo, según la ecuación siguiente (ver ecuación 5).

$$\textit{Tiempo (h)} = \frac{\textit{Energía disponible por hora (Wh)}}{\textit{Consumo de energía (W)}}$$

**Ecuación 5**

- j. **Riesgo de incendios, gases y emisiones:** La energía almacenada en la batería de un vehículo eléctrico se libera esencialmente una vez conectado los dos polos. Debido a los altos niveles de voltaje y las corrientes utilizadas en un VE, existe un riesgo de incendio. En el caso de las baterías de iones de Litio, se ven sometidas a un riesgo especial, ya que el electrolito es combustible, con propiedades similares a gasolina (Sandén B., 2014). Además, la batería podría progresar hacia un desbordamiento térmico a medida que se produce un aumento de la temperatura, por lo que uno de los mecanismos de seguridad utilizados en estas celdas para prevenir un incidente más severo es la ventilación. Hay que tener presente que los gases liberados en una situación de ventilación son altamente tóxicos e inflamables. En particular, una celda de ventilación libera fluoruro de hidrógeno (HF) que es altamente tóxico. La ventilación también liberaría muchas otras sustancias fluoradas que tienen el potencial de ser tóxicas, pero cuya toxicidad aún no se ha investigado

profundamente.

### 2.5.2. Baterías de ácido-plomo.

Las baterías de ácido-plomo son un tipo de acumulador de energía (batería húmeda) muy común en los SCI, utilizado como reserva de energía eléctrica para el arranque del motor, así como también del suministro de energía para la propulsión de vehículos eléctricos (Jones B., 2004).

Por lo general, las baterías proporcionan una tensión de 12V, tienen una vida útil estimada de 4 años y pueden suministrar corrientes relativamente grandes (hasta 200Ah). El electrolito de las baterías de ácido-plomo es una solución de ácido sulfúrico diluido en agua destilada. Dicho electrolito puede estar en condición de “*Electrolito líquido*”, “*Electrolito en gel*” o “*Electrolito absorbido*”.



**Imagen 71:** Batería de ácido-plomo instalada en un vehículo militar; fuente, Ramírez G. (2019).

Dado que la cantidad de electrolito es limitada, estas baterías no tienen tapones para reemplazar (o rellenar) el agua desmineralizada, sino que cuentan con

válvulas que evitan que el agua del electrolito se evapore durante la última parte de la carga; asimismo, todo el diseño interno está creado para facilitar la recombinación de gases, evitando su pérdida. Otro nombre con el que generalmente se designan estas baterías es por el acrónimo VRLA, que es una batería de ácido-plomo regulada por válvula (*Valve Regulated Lead-Acid battery*, por sus siglas en inglés).

### 2.5.3. Baterías de iones de Litio.

Las baterías de iones de Litio son acumuladores de energía que utilizan una sal de Litio como conductor eléctrico, con una amplia variedad de tecnologías que dependen de los materiales utilizados para la composición del cátodo y ánodo de la batería. Originalmente se utilizaron como baterías para equipos electrónicos portátiles y de iluminación, si bien han tenido un gran desarrollo como consecuencia del crecimiento de tecnologías vinculadas con las energías renovables, tales como la energía fotovoltaica y la energía eólica (Cortés-Carmona M., 2018).



Andes Station, 12,8 MW, 20 min. BESS, Antofagasta, Chile



Cochrane Station and Angamos Power Plants, 20 MW BESS each one, Antofagasta, Chile



**Imagen 72:** Instalaciones de almacenamiento de energía solar fotovoltaica, Industrial pilot plant Lalcktur (PSDA), Antofagasta, Chile; fuente, “*Storage with batteries and their contribution to the variable renewable energies integration*”, Universidad de Antofagasta.

Además de los usos señalados en el párrafo anterior, las baterías de iones de Litio han comenzado su desarrollo para otros fines, como sería el caso de los vehículos eléctricos. Esto ha sido debido a que mantienen su capacidad mejor que las baterías de ácido-plomo, aun operando a bajas temperaturas; su “*Ciclo de vida*” es superior al de las baterías de ácido-plomo, equilibrando su mayor coste con los beneficios que ofrece. Algunos estudios indican que es posible utilizar baterías de polímero de Litio y metal en un vehículo eléctrico (Wegmann R., et al., 2018), permitiendo al sistema un uso más amplio de la energía total del sistema de almacenamiento de energía, lo que repercute en un aumento de la distancia en que puede ser utilizado el VE, con una mejora del rendimiento a baja temperatura.

Cabe destacar que para cumplir con las exigencias de energía con que debe contar el sistema de almacenamiento (Amine K., 2016) de un vehículo eléctrico, es necesario desarrollar cátodos de muy alta energía y alta potencia, junto con ánodos que cuando se combinan en un sistema de batería deben ofrecer altos ciclos de agotamiento de carga, así como tolerancia al uso extenso y falta de mantenimiento. Estos exigentes requisitos dificultan la adopción de sistemas de baterías convencionales en los VEs.

#### **2.5.4. Baterías de iones de Litio versus las baterías de ácido-plomo.**

Para los fines de este estudio, comparamos las ventajas y desventajas de las baterías de iones de Litio frente a las de ácido-plomo, considerando su uso como sistema de reserva de energía para un VE, teniendo en cuenta el desempeño, el impacto ambiental y económico, junto con las ventajas y desventajas de cada una de ellas de manera comparativa.

**a. Ventajas de las baterías de iones de Litio versus las baterías de ácido-plomo.**

- Menor tamaño, que permite usar baterías más pequeñas para la misma capacidad o más capacidad para el mismo tamaño.
- Menor peso.
- Mayor capacidad: El poder de arranque (CCA, amperios de arranque en frío) puede alcanzar un 20% más que en una batería de ácido-plomo.
- Menor pérdida de energía: Hay una reducción drástica en la fase de reposo, uno de los puntos débiles de las baterías de ácido-plomo.
- Son baterías “*Secas*”, ya que no contienen líquidos corrosivos en su interior, evitando daños por derrame de ácido.

**b. Desventajas de las baterías de iones de Litio versus las baterías de ácido-plomo.**

- Vida útil: La vida útil de las baterías de iones de Litio está condicionada por los ciclos de recarga (alrededor de 1500/2000 ciclos), lo que se traduce en 3 años de uso, menor que las de ácido-plomo.
- Circuitos: Las baterías de iones de Litio tienen circuitos electrónicos incorporados para modificar el voltaje de recarga y mantener un equilibrio de energía entre todas sus celdas, dado que son sensibles a los problemas de carga; lo que encarece los costes de producción.

- Temperatura: El calor es el mayor enemigo de estas baterías, pudiendo explotar o inflamarse. La energía que son capaces de liberar las hace extremadamente vulnerables al calor, mientras que con el frío es lo contrario, las baterías de iones de Litio son menos sensibles a las bajas temperaturas que las baterías de ácido-plomo y mejoran significativamente el rendimiento en condiciones extremas.



**Imagen 73:** Autobús eléctrico incendiándose en julio de 2020, producto de manifestaciones sociales en la ciudad de Santiago de Chile (imagen del costado izquierdo); autobús incendiado debido a fallas en sus baterías de Litio, Galicia, España (abril de 2017, imagen costado derecho), fuentes, [www.biobiochile.cl](http://www.biobiochile.cl) y [www.lavozdeg Galicia.es](http://www.lavozdeg Galicia.es) respectivamente.

- Daños: Dejar una batería de iones de Litio completamente descargada por algún tiempo la daña irreversiblemente, aunque es algo que también ocurre en las baterías de ácido-plomo.
- Precio: Las baterías de iones de Litio tienen un coste más alto que las de ácido-plomo, por sus componentes e insumos, junto a la tecnología necesaria para su fabricación.

Otro importante factor a considerar como desventaja de las baterías de iones de Litio, es que éstas deben enfrentar el problema de la degradación (Xiaosong Hu, et al., 2020), que implica un impacto en las reacciones

electroquímicas e interacción entre el ánodo, el electrolito y el cátodo, dado que las condiciones de funcionamiento (ambiental, mantenimiento, ciclos de carga/descarga) afectan significativamente la batería, debiendo adoptarse las medidas que permitan garantizar un funcionamiento confiable y que la vida útil sea la esperada.

### 2.5.5. Fabricación y explotación de las baterías.

Dado los antecedentes presentados en los puntos anteriores, es necesario conocer los aspectos relevantes relacionados con la fabricación de las baterías.

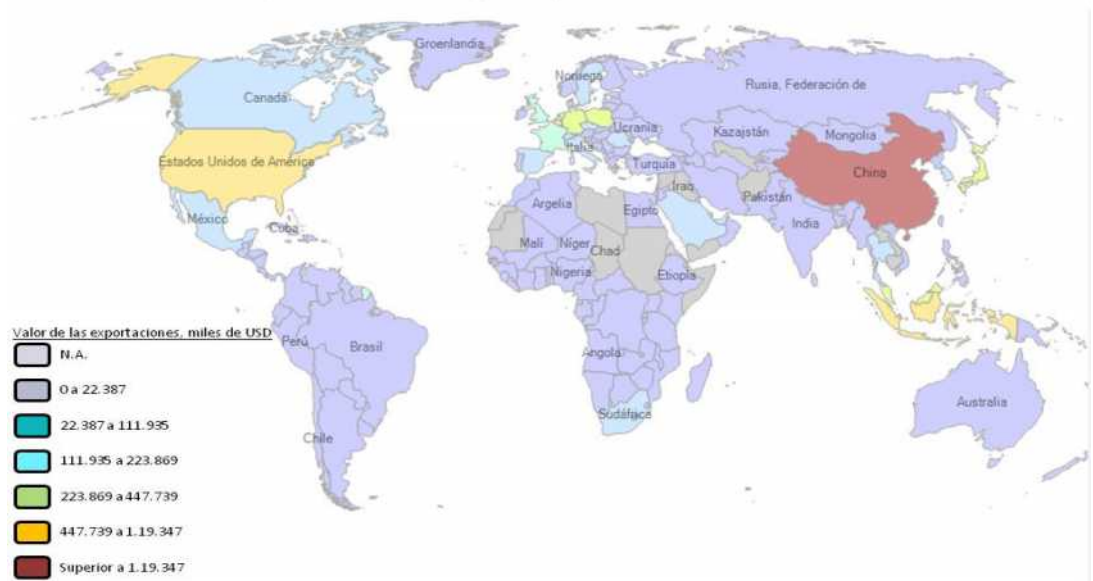
- a. **Baterías de ácido-plomo:** El principio físico-químico con el que funcionan las baterías de ácido-plomo, permite su construcción con materiales de fácil obtención, como el plomo, ácido sulfúrico, agua destilada, tela sintética y un contenedor no corrosivo, que con un bajo mantenimiento pueden ser utilizadas varias veces. Estas características hacen que prácticamente en muchas partes del mundo se fabriquen, en diferentes tipos y configuraciones, dada la alta demanda de ellas para usos automotrices y de almacenamiento de energía.
- b. **Baterías de Litio:** La producción de baterías de Litio (para distintos usos y configuraciones) se encuentra concentrada (Fernández A., 2018), en 6 compañías que producen el 75% de la producción mundial. Estas compañías integran una lista publicada por *Bloomberg New Energy Financer* (BNEF) y el ranking está restringido a aquellos fabricantes que han proporcionado más de 2 GWh de baterías de fabricación propia a alguno o varios de los 10 principales fabricantes de vehículos eléctricos del mundo, como se detalla en la siguiente tabla y gráfico.

Proveedor de baterías de Litio	Ventas de baterías (MWh)
Panasonic/TESLA, Estados Unidos de América	14.890
BYD, China	7.360
LG Chen, Corea	5.340
Contemporary Amperex Tecnology Co. Ltd. (CATL), China	4.610
Samsung SDI, Corea	3.510
Automotive Energy Supply Corporation, Japón	2.640

**Tabla 26:** Lista de los principales fabricantes de baterías de Litio; fuente, Bloomberg NEF.

De la tabla anterior, se observa que *Panasonic-TESLA* encabeza la lista, aunque Tesla ocupa el tercer lugar en la comercialización de VEs (gráfico sub siguiente). El motivo es que el tamaño de las baterías utilizadas por Tesla en sus vehículos, tienen entre 75 kWh y 100 kWh, mientras que muchos modelos de vehículos eléctricos utilizan otras considerablemente más pequeñas.

Países exportadores de pilas y baterías de Iones de Litio



**Gráfico 22:** Países productores de pilas y baterías de iones de Litio, cantidades en miles de dólares de los Estados Unidos de América; fuente, Trademap.



Generación de la celda	Química de la celda	
<b>Generación 5</b>	Li/O <sub>2</sub> (Litio/Oxígeno)	año 2025
<b>Generación 4</b>	- Estado sólido con ánodo de Litio - Materiales de conversión (Primariamente sulfuro de Litio)	
<b>Generación 3b</b>	- Cátodo: HE-NCM, HVS (Espinél de alto voltaje) - Ánodo: sílice/carbón	año 2025
<b>Generación 3a</b>	- Cátodo: NCM622 a NCM811 - Ánodo: carbón (Grafito) y silicatos (5-10%)	año 2020
<b>Generación 2b</b>	- Cátodo: NCM523 a NCM622 - Ánodo: carbón	} Actualidad
<b>Generación 2a</b>	- Cátodo: NCM111 - Ánodo: 100% carbón	
<b>Generación 1</b>	- Cátodo: LiFePO <sub>4</sub> , NCA - Ánodo: 100% carbón	

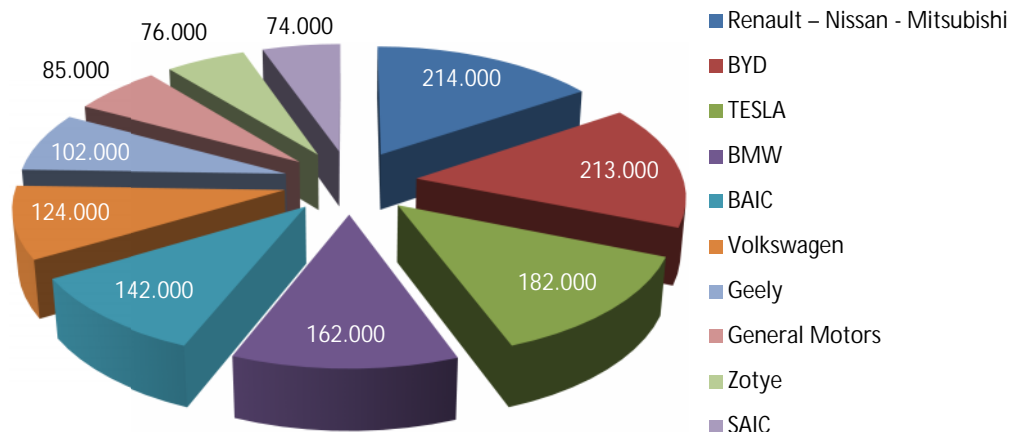
**Tabla 27:** Generaciones de las baterías, con la química de su celda; fuente, Crespo O.M., (2018).

Por otra parte, desde la perspectiva de la tecnología de las baterías de iones de Litio, la tabla anterior, muestra las generaciones de las baterías con la química de su celda (Crespo O.M., 2018), donde:

**NCM** : Níquel, Cobalto y Manganeso.

**NCA** : Níquel, Cobalto y Aluminio.

**LiFePO<sub>4</sub>** : Litio, Fósforo y Hierro.



**Gráfico23:** Principales fabricantes y número de VEs fabricados hasta el año 2018; fuente, Bloomberg NEF.

### 2.5.6. Impacto medioambiental de las baterías.

Dado que la información disponible no es suficiente, es necesario evaluar el impacto ambiental al final de la cadena de producción, transporte y uso de baterías de ácido-plomo y las baterías de Litio. El presente estudio no considera el proceso de reciclaje final de las baterías, una vez alcanzado el término de su vida útil.

- a. **Impacto medioambiental de las baterías de ácido-plomo:** Debido a los materiales que la constituyen, la fabricación de una batería de ácido-plomo no es ecológica, por el contrario se caracteriza porque son altamente reciclables, lo que se realiza profusamente a nivel mundial. Los componentes de la batería que en sí mismos son bastante contaminantes (plomo, ácido sulfúrico y plásticos), han hecho que existan directrices (C.C.A., 2015) para el manejo adecuado y retirada final de dichos acumuladores usados, dado que las prácticas inadecuadas de reciclaje pueden dar lugar a trastornos graves y duraderos en la salud, tanto de los

trabajadores, como de la comunidad y el medioambiente. Desde el punto de vista de las emisiones, para las baterías de ácido-plomo se considera que emiten **1,33 [kg CO<sub>2</sub>/kg]** (Hammond G., et al., 2008).

- b. Impacto medioambiental de las baterías de Litio:** Para el caso de las baterías de Litio, dado que en su operación no emiten gases contaminantes y que sus fabricantes no entregan los datos de emisiones en el proceso de fabricación, se consideró para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> para su transporte (Mayol M., 2012). Teniendo presente que las baterías se fabrican en China mayormente, estimándose una emisión de 0,025 [g CO<sub>2</sub>/kg/km] para el transporte marítimo y de 0,105 [g CO<sub>2</sub>/kg/km] para el transporte terrestre, para una ruta de 18.800 km desde Shanghai en China a través del Océano Pacífico hasta la zona central de Chile y 500 km de ruta terrestre, se obtiene unas emisiones de CO<sub>2</sub> de **0,52 [kg CO<sub>2</sub>/kg]**.



Al igual que las baterías de ácido-plomo, los componentes de los acumuladores de iones de Litio pueden ser reciclados, con procesos de manejo similar, tendentes a disminuir el impacto medioambiental.

### **2.5.7. Configuración de las baterías.**

El sistema de almacenamiento de energía eléctrica alcanza el voltaje requerido conectando varias baterías, ya sea “*Conexión en serie*”, en la que cada batería agrega su potencial de voltaje para alcanzar el voltaje total; “*Conexión paralela*” en la que se logra una mayor capacidad, mediante la adición del amperaje-hora total (Ah) o en una combinación de éstas. La mayoría de las baterías son adecuadas para ser conectadas en serie y en paralelo. Es importante usar el mismo tipo de batería con el mismo voltaje y capacidad (Ah) y nunca mezclar diferentes modelos y tamaños, ya que una batería más

débil causaría un desequilibrio, siendo esto particularmente crítico en la configuración en serie, porque el sistema es tan fuerte como la batería más débil de la cadena<sup>134</sup>, por lo que el sistema puede ser vulnerable si se utilizan baterías de diferentes orígenes, distintas capacidades o de tiempo de fabricación que no sean los mismos.

Para los diagramas siguientes, se han utilizado los tipos de baterías que a continuación se indican.

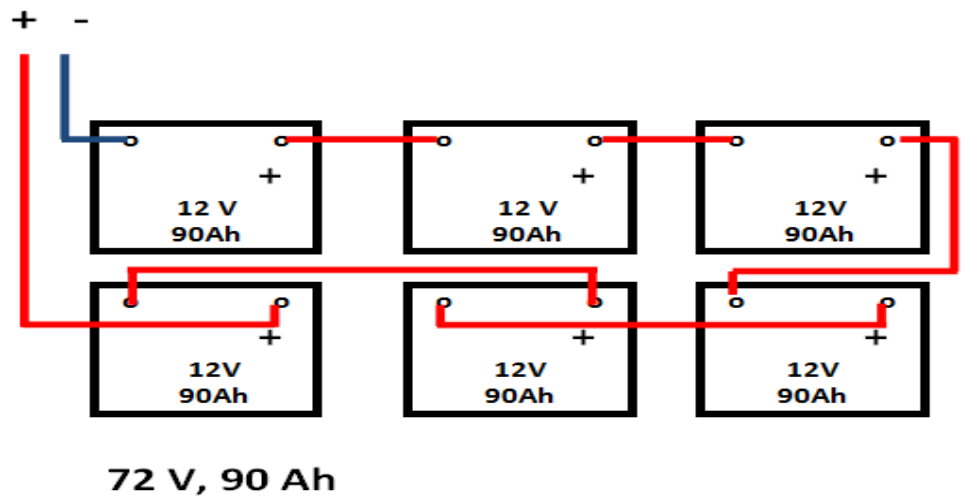
Batería de ácido-plomo		Batería de iones de Litio	
			
Tipo	: 12V, batería automotriz.	Tipo	: 12V, batería de iones de Litio.
Amp.	: 90 Ah.	Amp.	: 90 Ah.
Cold Cranking Amps <sup>135</sup> :	730 CCA.	Largo	: 30 cms.
Largo	: 23 cms.	Ancho	: 16 cms.
Ancho	: 17,5 cms.	Altura	: 22 cms.
Altura	: 30 cms.	Peso	: 14 kgs.
Peso	: 20 kgs.	Precio (USA)	: USD 900 (819 €)
Precio (USA)	: USD 120 (109 €)		

**Tabla 28:** Ejemplos de baterías; fuente, Roberts C., (2019).

- a. Conexión en serie:** La conexión en serie permite incrementar el voltaje, manteniendo la capacidad. La figura siguiente muestra un sistema de seis baterías de 12V cada una, produciendo un voltaje nominal de 72V.

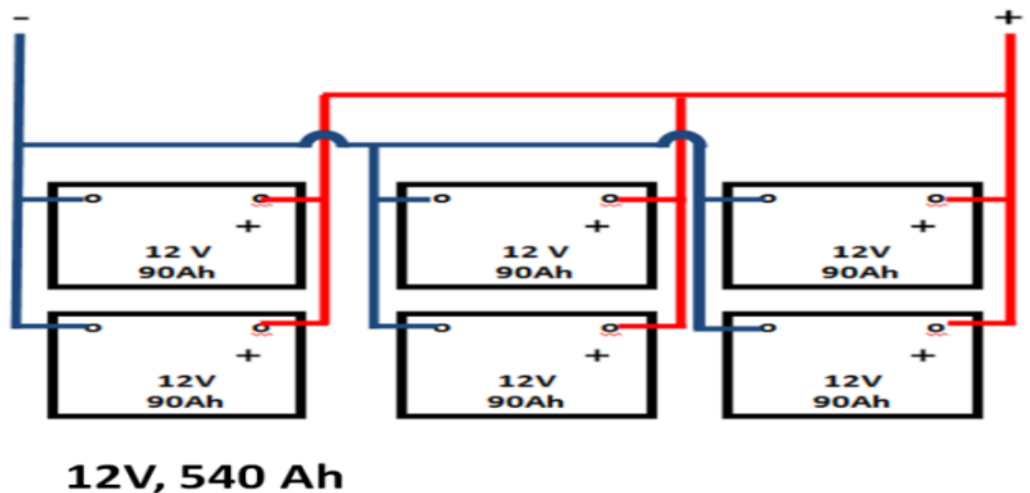
<sup>134</sup> [https://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_302\\_configuraciones\\_de\\_baterias\\_en\\_serie\\_y\\_paralelo](https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_302_configuraciones_de_baterias_en_serie_y_paralelo)

<sup>135</sup> CCA, *Cold Cranking Amps*, magnitud que determina la máxima corriente que una batería puede suministrar en 30 segundos a 0°C, sin decrecer su voltaje bajo los 12V.



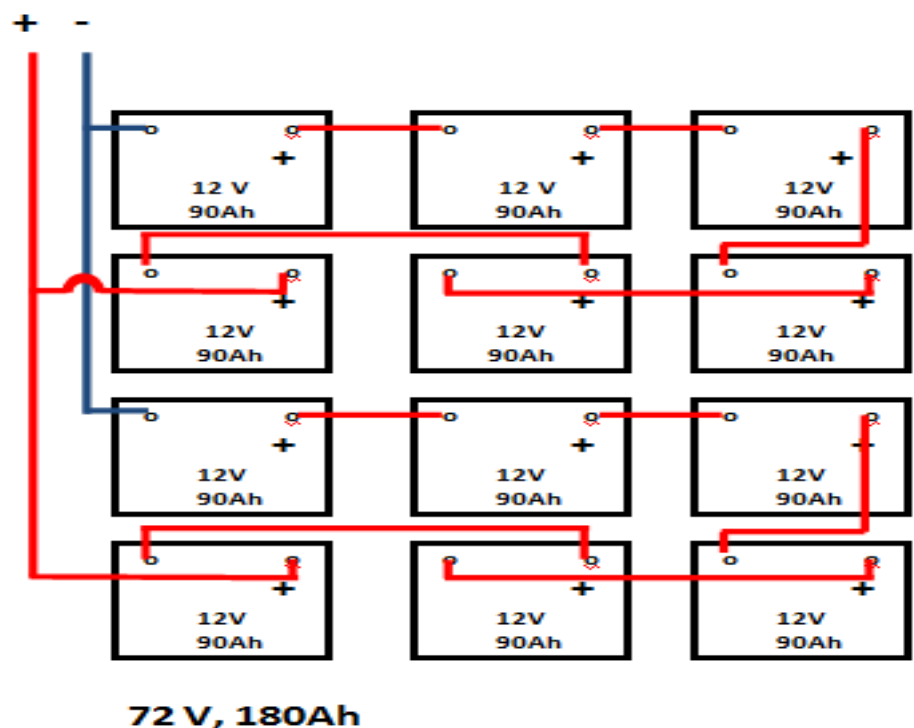
**Imagen 74:** Esquema de conexión de baterías en serie, con 6 baterías de 12V cada una. Incorporar más baterías incrementa el voltaje, permaneciendo la misma capacidad. El peso del sistema es de 120 kg con baterías de ácido-plomo y de 84 kg con baterías de iones de Litio; fuente, Roberts C., (2019).

- b. Conexión en paralelo:** La conexión en paralelo permite aumentar la capacidad, manteniendo el voltaje. La figura siguiente muestra seis baterías conectadas en paralelo. El sistema mantiene el voltaje nominal en 12V, pero multiplicando su capacidad (Ah) y tiempo de operación.



**Imagen 75:** Esquema de conexión de baterías en paralelo, la capacidad en Ah y el tiempo de operación se incrementan, mientras que el voltaje (12V) se mantiene. El peso del sistema es de 120 kg con baterías de ácido-plomo y de 84 kg con baterías de iones de Litio; fuente, Roberts C., (2019).

- c. **Conexión en serie/paralelo:** La configuración en serie/paralelo que se muestra en la figura siguiente, permite la flexibilidad de diseño y logra el voltaje requerido, duplicando la capacidad del sistema con un tamaño de batería estándar. La potencia total es el producto del amperaje por la corriente, por lo que 12 baterías de 12V (nominal) de 90Ah producirían 180Ah.



**Imagen 76:** Esquema de conexión de baterías en serie/paralelo, la cual provee el voltaje requerido, doblando la capacidad, pero incrementando el peso a 240 kg en la configuración de baterías de ácido-plomo y en 168 kg en la configuración de baterías de iones de Litio; fuente, Roberts C., (2019).

- d. **Batería consolidada de Litio-Ferrofosfato:** La batería de Litio-Ferrofosfato (o batería LFP) es una alternativa comercial para el sistema de almacenamiento de energía requerido, toda vez que es una batería consolidada recargable de iones de Litio, con un cátodo de fosfato de Hierro-Litio ( $\text{LiFePO}_4$ ).



**Imagen 77:** Batería recargable de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>), con aplicaciones para movilidad eléctrica; fuente, [www.diariomotor.com](http://www.diariomotor.com)

Este tipo de batería, se basa en la *ferro electricidad*, que es una característica de ciertos materiales que tienen una polarización eléctrica espontánea, que puede revertirse mediante la aplicación de un campo eléctrico externo (Braga M., et al., 2018); las características de este tipo de batería son las que se detallan.

Potencia, voltaje y capacidad	:	14kW; 72V; 200Ah
País de fabricación	:	China
Precio	:	USD 12.049 (USA); (10.965 €) USD 9.900 (China); (9.009 €)
Dimensiones y peso	:	1.120*400*314 mm; 150 kg.

- e. **Baterías y disponibilidad de Litio en Chile y la región:** Chile ha declarado<sup>136</sup> que el Litio y otros recursos naturales tienen carácter de “*Minerales estratégicos*” toda vez que éstos son utilizados en la industria, por sus propiedades intrínsecas, siendo sus reservas muy importantes para

<sup>136</sup> <https://www.sernageomin.cl/recursos-minerales/>

el país productor, cuando suponen un importante ingreso por su explotación y “*Muy codiciadas por los países industrializados*”<sup>137</sup>”.

En armonía con lo anterior, se debe considerar que el Litio es fundamentalmente utilizado en la industria del almacenamiento de energía, lo que lo contempla como de “*Particular importancia en el análisis geopolítico de los minerales*” (Bruckmann M., 2012), debido a un gran incremento en la demanda de materiales para la producción de baterías para dispositivos de comunicaciones portátiles, particularmente en las de tipo “*Recargable*”. Esto se pone de manifiesto en el estudio elaborado por el *United States Geological Survey* (USGS). A modo de ejemplo, el Litio utilizado en las baterías (Wilburn D., 2008) de teléfonos móviles, que pasaron de 1,8 toneladas en 1996 a 170 toneladas en 2005 (aumento de 94,4% en 10 años), mientras que en el mismo periodo, se produjo un incremento del 3.000% en el uso del Litio para la fabricación de baterías recargables de ordenadores personales (Laptops). Por otra parte, dicho estudio analizó el uso de las baterías de Litio en los vehículos Híbrido-Eléctricos (HEV), para el “*Establecimiento de un sector fuerte y en crecimiento a corto plazo*”, determinando que al menos en los Estados Unidos, el alto precio de las baterías de iones de Litio versus las de Cd Ni generan un impedimento. Los autores estimaron que el período de desarrollo de una batería hasta su implementación comercial es de 4,5 a 7 años. En consecuencia, dado que los tiempos de desarrollo de un sistema de almacenamiento de energía para un modelo particular de VE, tarda un tiempo que puede ser considerado excesivo, la construcción y diseño de éstos puede optimizarse en función del uso de baterías estandarizadas, lo

---

<sup>137</sup> SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería – Chile)



que reduce la dependencia de un proveedor en particular, reduciendo los costes al tener una mayor oferta cuando existen varios proveedores.

Precisando lo anterior y en lo que atañe a los países sudamericanos que explotan el Litio, el “*Neoextractivismo*” (Zícari J., 2015), se puede considerar como la dedicación a la producción de materia prima, descuidando las consecuencias que el proceso pudiera implicar, sin imponer el valor agregado a dichos *commodities*. Esto puede provocar que los beneficios de la extracción del mineral no sean redistribuidos entre la población local, lo que ha propiciado protestas y acusaciones judiciales, tanto en Bolivia como en Chile.

Independiente de lo anterior, la industrialización y producción de baterías de iones de Litio se ha centrado geográficamente en Asia; siendo Japón y Corea del Sur los países que lideran la investigación y desarrollo. No obstante, es China el país que las produce en mayor cantidad y a un menor coste, traduciéndose en una optimización de la cadena de distribución, que les permite que dichos productos se puedan encontrar en distintas partes del mundo. Puede advertirse, además, que la disponibilidad de producción de sistemas de almacenamiento de energía es relativamente acotada a los países que cuentan con la industria, tecnología y disponibilidad de insumos, lo que se reduce aún más si se considera la oportunidad de contar con la totalidad de los componentes, como sería por ejemplo, el caso de China debe importar la membrana separadora<sup>138</sup> desde Japón, único país que cuenta con ese material. En el contexto sudamericano, es más compleja la situación para los dos países interesados (Zícari J., 2015)

---

<sup>138</sup> Componente de las baterías, cuya función es mantener los dos electrodos separados para evitar cortocircuitos, mientras que también permite el transporte de iones portadores de carga, los que son necesarios para cerrar el circuito durante el paso de corriente en una celda electroquímica.

en la producción de baterías de iones de Litio, a saber, Argentina y Bolivia, ya que para el caso argentino por ejemplo, la fabricación de baterías a día de hoy se reduciría al ensamblaje, toda vez que el 80% de los componentes necesarios de la batería deberían producirse en otros países.

En esta disyuntiva y considerando que Chile es uno de los principales productores de mineral de Litio a nivel mundial, es de destacar que no cuenta con fábricas de baterías de este tipo, aunque en el año 2015 se anunció la creación de la “*Primera fábrica de baterías de litio del país*”. Este proyecto está liderado por el *Centro de Innovación del Litio* (CIL) de la Universidad de Chile, que luego por problemas de estimación del mercado, la empresa no prosperó y finalmente no comercializó el producto. Se trataba de una batería modular que podía armarse de forma simple para poder conformar otras de mayor tamaño, sirviendo para distintas aplicaciones, tales como bicicletas y VEs. El precio de venta estimado en su módulo básico, como las que utiliza un automóvil, era de alrededor de USD 200 (182 €). A pesar de ello, la *Corporación de Fomento de la Producción* (CORFO - Chile) destacó la importancia de que Chile se convierta en un actor relevante en la movilidad eléctrica<sup>139</sup>, sin embargo, hasta el momento el país sólo podría participar en la primera etapa de la fabricación de estas baterías, proporcionando el Litio como insumo o material base del proceso y, no contando con experiencia en materia de manufactura de este tipo de componentes. Existen interesantes estudios (Calisaya D., et al., 2018) que señalan el potencial de fabricación de baterías de Litio en Chile, en instalaciones ubicadas en las cercanías de

---

<sup>139</sup>[https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C\\_NoticiaNacional&cid=1476723114674&d=Touch&pagename=CorfoPortalPublico%2FC\\_NoticiaNacional%2FcorfoDetalleNoticiaNacionalWeb](https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C_NoticiaNacional&cid=1476723114674&d=Touch&pagename=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaNacional%2FcorfoDetalleNoticiaNacionalWeb)

los lugares de la explotación del mineral.

#### **2.5.8. Sistemas de recarga de las baterías.**

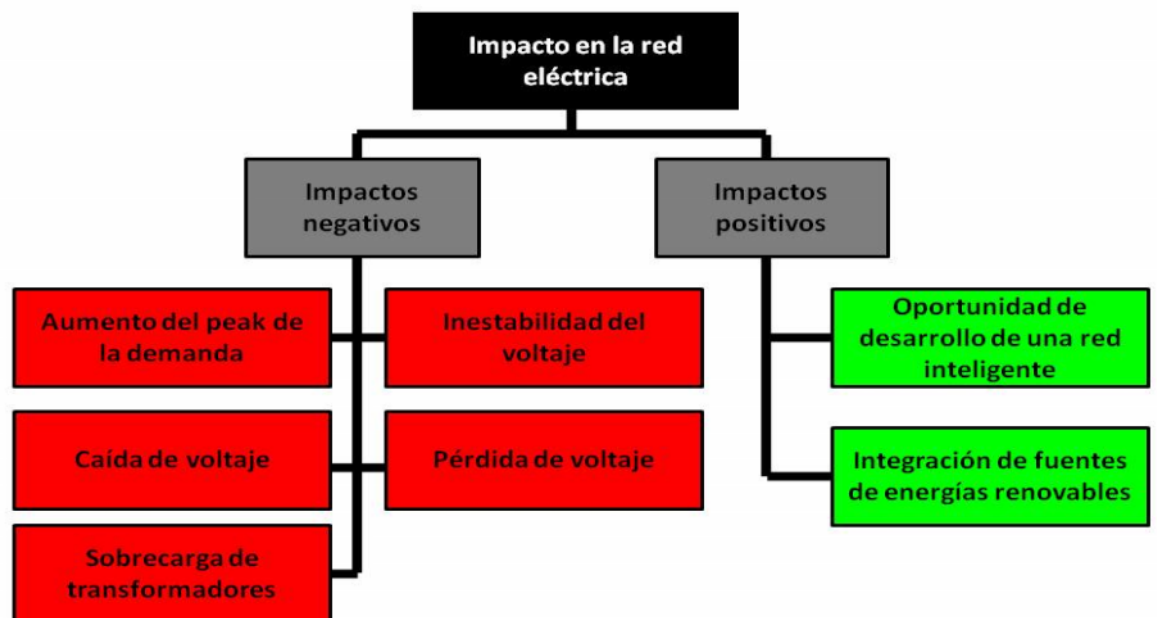
La combinación de sistemas de recarga de electricidad es uno de los parámetros más cruciales para determinar la viabilidad de los VEs. Usando una combinación de recarga de baterías, basada completamente en las energías renovables, ofrecen un resultado completamente diferente al de un mix energético derivado de combustibles fósiles (Egede P., et al. 2015); elegir la adecuada mezcla que busque minimizar los impactos medioambientales es una tarea importante a desarrollar, de manera de obtener resultados confiables y prácticos.

Es evidente que después del uso de las baterías, independiente del modelo o configuración, será necesario recargarlas, dado que este sistema se comporta como un reservorio de energía eléctrica que se consume en la medida que se utiliza o se producen pérdidas durante su almacenamiento. El presente caso de estudio se limita a dos opciones prácticas y disponibles para recargar el sistema de baterías en un VE, la primera mediante la red eléctrica y la segunda a través de una estación de recarga con energía solar fotovoltaica. Se debe tener en cuenta que la segunda opción presenta características de intermitencia, dependencia de la estacionalidad y de las condiciones climáticas. A pesar de ello, el bajo impacto ambiental de esta opción (Illescas I., et al., 2017) es un preponderante factor a tener presente, aunque existan estas variables no controlables y parcialmente impredecibles como el clima.

Por otra parte, la disponibilidad de puntos de recarga eléctrica en Chile, al no ser amplia (comparada con las estaciones de servicio que surten combustibles), reduce la autonomía de los VEs, por lo que la mayoría del suministro eléctrico

de éstos se lleva a cabo en el domicilio del propietario, lo que en sí mismo es una ventaja, pero a la vez un desincentivo, teniendo presente que la instalación de un punto de recarga domiciliario es de USD 600 (546 €) y el coste de la tarifa eléctrica se incrementa debido al aumento del consumo estándar para una vivienda en Chile<sup>140</sup>.

Al respecto, cabe precisar que actualmente el uso y explotación de los VEs sigue orientado a las zonas urbanas afectadas por la mala calidad del aire (Boyom C., et al., 2016), las cuales y dentro de sus limitaciones disponen de una red eléctrica (industrial y domiciliaria) que puede surtir de la energía suficiente para la recarga de las baterías de un vehículo eléctrico. En el caso de zonas remotas o rurales esa disponibilidad no es total, lo que es un importante factor a considerar, toda vez que condiciona las rutas a seguir y las distancias de desplazamiento de cada VE.

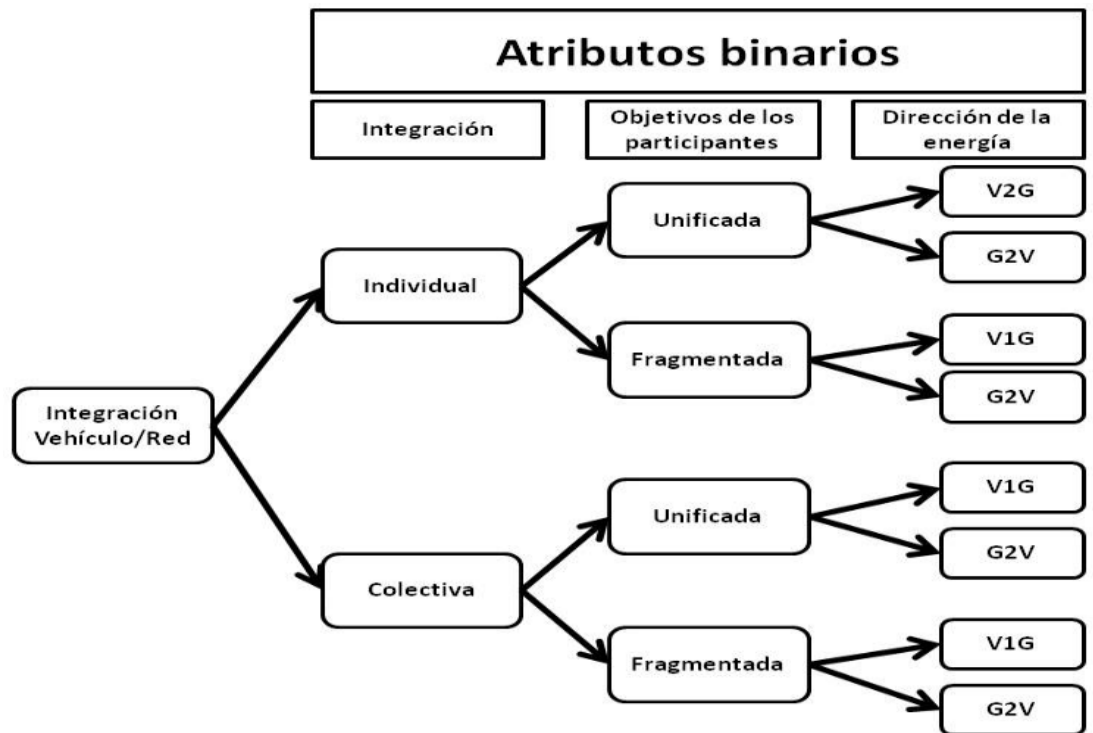


**Gráfico 24:** Principales impactos (positivos y negativos) en la red eléctrica, producto de la masificación y explotación de VEs; fuente, Geraldo Costa J., (2019).

<sup>140</sup> <https://www.enel.cl/es/clientes/informacion-util/tarifas-y-reglamentos/tarifas.html>

No obstante lo indicado en el párrafo anterior, estudios contemporáneos (Salameh Z., 2015), reconocen que *“El interés en el transporte eléctrico ha aumentado drásticamente en los últimos años debido a su alta eficiencia”*, basando su fundamento en la ausencia de contaminación mientras éstos operan, lo que en consecuencia contribuyen a la reducción de emisiones de los GEIs. Sin embargo, señalan el impacto que se produce en la red eléctrica instalada, la que no crece en la misma medida que el parque vehicular eléctrico, no estando preparada ante *“La perspectiva de un despliegue a gran escala de VEs, lo que plantea problemas importantes para las empresas proveedoras y distribuidoras de servicios eléctricos”*. Estas desventajas pueden afectar el desempeño de los VEs, dado que perturban la relación entre la capacidad instalada versus el crecimiento de la demanda, producto de la eventual implementación y masificación de VEs (Geraldo Costa J., 2019). Finalmente, estas desventajas se basan en la capacidad de respuesta ante una demanda mayor, vinculada con la recarga de un VE, la homologación de sus sistemas de conexión y el momento (hora del día) en que se genera la demanda de carga.

En relación a lo anterior, existe un reciente interés (Sami I., et al., 2019) en atenuar el impacto en la red eléctrica por parte de los VEs, a través de una Red Inteligente (*Smart Grid*, por su nombre en inglés) que busca integrar los excedentes energéticos con que eventualmente cuentan los vehículos eléctricos, a través de vehículo a red (V2G) y la interacción red al vehículo (G2V), a través de un soporte bidireccional, como señala el cuadro siguiente.



**Gráfico 25:** Red inteligente (Smart grid), que vincula la interacción del vehículo a la red (V2G) y de la red con el vehículo (G2V), ya sea de manera bidireccional como unidireccional (V1G); fuente, Sami I., et al., (2019).

En relación al gráfico anterior, el G2V es unidireccional al momento de carga de las baterías de los VEs, con una dirección del flujo de energético hacia el VE en condición V1G, esta implementación G2V unidireccional es económica, ya que utiliza la infraestructura actual, sin requerir mayores modificaciones. Por otra parte, la modalidad bidireccional del V2G en combinación con el G2V implica infraestructura dedicada, junto con tecnologías de control de flujo de energía, toda vez que el VE inyectará su energía “*sobrante*” a la red instalada, quedando con una reserva que le permita su desplazamiento previamente establecido, por lo que esta modalidad será posible en aquellos VEs con características híbridas, que no restrinjan su desplazamiento.

Por otra parte, y considerando que el sistema de baterías de un vehículo eléctrico completamente cargado contiene aproximadamente 18 kWh, requiere

36 kWh para ser suministrados desde la red. Asimismo se debe tener en cuenta que la eficiencia entre la batería y el eje de transmisión es aproximadamente el 80%. La ecuación siguiente permite calcular la energía requerida por el sistema de baterías.

$$E_u = \eta E_b$$

**Ecuación 6**

$E_u$  : Energía requerida para arrancar el vehículo.

$E_b$  : Energía en la batería.

: Eficiencia de la batería.

$$E_u = \eta E_b = 0,80 \cdot 18 = 14,4 \text{ kWh}$$

La carga recomendada por los fabricantes de las baterías, es el 10% de su capacidad, la recarga con una potencia menor no causa daño a las baterías, pero requiere más tiempo.

- a. Recarga a través de la red eléctrica:** Considerando que día a día se reducen las reservas mundiales de energía (petróleo y carbón), el agotamiento es una de las principales preocupaciones mundiales a nivel económico, medioambiental, industrial y social (Saber A.Y., et al., 2011). La industria energética representa una parte importante de las emisiones globales, responsable del 40% de la producción mundial de CO<sub>2</sub>, seguida de la industria del transporte (24%) producto del uso de combustibles fósiles, estimándose que a través de energías renovables, principalmente eólica y solar, es posible reducir las emisiones de industria eléctrica (principalmente de centrales eléctricas).

No obstante lo anterior, la opción principal de recarga de un vehículo eléctrico es a través de la red eléctrica disponible en las áreas urbanas y el acceso a ellas por parte de flotas o vehículos individuales podría considerarse estocástico (Rezaee S., et al., 2013), para ello es necesario contar con instalaciones robustas y correctamente adaptadas para satisfacer la demanda de recarga, ya sea a través de electrolíneas, aparcamientos o simplemente a través de conexiones domiciliarias.

En este contexto, los vehículos militares cuentan con lugares establecidos en sus cuarteles para el aparcamiento de los mismos, considerando que estas instalaciones los guarecen de las inclemencias del tiempo y proveen la seguridad requerida. Generalmente disponen de instalaciones eléctricas domiciliarias (220 V CA) mediante conectores Schuko, los cuales están destinados para el uso de herramientas y actividades de mantenimiento. No obstante ello, en el caso de no contar con aparcamientos que dispongan de conexiones eléctricas para recarga de una flota de VEs, y ante la necesidad de este proceso, deberá considerarse que algunos de ellos quedarán pendientes de su recarga. Para este caso, es posible la utilización de la metodología FCFS (*First Come, First Serve*) y, que se traduce en que ante la llegada de un vehículo, el conductor encuentre disponibilidad de un sistema de recarga, y en caso contrario deberá esperar hasta que un usuario “*Libere*” un aparcamiento (Caicedo F., 2005).

Por otra parte, teniendo presente que se estima que la tecnología de los vehículos eléctricos es una de las soluciones más prometedoras para abordar la problemática de contaminación medioambiental (Darabi Z., et al., 2011), es de suma importancia el desarrollo sostenible y



económicamente viable de un sistema de recarga de su fuente de almacenamiento de energía (baterías), ya sea optimizando la red eléctrica instalada o a través de sistemas alternativos. Ambos procedimientos impactarán en la demanda de energía y, para verificar su impacto, se deberá contar con el perfil de demanda de electricidad, para lo cual es necesario conocer:

- ¿Cuánta energía eléctrica requiriere para cargar su sistema de almacenamiento?
- ¿Cuánta energía necesitará para cumplir el objetivo de recorrido que se plantea?
- ¿Cuál es el costo del proceso de carga de un VE?

En consecuencia y dadas las consideraciones del párrafo precedente, para la recarga de un vehículo eléctrico (VE) existen opciones limitadas de recarga y que se pueden resumir en suministro mediante la red eléctrica domiciliaria o la proporcionada por electrolinerías.

**1) Red eléctrica domiciliaria:** Para esta opción, el coste de la electricidad<sup>141</sup> en la red domiciliaria, administrada por la compañía de distribución eléctrica de Chile (ENEL), es<sup>142</sup> de **USD 0,159** por **kWh**, (equivalente a 0,14 €). Mediante la siguiente expresión se puede obtener el coste de recarga.

---

<sup>141</sup> <https://www.eneldistribucion.cl/tarifas>

<sup>142</sup> Tarifa de la electricidad en Chile, vigente para el año 2020, la cual presenta variaciones estacionales (tarifa invernal y tarifa estival) y es modificada año a año.

$$C_{ev} = C_{kWh} E_g$$

**Ecuación 7**

$C_{ev}$  : Coste de recarga completa de un sistema de baterías proveniente de la red eléctrica (USD).

$C_{kWh}$  : Coste de un kWh proveniente de la red eléctrica.

$E_g$  : Energía proveniente de la red eléctrica.

$$C_{ev} = C_{kWh} E_g = \frac{USD\ 0,159}{kWh} \ 36\ kWh = USD\ 5,73\ (5,21\ €)$$

Dado lo anterior, y teniendo en cuenta la forma como se conduce un vehículo que queda definida por el concepto (Osses M., et al., 2003) de “*Dinámica de conducción*”, el cual incorpora las paradas que se efectúan, la velocidad y aceleración promedio del recorrido, la cantidad de tiempo en que el vehículo está detenido y en movimiento, por lo que en resumen, del recorrido que realiza un VE, dividido en áreas urbanas (10%), en carretera (30%) y fuera de carretera (60%), tiene un coste de  $USD\ 5,73/150 = USD\ 0,038/km$  (equivalente a  $0,035\ €/km$ ).

- 2) **Electrolineras:** la disponibilidad e implementación de electrolineras o puntos de recarga de VEs para los proveedores, pasa por las mismas consideraciones que cualquier otra inversión (Houssein Kanj, 2019), por lo que la adopción o la decisión de inversión se caracterizará por el valor calculado del VAN y estará condicionada por la “*Incertidumbre sobre los flujos de beneficios futuros*”. Que el

valor actualizado neto de caja (VAN) sea mayor que cero es esencial para el proceso de implementación, pero no exime de que deben ser superados otros factores que afectan la difusión de las nuevas tecnologías, tales como las que a continuación se detallan.

- Factores organizacionales; ya que la organización representa las características estructurales, los recursos y las colaboraciones humanas, en especial, el miedo al reemplazo de la mano de obra, el miedo a la inversión para los gerentes y la necesidad de reemplazar los equipos viejos.
- Atributos de innovación; superar las percepciones individuales negativas que podrían ser usadas para predecir la tasa de adopción de nuevas innovaciones.
- Regulaciones ambientales; cumplir con las regulaciones medioambientales, así como también con una política eficiente desde una perspectiva de la información, juega un papel importante en la toma de decisiones, e impactará de manera relativa a todo tipo de proyecto.

Bajo estas perspectivas, la Compañía de petróleo s de Chile (COPEC), empresa de capitales privados, ha desarrollado e instalado una red de 23 electrolineras de recarga rápida, distribuidas en 640 km de la carretera Panamericana (longitudinal al territorio de Chile) denominada VOLTEX, y que fueron instalados en el año 2018.



**Imagen 78:** Estación de recarga de VEs VOLTEX; fuente, COPEC-VOLTEX.

Dicha red entrega un servicio de recarga completa de un automóvil en unos 30 minutos, a partir de un suministro de 50kW. No obstante ENEL ha anunciado<sup>143</sup> que comenzará la instalación de 1200 nuevos puntos de recarga de VEs en Chile, con más de 1800 conexiones, asegurando la ubicación de una estación de recarga cada 60 km como mínimo, lo que se traduce en una inversión de USD 15.000.000 (13.520.000 €).



**Imagen 79:** Representación geográfica de la red de estaciones de recarga eléctrica VOLTEX; fuente, COPEC-VOLTEX.

<sup>143</sup> <https://www.latercera.com/nacional/noticia/presentan-la-primera-ruta-electrica-nacional-unira-chile-desde-arica-punta-arenas-1-200-puntos-carga-autos-electricos/977508/>

Asimismo, diferentes empresas han comenzado a instalar una red de recarga de VEs en diferentes lugares (TE-Mobilty<sup>144</sup>), tales como centros comerciales y lugares de interés, así como también soluciones domiciliarias que posibilitan a los usuarios contar con el abastecimiento de energía. Además, se debe tener en cuenta la dificultad para el caso de los edificios antiguos, que no disponen de tomas de corriente en los estacionamientos bajo superficie, lo que en parte puede ser paliado para el caso de nuevas promociones inmobiliarias, mediante la obligatoriedad expresada en la normativa de referencia: *“Normativa en elaboración los edificios nuevos estarían obligados a dar capacidad eléctrica y espacio de canalizaciones para la recarga domiciliaria de autos eléctricos, para, al menos, un 30% del total de los estacionamientos subterráneos<sup>145</sup>”*.



**Imagen 80:** Cargadores para VEs dispuestos en diferentes centros comerciales de la ciudad de Santiago; fuentes, La Tercera y Roberts C., (2021).

En el caso de los vehículos de transporte público, ENEL ha instalado electrolinerías en el interior de los terminales de autobuses pertenecientes a RED, los cuales cuentan con cargadores trifásicos

<sup>144</sup> <https://www.te-mobility.com/>

<sup>145</sup> <https://www.latercera.com/tiempo-de-actuar/noticia/los-pros-contras-cargar-auto-electrico-domicilio/994879/>

rápidos, que permiten la recarga de las baterías en unas tres horas, permitiendo un recorrido normal de unos 250 km aproximadamente.



**Imagen 81:** Estación de recarga eléctrica de un autobús del recorrido 516 (RED) en Santiago de Chile; fuente, [www.lun.com](http://www.lun.com)



**Imagen 82:** Electrolineras disponibles para la recarga de los autobuses eléctricos de RED, Santiago de Chile, fuente, [www.lun.com](http://www.lun.com)



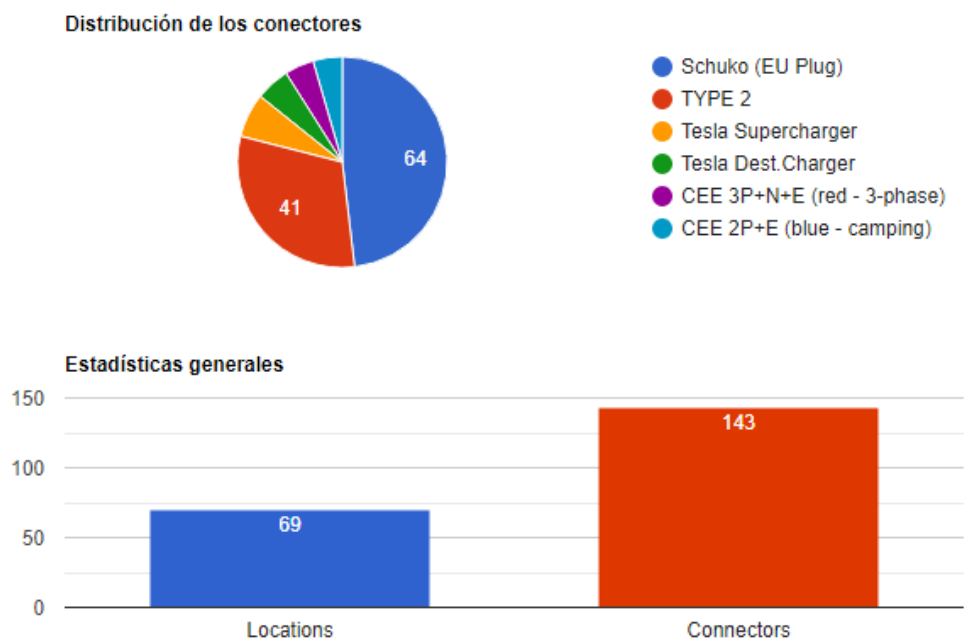
**Imagen 83:** Mapa de los puntos (verdes) de recarga eléctrica que existen en España; fuente, [www.electromaps.com](http://www.electromaps.com)

A título de ejemplo de una red de cargadores, se muestra el caso de España, que para el mes de marzo de 2020 cuenta con 4.788 puntos de recarga (ver imagen anterior) registrados actualmente<sup>146</sup>, los cuales se reparten entre hoteles, centros comerciales, electrolineras y supermercados. La mayoría instala conectores tipo 2 (5.851 unidades) y/o Schuko (4.489 unidades), junto con cargadores de tipo CHAdeMO y CCS2. La red suma un total de 12.593 conectores, que suponen una gran oferta de puntos de recarga de energía para los vehículos eléctricos.

En concordancia con lo anterior, conforme a un estudio de GEOTAB de los lugares públicos para recarga de VEs existentes en España (GEOTAB, 2018), Barcelona es la ciudad con la infraestructura más numerosa. Cuenta con 206 puntos de recarga registrados, que se reparten a razón de 2,1 estaciones por cada km<sup>2</sup>.

---

<sup>146</sup> [www.electromap.com](http://www.electromap.com)



**Gráfico 26:** Puntos de recarga de VEs y distribución por tipo de conectores, disponibles en la ciudad de Granada, España; fuente, [www.electromaps.com](http://www.electromaps.com)

Otras grandes ciudades españolas también cuentan con instalaciones importantes, como por ejemplo, la ciudad de Valencia que es uno de los municipios con mejor infraestructura pública para vehículos eléctricos en España y con una alta densidad de estaciones (0,48 por km<sup>2</sup>). En el caso de Granada, cuenta con 69 puntos de recarga, con 143 conectores en total<sup>147</sup>.

- b. Recarga a través de paneles solares fotovoltaicos:** La radiación solar es la energía que produce el Sol, especialmente la energía electromagnética (Sumathi S., 2015). Una gran parte de la radiación se encuentra en el rango visible, el resto está en el espectro infrarrojo y en el ultravioleta. De ello, es destacable que aproximadamente un 30% es reflejada a la atmósfera y el 70% restante es absorbida por elementos prevaecientes, como los océanos, las masas de tierra y las nubes (Singhal A., et al.,

<sup>147</sup> <https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/espana/granada>



2019), por ello hay dos maneras de explotar la energía solar, ya sea de manera activa o de manera pasiva, siendo esta última (pasiva) la que utiliza la luz y calor de la energía solar sin convertirla en otra forma de energía y por otra parte, la manera activa de utilizarla, que puede ser aprovechable como energía térmica y como energía fotovoltaica (PV).

En este sentido, si consideramos la posibilidad de utilizar la energía solar fotovoltaica en los VEs, es preciso indicar que la integración de ésta en los procesos de recarga es una cuestión que permanentemente es investigada (Bhatti A.R., et al., 2016), ya sea como un componente que inyecta energía directamente a la red, o de manera desagregada, al recargar directamente un VE. Esto genera nuevos intereses, tanto en usuarios, distribuidores de energía, fabricantes y distribuidores de equipos y componentes fotovoltaicos y estamentos gubernamentales, ya que se evidencia una reducción del precio de los módulos fotovoltaicos (mayormente fabricados en China), el rápido crecimiento de los VEs y la preocupación por los efectos de los gases de efecto invernadero.

A modo introductorio respecto del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, la tabla siguiente indica los hitos en materia de desarrollo de dicha tecnología (Singhal A., et al., 2019), lo que nos lleva a tener en cuenta que este perfeccionamiento no es reciente, y es posible decir que corre a la par del resto de las tecnologías.

Año	Hito
1839	Alexandre Edmond Becquerel observa el efecto fotovoltaico a través de un electrodo en una solución conductora expuesta a la luz.
1873	Willoughby Smith descubre que el selenio muestra fotoconductividad.
1877	W.G. Adams y R.E. Day observan el efecto fotovoltaico en selenio solidificado.

Año	Hito
1883	Charles Fritts desarrolla una célula solar con selenio depositado en una capa delgada de oro para formar un dispositivo con una eficiencia menor del 1%.
1887	Heinrich Hertz investiga la fotoconductividad de la luz ultravioleta y descubre el efecto fotoeléctrico.
1888-91	Aleksandr Stoletov crea la primera célula solar basada en el efecto fotoeléctrico.
1904	Wilhelm Hallwachs desarrolla una célula solar semiconductor con óxido de cobre y cobre.
1905	Albert Einstein publica un artículo científico que explica el efecto fotoeléctrico.
1916	Robert Millikan lleva a cabo experimentos y demuestra el efecto fotoeléctrico.
1932	Audobert y Stora descubren el efecto fotovoltaico en el seleniuro de cadmio (CdSe).
1954	Los laboratorios Bell anuncian la invención de la primera célula solar práctica de silicio.
1955	Western Electric licencia tecnologías de célula solares comerciales.
1959	Hoffman Electronics crea una célula comercial con un 10% de eficiencia.
1960	Hoffman Electronics crea una célula con el 14% de eficiencia.
1962	El satélite Telstar es alimentado mediante células solares.
1963	Sharp Corporation produce un módulo fotovoltaico de silicio.
1967	La Soyuz 1 se convierte en la primera nave espacial tripulada en ser alimentada mediante células solares.
1973	El Skylab es alimentado por células solares.
1976	David Carlson y Christopher Wronski de los laboratorios RCA crean la primera célula de silicio amorfo.
1980	El Instituto de Conversión de Energía de la Universidad de Delaware desarrolla la primera célula solar de película delgada, que supera el 10% de eficacia.
1984	Se instala un tejado solar integrado (BIPV) en el Centro Intercultural de la Universidad de Georgetown.
1985	Se crean células solares con un 20% de eficiencia en el Centro para Ingeniería Fotovoltaica en la Universidad de Nueva Gales del sur.
1992	La Universidad de Florida del sur fabrica una célula de película delgada con un 15,89% de eficiencia.

Año	Hito
1993	Se establece el Laboratorio de Energía Renovable Nacional (NREL) en Estados Unidos.
1994	NREL desarrolla una célula de concentración de un 30% de eficiencia.
2006	El uso de células de polisilicio supera por primera vez al resto de tecnologías fotovoltaicas.
2011	SunPower comercializa el primer panel solar convencional que supera el 20% de eficiencia.
2012	Se desarrolla la primera célula fotovoltaica 3D.
2014	El Instituto Fraunhofer establece un nuevo récord al desarrollar una célula multi-unión que alcanza el 46% de eficiencia.

**Tabla 29:** Desarrollo de la tecnología solar fotovoltaica a través del tiempo; fuente, Singhal A., et al., (2019).

En relación a lo indicado anteriormente, el total de la energía generada por el Sol que se emite al espacio en forma de radiación electromagnética, se estima en unos  $3,8 \times 10^{20}$  MW y la media anual de radiación solar se estima (Simon F., 2017) en aproximadamente  $1.361 \text{ W/m}^2$ . La absorción ocurre mientras la radiación solar pasa a través de la atmósfera de la tierra, que en días claros permite disponer en la superficie de la tierra de unos  $1.000 \text{ W/m}^2$  como valor medio. Se trata de una importante cantidad de energía de radiación solar, que puede convertirse en energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías, ya sea a través de concentradores de energía solar térmica (CSP, por sus siglas en inglés), utilizados para calentar un fluido, producir vapor y mover una turbina generadora de electricidad, o en energía fotovoltaica que produce electricidad mediante paneles solares.

Los sistemas fotovoltaicos proporcionan un método de conversión de energía solar directamente en energía eléctrica en forma de corriente continua (CC). Las células fotovoltaicas se desarrollaron a mediados de la

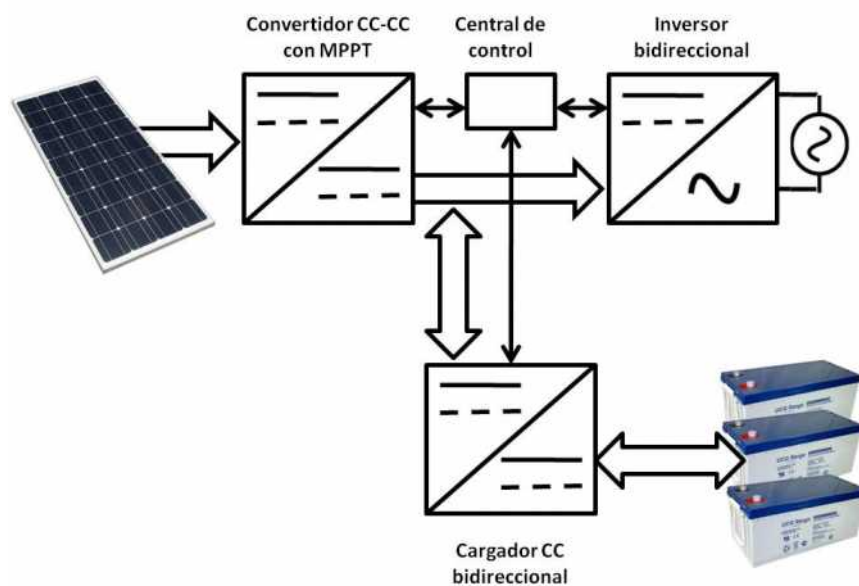
década de 1950 y se utilizaron ampliamente en el programa espacial de los Estados Unidos en las décadas de 1960 y 1970 (Patrick D., et al., 2006).

Hace unos años (Sumathi S., 2015) se indicaba que *“En 2010, entre la potencia total del mundo, la contribución de la energía solar fotovoltaica fue una pequeña fracción. Sin embargo, se observa un rápido crecimiento en la instalación de energía solar fotovoltaica y continuará aumentando en los próximos años. En un nuevo escenario, la generación de energía solar fotovoltaica en 2035 será más de 26 veces la de 2010, expandiéndose de 32 Twh a 846 Twh. La energía de la energía solar fotovoltaica instalada aumentará de 67 GW en 2011 a 600 GW en 2035, estimándose que se deba a la disminución de gastos y ayudas gubernamentales”*.

Estudios recientes ejemplifican la proyección de la generación de energías renovables, dado el aumento de la demanda mundial y la conciencia media ambiental que se produce en los gobiernos y los usuarios.

Teniendo presente que la conversión que tiene lugar en las células solares es energía directa del Sol transformada en energía eléctrica, se hace necesario contar con condiciones geográficas climáticas que permitan obtener el máximo de energía solar (Irradiancia) disponible, optimizando la generación de energía eléctrica. Para ello, los paneles solares fotovoltaicos tienen la capacidad de proporcionar una parte significativa de la energía requerida por los sistemas que lo requieran (Pimentel D., 2008), produciendo electricidad cuando la luz solar excita los electrones en las células. Debido a que el tamaño de la unidad es flexible y

adaptable, las células fotovoltaicas se pueden utilizar en diferentes lugares y configuraciones, pero, debido a que los sistemas de almacenamiento como las baterías no pueden conservar energía durante períodos prolongados, los sistemas fotovoltaicos requieren sistemas de respaldo convencionales.



**Gráfico 27:** Diagrama general de un sistema de recarga de vehículos eléctricos en modo integrado PV-Grid (fotovoltaico – red eléctrica); fuente; Bhatti A.R., et al., (2016).

Por otra parte, una integración entre la recarga de los VEs mediante energía solar fotovoltaica y la red eléctrica instalada es posible mediante la composición de equipos técnicos que posibiliten la coexistencia de ambas fuentes de energía, como muestra el gráfico anterior, el cual cuenta principalmente con inversores bidireccionales, cargadores bidireccionales, celdas fotovoltaicas, conexión a la red eléctrica instalada y convertidores de corriente continua (CC-CC) con MPPT (Maximum Power Point Tracker) que corresponde al seguimiento del punto de máxima potencia (Bhatti A.R., et al., 2016).

Existe interés, por parte de fabricantes de vehículos eléctricos, por contar

con paneles solares dispuestos en el mismo VE, de manera que éste se recargue cuando circule o esté aparcado y expuesto a la radiación solar<sup>148</sup>. En este sentido, el fabricante Hyundai ha equipado el modelo *Sonata Hybrid* con una estructura de paneles solares en el techo del vehículo, que pueden recargar entre el 30 y el 60% de la batería en un día.



**Imagen 84:** Hyundai Sonata Hybrid, con una estructura de paneles solares en el techo; fuente, [www.actualidadmotor.com](http://www.actualidadmotor.com)

Es del caso hacer presente que también se ha incursionado en equipar a diferentes medios de transporte con paneles solares y baterías, como es el caso del ferrocarril<sup>149</sup> de Byron Bay en Australia<sup>150</sup>, el cual data de 1949, siendo modificado con fines comerciales en 2017. Se caracteriza porque sus motores diésel fueron reemplazados por un motor eléctrico y paneles solares que alimentan sus baterías, contando además con un sistema de respaldo de 77 kWh. Esta iniciativa se suma a la de los Ferrocarriles Indios, cuya primera línea solar se ubica en la estación de Safdarjung en Delhi y, además al tren solar<sup>151</sup> de Reino Unido, el cual cuenta con paneles

<sup>148</sup> <https://www.adslzone.net/2019/08/06/hyundai-primer-coche-electrico-paneles-solares-cuanto-carga-un-dia/>

<sup>149</sup> <https://hipertextual.com/2020/01/primer-tren-solar-mundo>

<sup>150</sup> Recorrido de 3 kilómetros, conectando la ciudad de Byron Bay con su distrito de North Beach, con capacidad de 100 pasajeros.

<sup>151</sup> <https://www.ridingsunbeams.org/>

solares que no van integrados en los vagones ni en el propio tren, sino en los alrededores de las vías por las que pasa esta línea de ferrocarril, de manera que esta línea se desvincula de la red eléctrica inglesa y emplea únicamente la energía generada en sus propias instalaciones solares.



**Imagen 85:** Ferrocarril de Byron Bay, Australia, data de 1949, modificado en el año 2017, con la adición de un motor eléctrico que funciona con baterías y paneles solares, generando 6,6 kW; fuente, [www.hipertextual.com](http://www.hipertextual.com)

No obstante todo lo anterior, es necesario considerar que actualmente el precio de generación de energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos es de USD 0,1/kWh (IRENA, 2018), equivalente a 0,09 €/kWh. Conforme lo señala la *Agencia Internacional de Energías Renovables* (IRENA), el precio de generación ha decrecido un 73% y lo seguirá haciendo, según un análisis que considera que todas las energías renovables serán competitivas a partir del año 2020, ya que a modo de ejemplo, en el año 2004 el precio del kWh de energía generada mediante paneles solares era de USD 0,55/kWh (Muneer T., 2004), equivalente a 0,5 €/kWh.

Para el caso de esta opción, para calcular los costes de recarga de baterías mediante paneles solares, se utiliza la fórmula que a continuación se

indica.

$$C_{S_{ev}} = C_{S_{kWh}} E_s$$

**Ecuación 8**

Donde

$C_{S_{ev}}$  : Coste (USD y equivalencia en Euros) de la recarga completa de un sistema de baterías, mediante una estación de recarga solar fotovoltaica.

$C_{S_{kWh}}$  : Coste de 1 kWh proveniente de la estación de recarga solar fotovoltaica<sup>152</sup>.

$E_s$  : Cantidad de energía suministrada por la estación de recarga solar fotovoltaica, para la completa recarga del sistema de baterías.

$$C_{S_{ev}} = C_{S_{kWh}} E_s = \frac{USD\ 0,1}{kWh} 36\ kWh = USD\ 3,6 \quad 3,28\ €$$

Considerando una distancia de 150 km para un vehículo que circula en un área urbana, en carretera y fuera de ésta, y que para ello requiere de 36 kWh, se estima un coste de USD 3,6/150 km, es decir **USD 0,24/km ( 0,22 €/km)** para dicho recorrido en el VE con recarga solar.

Es importante señalar que en una primera aproximación, los costes de la recarga solar son menores para el caso de los combustibles fósiles, por lo que es necesario considerar que desde una perspectiva técnica, es

---

<sup>152</sup> <https://www.energias-renovables.com/panorama/los-costes-de-la-energia-solar-fotovoltaica-20180115>.



recomendable promover las tecnologías que permitan efectuar la gestión de la eventual intermitencia en la generación de energía eléctrica mediante recarga solar fotovoltaica (Olmedo J., 2016).

**c. Beneficios medioambientales:** Se analizan los beneficios medioambientales de los vehículos en diferentes modelos experimentales comparando; un vehículo de gasolina tradicional (SCI) con un VE (movilidad eléctrica), para ello se comparan las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**1) Modelo SCI:** El nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> (valores medios) emitido por la combustión de la gasolina es de 2,38 kg/lt. Para hacer una comparación con respecto a las emisiones del motor eléctrico, se evaluaron 150 km, correspondientes al rango de uso esperado de un vehículo arquetipo<sup>153</sup>, como se detalla.

$$E_{co2} = E_c L_{km}$$

**Ecuación 9**

Donde

$E_{co2}$ : Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg).

$E_c$ : Emisiones por litro (kg/lt).

$L_{km}$ : Litros por 150 km (lt) = 23,91 litros.

$$E_{co2} = E_c L_{km} = 2,38 \frac{kg}{lt} \cdot 23,91 \frac{lt}{150 km} = 56,92 kg$$

Se obtiene que un motor de combustión interna (SCI) emite **56,92 kg**

<sup>153</sup> Vehículo a ruedas, destinado al transporte de tropas, 4.000 cc, gasolina.

de CO<sub>2</sub> por cada 150 km recorridos, de manera teórica.

2) **Modelo VE.** Para el modelo VE se realizaron dos análisis; el primero consiste en determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> cuando la batería se recarga desde la red eléctrica y el segundo, cuando la batería se recarga desde la estación solar fotovoltaica.

a) **Carga en la red.**

$$Eg_{co2} = E_c L_{km}$$

**Ecuación 10**

Donde

$Eg_{co2}$ : Emisiones de CO<sub>2</sub> de la red eléctrica<sup>154</sup> (kg) = 0, 4 kg/kWh.

$E_c$ : Emisiones de la red eléctrica por kWh (kg/kWh).

$L_{km}$ : kWh para recargar el sistema de almacenamiento de energía, para recorrer al menos 150 km (kWh).

$$Eg_{co2} = E_c L_{km} = 0.4 \frac{kg}{Kwh} 36 Kwh = 14.4 kg$$

Así, las emisiones de un VE completamente cargado mediante la red eléctrica nacional, asciende a **14,4 kg** de CO<sub>2</sub> por 150 km.

b) **Estación solar de carga.**

---

<sup>154</sup> ONU, La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI, <https://unchronicle.un.org/es/article/la-promesa-de-la-energ-solar-estrategia-energ-tica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en>

$$ES_{co2} = E_c \quad LS_{km}$$

**Ecuación 11**

Donde

**$ES_{co2}$ :** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> a través de una estación de recarga solar (kg), en función de la necesidad de energía de un sistema de baterías.

**$ES_c$ :** Emisiones de la estación<sup>155</sup> de recarga solar por kWh (kg/kWh) = 0,032 kg/kWh.

**$LS_{km}$ :** kWh para recargar el sistema de almacenamiento de energía, para recorrer al menos 150 km (kWh).

Entonces

$$ES_{co2} = ES_c \quad LS_{km} = 0,032 \frac{kg}{kWh} \quad 36 kWh = 1,152 kg$$

Las emisiones de un VE completamente cargado mediante la estación de recarga solar, asciende a **1,15 kg** de CO<sub>2</sub> por 150 km.

- d. Comparación:** La siguiente tabla muestra un resumen del coste por kilómetro y las emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de tecnología. Se observa que el coste por kilómetro del VE es menor en comparación con un SCI. Desde una perspectiva económica y ambiental, a priori podríamos

<sup>155</sup> ONU, La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI, <https://unchronicle.un.org/es/article/la-promesa-de-la-energ-solar-estrategia-energ-tica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en>

concluir que parece *conveniente usar un vehículo eléctrico en lugar de un vehículo convencional SCI*.

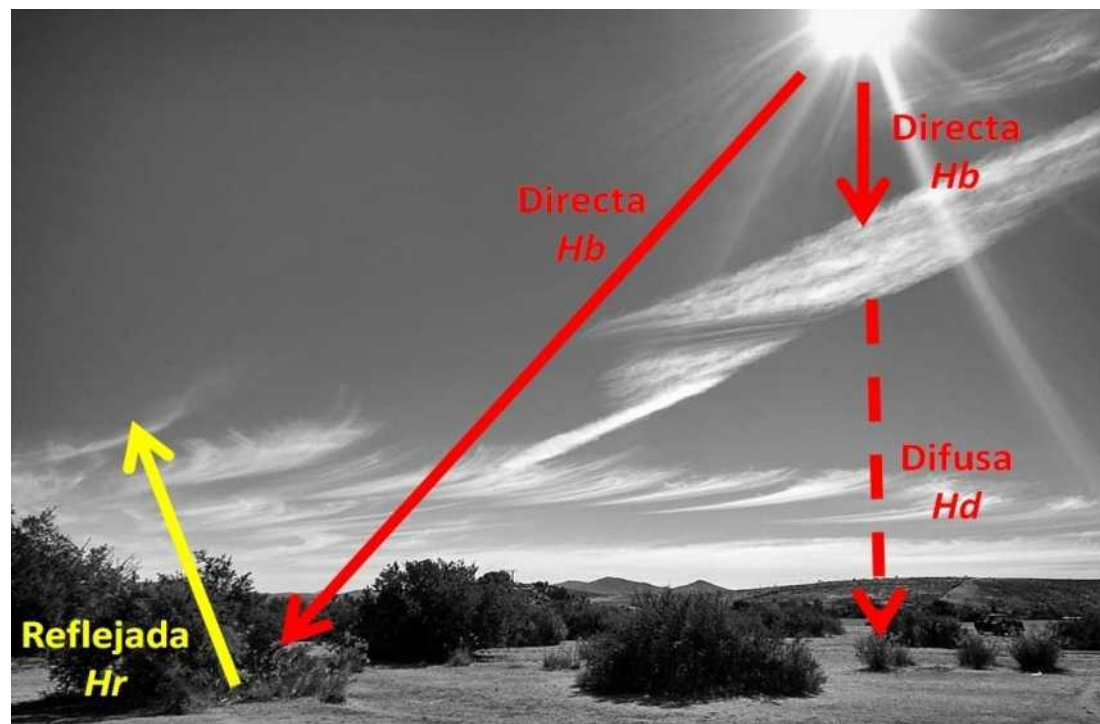
Tecnología	Coste de circulación por kilómetro	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/km)
SCI	0,189 (USD/km)	2,380
	0,172 (€km)	
VE (Carga a través de la red eléctrica)	0,038 (USD/km)	0,096
	0,035 (€km)	
VE (Carga a través de una estación solar fotovoltaica)	0,024 (USD/km)	0,008
	0,022 (€km)	

**Tabla 30:** Coste de circulación por kilómetro y emisiones de CO<sub>2</sub>, por tipo de tecnología; fuente, Roberts C., (2020).

- 1) Análisis de resultados: Teniendo en cuenta la tabla anterior, la tecnología que tiene un precio menor es la de un *VE cargado mediante una estación de energía solar fotovoltaica*.
  - 2) Es importante tener presente que esta tecnología es la que genera menos emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que desde un punto de vista económico y medioambiental, resulta más conveniente.
- e. **Radiación solar en la zona norte de Chile:** El aporte energético de la radiación solar en la superficie de la tierra es una variable física de gran interés en muchas áreas, ya que es con mucho, la fuente de energía más importante para la vida en la tierra (Simon F., 2017). Si bien es posible pensar que las mejores ubicaciones para la generación de energía solar fotovoltaica están en la zona ecuatorial, hay varios lugares templados donde la energía solar anual promedio es cercana a la que se obtiene en las zonas ecuatoriales (Michaelides E., 2012). Estas ubicaciones se encuentran cercanas a los trópicos de Cáncer y Capricornio, como sería el

caso de México, Estados Unidos, África, Australia, Argentina y Chile, en especial las zonas con baja nubosidad y escasas precipitaciones.

La radiación solar que incide en la tierra consta de 3 elementos: la “Radiación directa”, la “Radiación difusa” y la “Radiación reflejada”, como se detalla en la imagen siguiente.



**Imagen 86:** Representación de la radiación solar; fuente, Simon F., (2017).

La radiación solar de haz directo ( $H_b$ ) es la parte directa de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra sin ser dispersada o absorbida por la atmósfera. La radiación difusa ( $H_d$ ) es la radiación dispersa que se supone que llega a la Tierra, usualmente a través de la nubosidad existente. La radiación reflejada ( $H_r$ ) es aquella resultante del reflejo en superficies y/o el suelo. Por ello. La radiación aprovechable por los paneles solares fotovoltaicos, estará definido por la siguiente ecuación.

$$H = H_b + H_d$$

## Ecuación 12

La zona norte de Chile, desde la perspectiva de la radiación solar, cuenta con condiciones privilegiadas, por su aridez y ausencia de nubosidad, por lo que la viabilidad de una estación de recarga solar desplegable se acrecienta, dadas las condiciones climáticas y la disponibilidad de la radiación solar. Estas características no son exclusivas para el norte de Chile, de hecho, desde el año 2014 se comienzan a desarrollar importantes proyectos y estudios asociados a plantas generadoras de energía eléctrica para uso comercial en diferentes partes del país, en la zona sur, del tipo hidroeléctrica (aprovechando las condiciones de disponibilidad de recursos hídricos) y en el norte a base de CSP-TES (*Concentrated Solar Power - Thermal Energy Storage*), que consisten en la concentración de radiación solar mediante espejos (imagen siguiente), para calentar depósitos con fluidos que generan el vapor que mueve una turbina (Mena R., et al., 2019) y, por otro lado, plantas de generación de energía solar fotovoltaica, tales como las que se indican en las imágenes siguientes.



**Imagen 87:** Planta de concentración solar y de almacenamiento termal (CSP-TES) “Cerro Dominador”; fuente, [www.pv-magazine-latam.com](http://www.pv-magazine-latam.com)



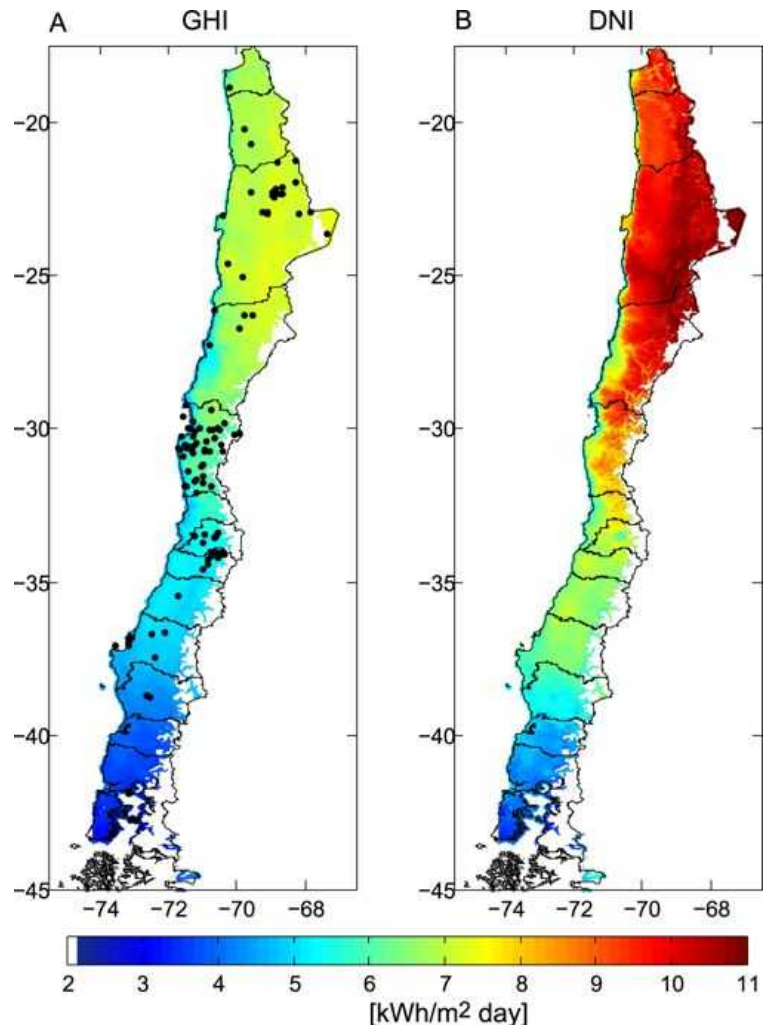
**Imagen 88:** Parque solar “*Los Aromos*”, genera 115 MW, ubicado en la región metropolitana (30 km de la ciudad de Santiago),  $33^{\circ}05'05''\text{S}$   $70^{\circ}51'27''\text{W}$ ; fuente, Google Earth.



**Imagen 89:** Planta fotovoltaica “*El Romero*”, genera 196 MW, la mayor de Latinoamérica, ubicada en el desierto de Atacama,  $29^{\circ}06'09''\text{S}$   $70^{\circ}55'36''\text{W}$ ; fuente, Google Earth.

Teniendo en cuenta que el autor considera que el prototipo de VE se utilice en la zona norte de Chile, la recarga de su sistema de almacenamiento de energía es dependiente de la radiación solar en esa área y de su disponibilidad. Para los cálculos se tendrán en cuenta los resultados del estudio denominado “*A solar radiation database for Chile*” (Molina A., et al., 2017), que con los datos medidos de *Global Horizontal Irradiance* (GHI) y *Direct Normal Irradiance* (DNI), recopilados de 140 estaciones administradas por el Gobierno de Chile y empresas privadas, evidencian una alta concentración de radiación solar entre Arica y Copiapó, según la siguiente representación geográfica (Molina A., et al.,

2017), con una disponibilidad estimada entre 9 y 11 kWh/m<sup>2</sup> durante el día.



**Imagen 90:** Irradiancia solar en Chile; fuente, Molina A., et al., (2017).

Considerando la radiación solar disponible, se aprecia que el despliegue y uso de la estación de recarga en la zona norte de Chile (latitudes al norte de 27°S), podría ser suministrada con una radiación media de estimada de **10,5 kWh/m<sup>2</sup>** por día.

- f. **Estación solar de recarga de baterías:** El uso de un prototipo de VE debe realizarse en diferentes ambientes y tipo de firmes, ya sea dentro o fuera de la carretera. Por ello, depender de una única estación fija de



recarga (red eléctrica general) del sistema de almacenamiento de diferentes puntos fijos de recarga, no sería una solución apropiada. Es por lo que consideramos que una o más estaciones desplegadas serían mejor solución para satisfacer esta necesidad o en el mejor de los casos una combinación de éstas. Estas estaciones desplegadas podrían estar compuestas de vehículos que transporten baterías previamente cargadas, como lo ilustra la siguiente imagen, y que presenta un prototipo desarrollado por la empresa alemana<sup>156</sup> ADS-TEC, consistente en una unidad móvil (remolcada) para vehículos eléctricos, con capacidad de recargar hasta 10 VEs de manera simultánea, con una potencia suficiente para 33 vehículos, hasta agotar su reserva de energía.



**Imagen 91:** Estación de recarga de VEs desplegadas, prototipo de la empresa alemana ADS-TEC; fuente, [www.ads-tec.de](http://www.ads-tec.de)

Si bien el prototipo indicado en la imagen anterior podría satisfacer la demanda de recarga para VEs desplegados en terreno, este equipamiento depende de una red eléctrica general para la recarga de su sistema de almacenamiento, lo que implica rigidez y dependencia de un medio externo, sin contar con que la producción de dicha energía eléctrica implicará la generación de CO<sub>2</sub> según las características del mix energético utilizado.

Dada esta perspectiva, dado que los medios de transporte militar requieren

---

<sup>156</sup> <https://www.ads-tec.de/energy-storage/industrial-infrastructure/mobile-high-power-charger/beschreibung.html>

flexibilidad e independencia, una solución plausible puede ser a través de una estación desplegable de carga, que cuente con paneles solares y reguladores de carga, junto con paquetes de reemplazo de baterías cargadas, como solución para optimizar los tiempos (Girard A., et al., 2019). En este sentido, la utilización de una estación móvil de recarga solar de baterías, permitiría orientar a voluntad los paneles, accediendo a la mayor irradiancia solar en orientación norte, desde el este al oeste (orientación óptima para el hemisferio sur), que corresponde a la dirección de movimiento aparente del Sol.

Considerando que la generación intermitente de electricidad, derivada de factores climáticos (nubosidad alta) y de la alternancia entre el día y la noche, exige dotar de características móviles a la estación de recarga, lo que aporta flexibilidad y adaptación al sistema, pero que se ve limitado por las capacidades del vehículo portador de los paneles fotovoltaicos. Estas condiciones son muy importantes a tener presente en el proceso de generación de energía, ya que ante la eventualidad de intermitencia por factores climáticos o situaciones no previstas que no permitan generar la recarga eléctrica, lo que entrega poca confianza en el sistema y provoca una mayor dependencia de la red eléctrica, en cierta medida sería conveniente contar con sistemas de respaldo (baterías adicionales previamente cargadas), lo que entrega un factor robusto para confiar en el VE.



**Imagen 92:** Microplanta de generación de energía fotovoltaica de despliegue rápido de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América; fuente, NATO (2015).



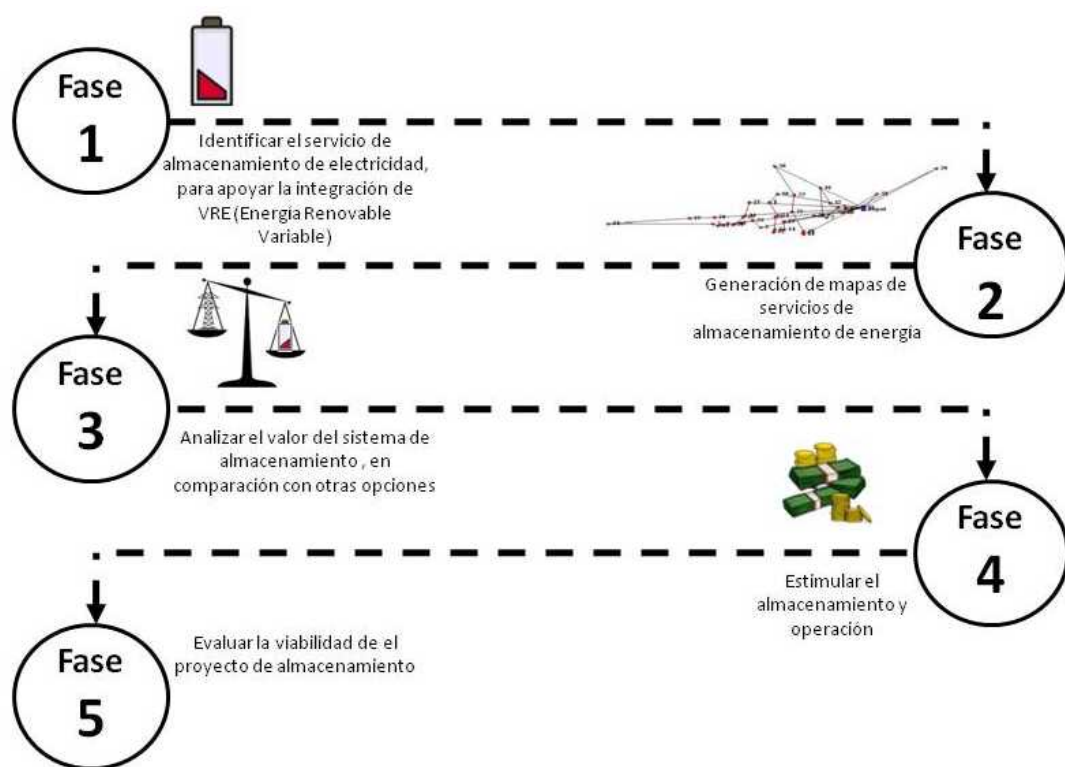
**Imagen 93:** Paneles solares fotovoltaicos, flexibles y desplegables “Roll Array”; fuente [www.industrytap.com](http://www.industrytap.com)



**Imagen 94:** Paneles solares fotovoltaicos, desplegables y flexibles, fuente, [www.renovagen.com](http://www.renovagen.com)

Esta tipo de instalaciones móviles de provisión de energía eléctrica, pueden ser visualizadas y valoradas a través de la modelación de 5 fases

propuesta por *International Renewable Energy Agency* (IRENA) conocido como *Electricity Storage Valuation Framework* (ESVF), que propone un análisis comparativo para la implementación y puesta en valor de sistemas de almacenamiento de Energía Renovable Variable (VRE; *Variable Renewable Energy*), como es considerada la energía solar fotovoltaica (IRENA, 2020). Estas cinco fases constan de una secuencia lógica que identifica fuentes, genera mapas de posición, compara alternativas, estimula la operación y evalúa viabilidad, como lo señala el gráfico siguiente.

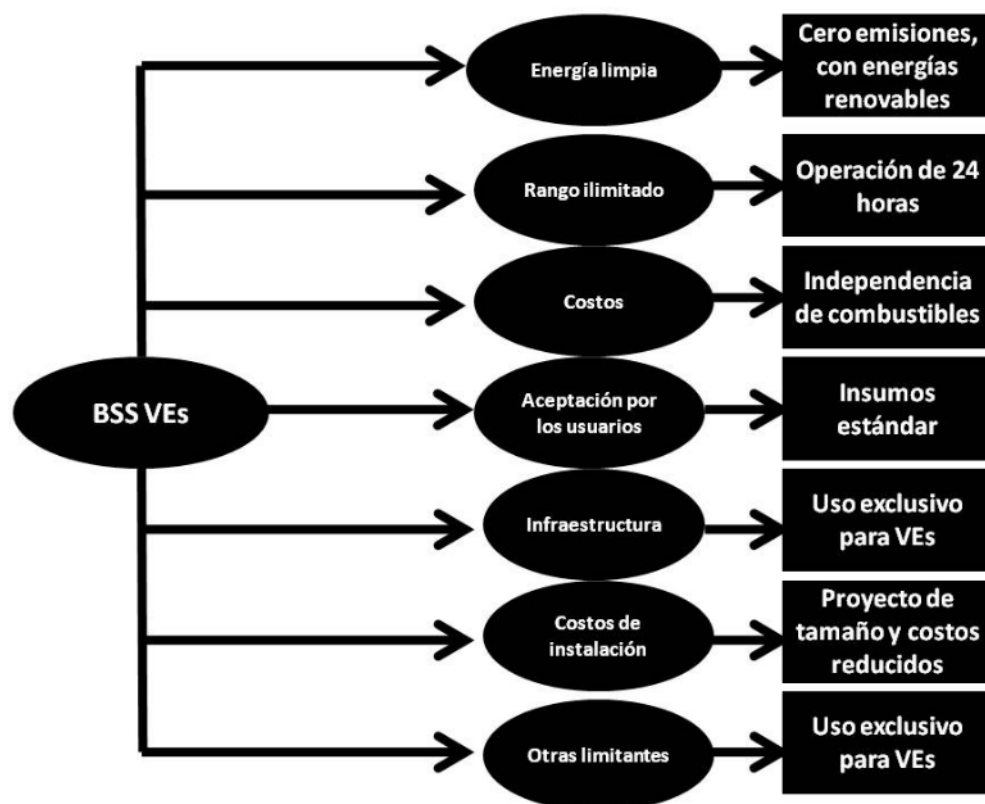


**Gráfico 28:** Modelo de 5 fases para el “Marco de valoración para el almacenamiento de electricidad” (Electricity Storage Valuation Framework); fuente, IRENA (2020).

Desde este punto de vista, una planta solar fotovoltaica con capacidad de despliegue, tiene menos capacidad de generación de energía que una planta fija, dado que estará limitada por su tamaño, peso y fragilidad de

los paneles y las capacidades de los medios de transporte que la trasladan. No obstante, y bajo una mirada táctica, su alta movilidad otorga una sustancial ventaja, que permite a los usuarios el incremento de su alcance y uso en diferentes terrenos y escenarios, sin dejar de considerar que los medios de transporte cuentan con el uso subsidiario de “*Apoyo a la comunidad en caso de desastre*”, lo que se ha visto en diferentes partes del mundo, con el despliegue de medios militares en tareas de control, entrega de alimentos y seguridad a las personas, producto de la pandemia mundial que produjo el COVID-19.

Junto con las ventajas tácticas y sociales que puede otorgar una estación desplegable de recarga fotovoltaica, ésta puede aumentar sus capacidades mediante la provisión de servicios adicionales, tales como los de **BSS** (*Battery Switch Station*). Se trata de un sistema que aprovecha las instalaciones en los momentos en que no está abasteciendo un VE, recarga baterías de recambio, pudiendo suministrarlas en condición de suplemento o reemplazo para los VEs que lo requieran (Houssein Kanj, 2019). Este sistema proporciona un modelo que puede superar las barreras desde la perspectiva del usuario, en relación con los **tiempos de recarga de las baterías** o con el **aumento de la autonomía de los VEs**, toda vez que al cambiar la batería podemos evitar la ansiedad en las personas en relación con el límite de distancia recorrida y de esta manera viajar a larga distancia será más fácil, sin la necesidad de parar varias veces para recargar. El gráfico siguiente explica cómo el modelo BSS puede superar las barreras que existen en el uso de los VEs, tanto desde la perspectiva de los usuarios como de las partes interesadas.



**Gráfico 29:** Modelo de solución “*Battery Switch Station*”; fuente, Houssein Kanj (2019).

En lugar de cargar la batería, reemplazarla en la estación de conmutación por una completamente cargada, reducirá la mayor problemática en la adopción de vehículos eléctricos, que son los tiempos de espera en la recarga de energía.

- g. Paneles solares y reguladores de carga:** Debido a las características y lugares de uso, será necesario contar con paneles solares resistentes y flexibles, de bajo peso y alto rendimiento. Además será necesario contar con reguladores de recarga eficientes, que permitan controlar el sistema de baterías en el menor tiempo posible, administrando la energía entregada por los paneles de manera adecuada.

- 1) Paneles solares:** Las células fotovoltaicas para producción de

energía eléctrica varían en eficiencia, rendimiento y precio, existiendo células de silicio, cuyo precio es inferior a las mono cristalinas, pero que tienen una menor eficiencia (IEA, 2009), generando (en determinadas condiciones de radiación) alrededor de 0,5 kWh/m<sup>2</sup>/día en comparación con las células mono cristalinas que producen alrededor del doble de esa energía. Asimismo, el mercado dispone de paneles comerciales rígidos o flexibles, caracterizándose los primeros por su robustez y mayor volumen y los segundos más ligeros y de forma adaptable.

Teniendo presente que una o varias estaciones desplegadas de recarga de eléctrica mediante energía fotovoltaica serían apropiadas para satisfacer la necesidad de movimiento del vehículo, los *paneles solares flexibles* son adecuados para esta función, ya que son resistentes y eficientes. La siguiente figura muestra uno de estos paneles, junto con las características de los mismos.



Tipo	: Panel solar flexible.
Potencia máxima	: 100 W.
Voltaje máximo	: 16V.
Amperes hora	: 6,25 Ah
Voltaje circuito abierto (Voc):	19,4V
Largo	: 105 cms.
Ancho	: 55 cms.
Superficie	: 0,578 m <sup>2</sup> .
Peso	: 4 Kg.
Precio (USA)	: USD 130 118 €

**Imagen 95:** Panel solar fotovoltaico flexible; fuente, [www.e.anvas.info](http://www.e.anvas.info)

- 2) **Regulador de recarga de baterías, mediante paneles solares:** Por otro lado, será necesario contar con un sistema que gestione la energía suministrada por los paneles solares. Esto se logra con un

regulador de carga, que se muestra en la siguiente figura, junto con sus características.



Tipo : Regulador de recarga de baterías, mediante paneles solares.  
Voltaje nominal: 12V.  
Tamaño : 133 x 70 x 34 mm  
Precio (USA) : USD 10 9,1 €

**Imagen 96:** Regulador de recarga de baterías, mediante paneles solares; fuente, [www.damiasolar.com](http://www.damiasolar.com)

Dado que el presente estudio determinó que la necesidad de suministro de energía es de al menos 36 kWh, y conforme con las características de los reguladores, la administración de la recarga puede ser a través de una configuración de **8 paneles solares**, un regulador y el sistema de baterías en el proceso de carga, como muestra el esquema siguiente.



**Imagen 97:** Esquema de conexión de 8 paneles solares fotovoltaicos, para un sistema de recarga de baterías administrado mediante un regulador; fuente, Roberts C., (2020).



Para el caso de la configuración anterior, con los datos que se indican y la formulación siguiente, el cálculo del tiempo de recarga del sistema de baterías es el que se detalla a continuación.

Donde

- Irradiancia solar promedio en zona norte de Chile: **10 kWh/m<sup>2</sup>** por día.
- Luz solar disponible por día (verano en Chile): 12 horas.
- Irradiancia por hora de luz solar: **0,875 kWh/m<sup>2</sup>**
- Voltaje sistema de baterías (configuración en serie/paralelo): 72V.
- Capacidad del sistema de baterías: 180 Ah.

Datos del sistema de paneles

- Potencia máxima de cada panel: 100 W.
- Potencia combinada de 8 paneles: 800 W.
- Superficie de un panel: 0,578 m<sup>2</sup>
- Superficie combinada de 8 paneles: 4,62 m<sup>2</sup>

$$P = v \ i$$

**Ecuación 13**

Entonces

$$800W = 12 * i$$

$$I = 800/12 = 66,66 \text{ Ah}$$

Considerando una configuración de baterías en serie/paralelo con 72V y una capacidad de 180 Ah, el sistema de paneles solares tardaría *2 horas y 42 minutos en cargarse totalmente* (condiciones climáticas ideales), lo que se estima un tiempo prudente y aceptable, ya que se podría clasificar en la categoría de “*Carga intermedia a través de la red disponible en la vía pública*”, la cual puede generar cargas completas entre 3 a 5 horas.

Independientemente de lo señalado en el párrafo precedente, se considera la fórmula del “*Valor social del tiempo en proyectos de transporte*” (Contreras E., 2004), ya que dicho factor (tiempo) es una variable crucial en los proyectos de transporte, generando una relevante valoración por parte de los usuarios cuando se produce un ahorro de éste. Considerando el enfoque del tiempo como recurso, se tiene que el beneficio por ahorro de tiempo se mide como lo indica la ecuación siguiente.

$$T = VT \left( \sum Xi^0 Ti^0 - \sum Xi^1 Ti^1 \right)$$

**Ecuación 14**

Donde

**VT** : Valor Social del Tiempo.

**$Xi^j$**  : Número de usuarios en el modo  $i$  en el estado  $j$ ; ( $j = 1$  con proyecto y  $j = 0$  sin proyecto).

$T_i^j$  : Tiempo de viaje en el modo  $i$  y en el estado  $j$ .

En este enfoque, se tiene que el *Beneficio Social* por el ahorro de tiempo, está dado por la siguiente expresión.

$$BT = VST \sum X_i^p (T_i^0 - T_i^1)$$

Ecuación 15

Donde

**BT** : Beneficio social por ahorro de tiempo.

**VST** : Valor Subjetivo del tiempo o (para un individuo).

**$X_i^p$**  : Número de individuos en el modo  $i$  en promedio entre los estados 0 y 1.

Por otra parte, el Valor Subjetivo del Tiempo (del usuario) se obtiene con la siguiente expresión.

$$VST = \frac{\left( \frac{\delta U_i}{\delta t_i} \right)}{\left( \frac{\delta U_i}{\delta C_i} \right)}$$

Ecuación 16

Donde

**VST** : Valor Subjetivo del Tiempo.

**$U_i/ t_i$**  : Utilidad marginal del tiempo.

**$U_i/ C_i$**  : Utilidad marginal del ingreso.

Dada las expresiones anteriores y desde la perspectiva de los usuarios de

los VEs militares, éstos no se encuentran sujetos a la restricción presupuestaria y se presume que los individuos son idénticos en sus funciones de utilidad (independiente del grado y jerarquía) y que comúnmente en el caso de modelos de transporte, se desagrega el *VST* en el tiempo “*Fuera de las horas del servicio*”<sup>157</sup> y durante horas del servicio, el cual se percibe como el tiempo productivo, mientras el *VST* fuera de las horas del servicio se perciben como un porcentaje inferior, dado que son tiempos dedicados al ocio. Independientemente de ello, en el caso de empleo de medios militares para actividades de Defensa, entrenamiento o apoyo a la comunidad, la disponibilidad de los usuarios de los VEs (militares) será de 24 horas al día los 7 días de la semana, por lo que se tendrá que el *Valor Subjetivo del Tiempo* (*VST*) de la expresión anterior coincidirá con el *Valor Social del Tiempo* (*VT*).

Para calcular el *VT* que se asocia al proceso de recarga de las baterías en el terreno (*VT* supuesto igual al *VST*), se considera el tiempo previamente computado de **2 horas y 42 minutos** y, por otra parte, un sueldo mensual estimado de **1.500€** de cada uno de los 4 integrantes del VE que será cargado por la “*Estación solar fotovoltaica desplegable*”, se considera la fórmula siguiente.

$$VT = PP \cdot VTP \cdot n + PC \cdot VTN \cdot n$$

**Ecuación 17**

Donde

**VT** : Valor Social del Tiempo.

<sup>157</sup> Las “*Horas del servicio*”, corresponden a horarios laborales en el Cuartel para los militares, usualmente se asocian a lapsos comprendidos de lunes a viernes, de 08:00 a 17:00 horas, los que en caso de movilización, se extienden hasta que se cumpla la misión respectiva.

- PP** : Porcentaje de individuos que participan por motivos del servicio (4 personas, 100% de ellos participan).
- n** : Cantidad de usuarios que participan.
- VTP** : Valor del tiempo productivo (9,4 € considerando un sueldo mensual de 1.500 €, 20 días hábiles al mes, 8 horas por día de servicio).
- PC** : Porcentaje de personas que viajan por motivos diferentes a los del servicio (0 para este caso).
- VTN** : Valor del Tiempo Normal<sup>158</sup> (43% del VTP = 4€).

Finalmente, el *Valor Social del Tiempo* (VT), asociado a la espera de los 4 usuarios del VE, durante las **2 horas y 42 minutos** mientras se produce la recarga de las baterías en una “*Estación solar fotovoltaica desplegable*”, suma un total de **37,5 €**. Este valor puede disminuir mediante la modalidad **BSS** señalada en el punto “*Estación solar de recarga de baterías*” anterior, y que constituye una opción viable al reemplazar los sistemas de almacenamiento de energía agotados por unos completamente cargados, siempre y cuando sean totalmente compatibles entre sí, en tamaño, forma y capacidades.

- h. Impacto ambiental de una estación solar fotovoltaica desplegable:**  
Debido a que la generación de energía eléctrica de una estación solar está casi libre de emisiones de CO<sub>2</sub>, el impacto ambiental de la misma en la fase de explotación, se deberá al impacto ambiental del vehículo portador del sistema y las actividades humanas asociadas, por lo que para efectos

---

<sup>158</sup> VTN=43% del VTP; fuente, (Contreras E., 2004).

del presente estudio, estos factores no se consideran.

Es importante tener en cuenta que la incorporación a gran escala de este tipo de sistemas desplegados de carga, necesariamente obligará a calcular los impactos medioambientales de una flota de vehículos portadores, en el caso de que éstos estén dotados de motores de combustión interna.

- i. Efectos de la temperatura ambiental en los paneles solares:** La temperatura afecta el rendimiento de los paneles solares, por lo que es necesario calcular la pérdida producida, de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$T_c = T_a + G \frac{TONC - 20}{1,5}$$

**Ecuación 18**

Donde

**$T_c$**  : Temperatura de trabajo de la celda (°C).

**$T_a$**  : Temperatura ambiental (°C).

**$TONC$**  : Temperatura de Operación Nominal de la Celda (°C).

**$G$**  : Irradiancia solar ( $W/m^2$ ).

Para éstos efectos, se utilizan los parámetros que a continuación se indican.

- **Irradiancia ( $G$ );** 9 a 11  $kWh/m^2$  para la zona norte de Chile.
- **TONC;** 43°C de temperatura en la celda (aproximadamente la

temperatura de la celda es 25°C sobre la temperatura ambiente, considerando un promedio de 18°C en la zona norte de Chile).

- **1,5 AM Distribución Espectral**, correspondiendo a la radiación solar que puede ser convertida en energía solar fotovoltaica, la irradiancia representa aproximadamente el 75% del total.
- **Voc coeficiente de temperatura**, porcentaje de pérdida de voltaje en el circuito, por cada grado centígrado de diferencia entre la temperatura ambiente referencial de 25°C y la temperatura de operación de las celdas, normalmente entre -0,33 y -0,34%/°C.
- **Vmp coeficiente de temperatura**, porcentaje de la máxima pérdida de potencia por cada grado de diferencia entre la temperatura ambiente de referencia de 25°C y la temperatura de funcionamiento de las celdas, normalmente entre -0,36 y -0,39%/°C.

Utilizando los parámetros anteriores y aplicando la **ecuación 18**, la temperatura de trabajo de las celdas solares fotovoltaicas resulta ser de **106,62°C**.

Dado que los paneles solares tienen un coeficiente de temperatura Vmp de menos (-) 0,34%/°C y un Voc de 19,4V, la caída de voltaje de cada volt de Voc, es como se detalla.

$$\mathbf{-0,34\% * 18^{\circ}\text{C} = \mathbf{-0,0612V}}$$

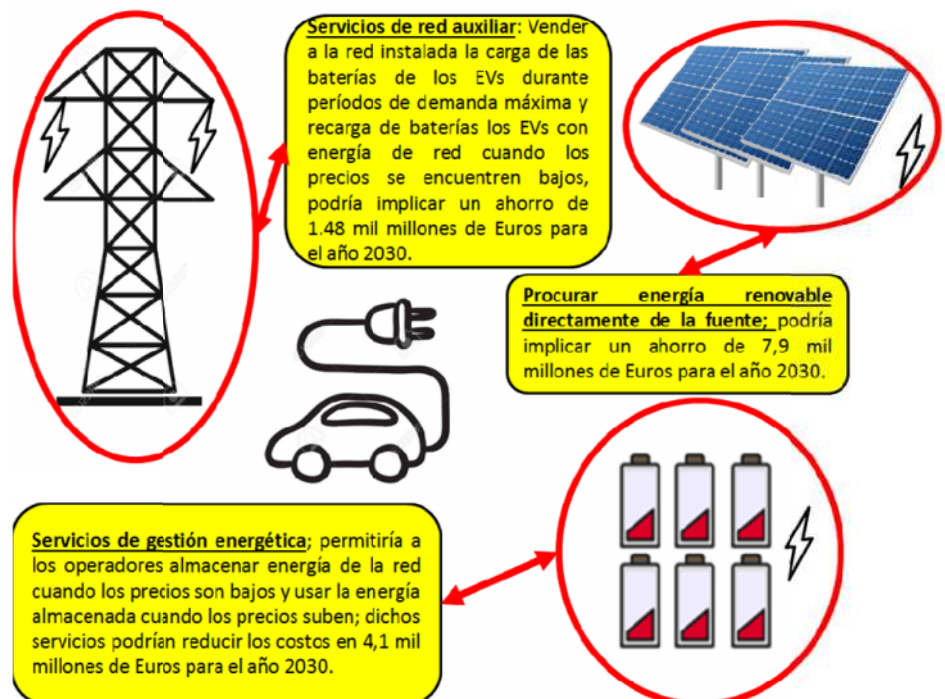
La caída total de Voc corresponderá a una reducción de voltaje nominal de menos (-) 1,187V, por lo tanto, con una temperatura exterior de 18°C, el Voc del panel solar sería 18,21V y si la temperatura aumenta a 30°C, el

Voc del panel solar sería 17,42V. Es evidente que un aumento en la temperatura ambiente afectará la corriente suministrada por los paneles solares, reduciéndola de manera significativa, lo que retardará la recarga de un sistema de baterías, pero no la interrumpirá.

### **2.5.9. Posibilidades futuras.**

Además de todo lo anterior, existen posibles alternativas futuras para el uso/conservación y/o almacenamiento de energía vinculadas a la recarga de VEs, como señalan estudios recientes (Bland R., et al., 2020), en el sentido de que *“A medida que más personas y organizaciones adquieren VEs, las empresas tendrán posibilidades de aumentar sus ingresos no solo por vender más electricidad e infraestructura de recarga de energía, sino también por brindar servicios que respalden la recarga de VEs...”*, esto podría llegar a generar en los Estados Unidos, a través del mercado de servicios de recarga de flotas de VEs, un volumen de negocio 15 mil millones de dólares en el año 2030 (13,84 mil millones de Euros), mediante la aplicación de estrategias vinculadas con el aprovechamiento de la capacidad de almacenaje (baterías) de los VEs, inyectando energía a la red cuando el precio de ésta sea mayor que el coste de producción y por otra parte, almacenando electricidad cuando los precios estén por debajo del mismo, tal y como se ilustra en el gráfico siguiente.





**Gráfico 30:** Esquema estimado de gestión energética de VEs para el año 2030; fuente, Mc Kinsey & Company (Bland R., et al., 2020).

Este esquema, que podría estar en funcionamiento para la década del 2030 según Mc Kinsey & Company, asume para ese año la adopción generalizada de VEs, a través de flotas comerciales y de pasajeros en los Estados Unidos, por un total de 8 millones de unidades. El aumento provocado en la demanda de energía eléctrica, permite generar oportunidades de negocio, aprovechando la energía almacenada, la cual podría ser útil ante las variaciones de precio la energía de la red eléctrica. Esto podría ser factible bajo las consideraciones siguientes.

- **Ofrecer servicios de gestión energética:** Disponer de baterías a escala comercial, que permitirían a las flotas y operadores de VEs, almacenar energía durante las horas de menor consumo en la red y usar la potencia acumulada para recargar los VEs cuando los precios de la electricidad son más altos.

- **Prestación de servicios de red auxiliar:** Proporcionar parcialmente la energía almacenada en las baterías de los VEs a la red eléctrica, durante períodos de demanda máxima, disminuyendo las cargas máximas en la red y posibilitando que los propietarios de vehículos capitalicen los altos precios de la electricidad.
- **Procurar energía renovable directamente de la fuente:** Mediante la recarga directa desde surtidores de energía basados en fuentes renovables.

## **2.6. Los vehículos militares y el impacto en la contaminación**

Al analizar la viabilidad de la transformación de un vehículo militar todo terreno, dotado de un motor de combustión interna (SCI), que se utiliza principalmente para el transporte de tropas, es requisito que previo a la incorporación de vehículos eléctricos a una flota determinada (GEOTAB, 2018), es importante tener claro las opciones disponibles y responder las siguientes cuestiones asociadas a la actual flota de SCIs; *¿Cuál es el recorrido máximo que hace el vehículo?, ¿Cuál es su autonomía?, ¿Cuáles son los costes de funcionamiento del SCI?, ¿Dónde y con qué frecuencia se realizan los mantenimientos? y ¿Dónde se aparca el vehículo cuando no se utiliza y durante cuánto tiempo?*, las respuestas a estas cuestiones permitirá conocer los requisitos exigidos al nuevo VE.

La transformación de un vehículo de combustión interna (SCI) a un vehículo eléctrico (VE) implica la integración de nuevos sistemas en un vehículo en uso y con una vida útil remanente. El cambio lleva a sincronizar diferentes técnicas y esfuerzos, en la búsqueda de una solución viable que permita minimizar el impacto medioambiental debido a las emisiones contaminantes de los vehículos motorizados SCI.

### **2.6.1. Ciclo de vida.**

Respecto de la tasa de utilización de cada vehículo militar, no se dispone de un

ciclo de vida estimado para cada activo, toda vez que su uso es derivado de actividades de entrenamiento programado y aquellas que se relacionan con la “Ayuda a la comunidad” en situaciones de catástrofe o “*Actividades diferentes de la guerra*”. No obstante, se puede utilizar la metodología de los ciclos de vida OTAN, que consideran un perfil medio de uso de 35.000 km al año para los vehículos militares de transporte. Por otra parte, las condiciones políticas y restricciones presupuestarias, condicionan eventualmente (Calduch R., et al., 2011) no solo la compra de material sino también su distribución, uso, entrenamiento, mantenimiento y reemplazo. Por último, se debe tener en cuenta la obsolescencia del material que puede ser debida a razones logísticas (cuando el activo cumple su ciclo de vida definido, por ejemplo una ración de alimentos con fecha vencida), obsolescencia táctica (el equipo ya no interactúa con el sistema del cual forma parte, por ejemplo; vehículos demasiado lentos en un conflicto moderno) y la obsolescencia técnica, (el equipo falla y no es económicamente rentable recuperarlo).

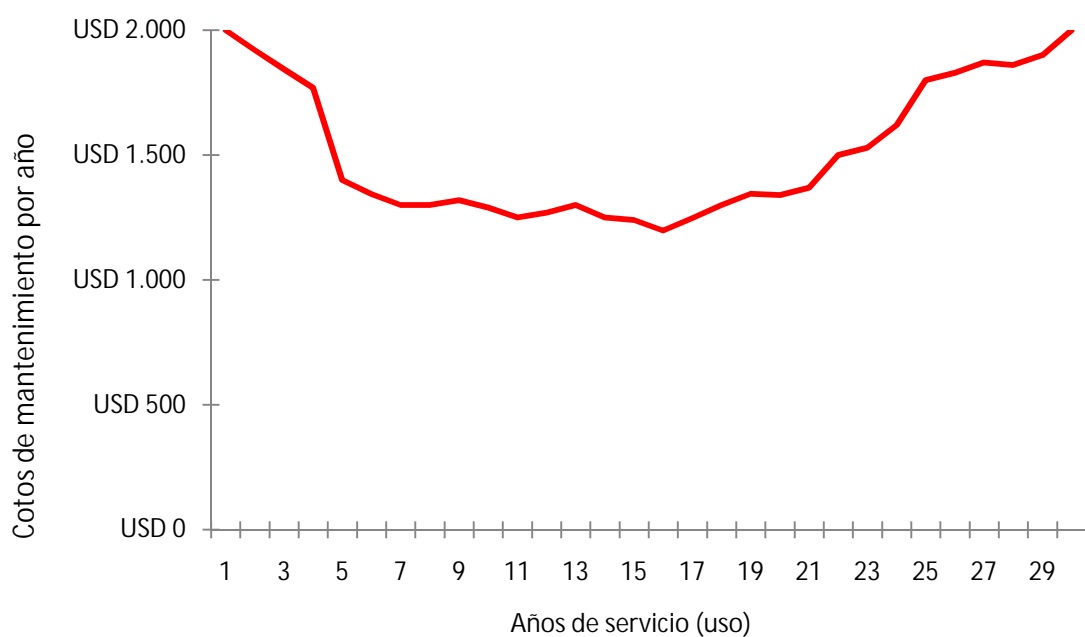
Un concepto útil que debemos conocer en este contexto, es el de la “*Disponibilidad Operacional*” [Ao (t)], indicador que representa (Rodríguez F., 2019) el “*Porcentaje de tiempo que un equipo queda a disposición de los usuarios para ser empleado en sus funciones específicas*”. Este indicador tiene como propósito medir el desempeño de los equipos y la eficiencia en la gestión del mantenimiento, y se calcula tal y como se detalla en la fórmula siguiente.

$$[Ao (t) ] = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

**Ecuación 19**

A partir del comportamiento de falla de un conjunto de activos, bajo la distribución de probabilidad *Weibull*, es posible determinar la etapa en el ciclo

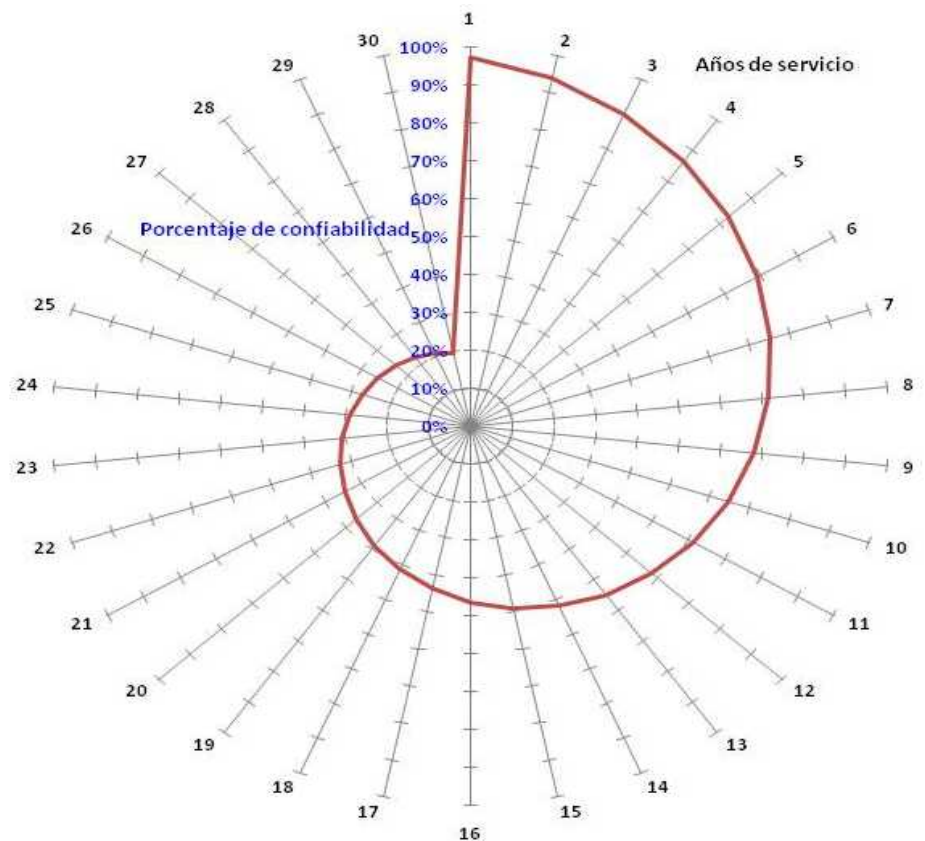
de vida en que se encuentra un vehículo mediante el gráfico conocido como la “*Curva de Davies*” o “*Curva de la bañera*”, por la forma característica de ésta y que se detalla en la figura siguiente. Del análisis del gráfico, permite evidenciar que los costes más altos relacionados con el mantenimiento se producen en los primeros 5 años (costes de implementación). En una segunda fase se considera que el vehículo está en “*Rodaje*”. En esta fase se producen fallas aleatorias menores, producto de su uso y desempeño regular (reemplazo de filtros, cambios de aceite, etc.). Finalmente, en los 5 últimos años de su vida útil, los costes de mantenimiento son esencialmente por el desgaste del vehículo y las reparaciones no programadas, que buscan arreglar las fallas puntuales.



**Gráfico 31:** Costes estimados de mantenimiento en función del tiempo para los vehículos motorizados; fuentes, Roberts C., (2020).

El conocimiento del ciclo de vida permite definir el mantenimiento preventivo cíclico de un equipo y definir la política de reparaciones para cada caso y de esa manera estimar la “*Confiabilidad*” del vehículo, permitiendo predecir el (*mal*) funcionamiento del activo en el tiempo, mejorando la utilización de los

vehículos militares y reduciendo la incertidumbre asociada a la eventual no disponibilidad de los medios, entendiendo esta *“Incertidumbre”* como la *“Inflexibilidad y fricción producto natural del tamaño de una operación y que tiende a incrementarse en proporción directa con ella”* (Van Creveld M., 1991).



**Gráfico 32:** Confiabilidad estimada de vehículos motorizados en función de los años de uso; fuente, Roberts C., (2020).

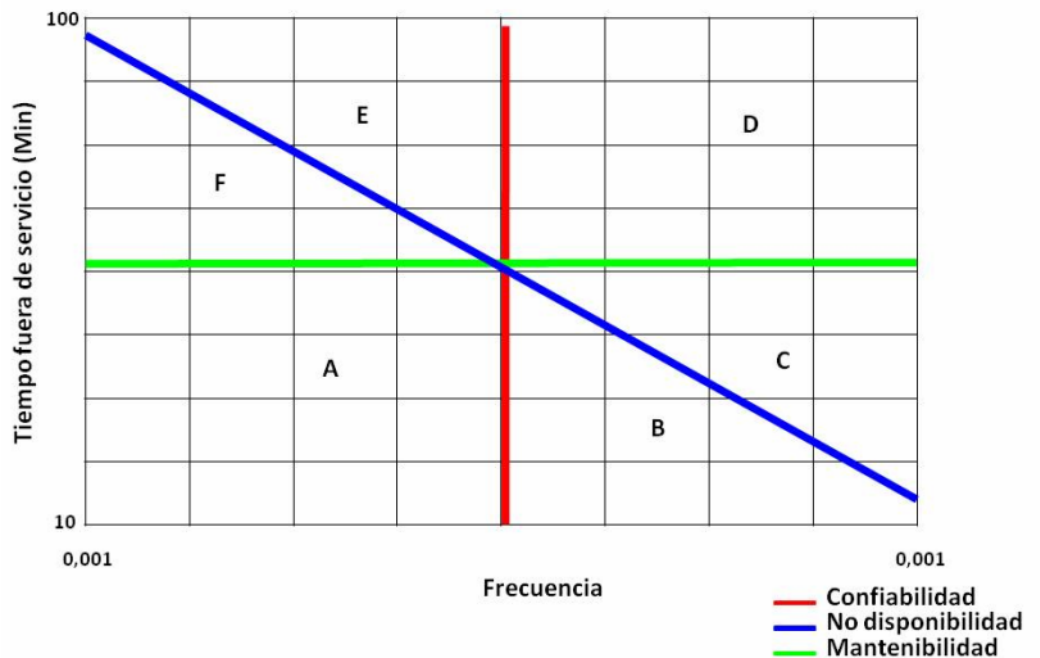
Dicho sea de paso, la confiabilidad corresponde a la capacidad de los sistemas a no fallar, cumpliendo con el funcionamiento requerido o lo que se espera de él (González-Prida V., 2017). Esto no solamente está relacionado con las actividades rutinarias que un equipo o vehículo desempeña, sino que también debe estar presente en los momentos de alta demanda. Por lo tanto la *“Confiabilidad”* se ve afectada por el medio y variables externas, que parcialmente se atenúan con actividades de mantenimiento preventivo.

Puede advertirse en todo caso, que la confiabilidad de los vehículos militares regularmente se ha enfocado a la estimación de ésta, utilizando datos de falla recopilados durante el uso regular de estos medios, lo cual en muchos casos resulta ser demasiado optimista, porque se basaban en datos recogidos de diseños maduros y, que por lo tanto no tienen en cuenta explícitamente las fallas de diseño a nivel del vehículo. Es útil tener presente que predecir la confiabilidad al principio del ciclo de vida, es una forma de mejorar las predicciones e influir positivamente en el desempeño del vehículo (Neil M., et al., 2000).

Dada esta confiabilidad, estudios recientes (Rodríguez F., 2019) proponen indicadores basados en registros estadísticos asociados a la disponibilidad de los medios, tales como el análisis de *Pareto* y/o el método de priorización denominado “*Jack Knife*”.

- a. ***Análisis de Pareto:*** Este método identifica los defectos que se producen con mayor frecuencia o las causas más comunes de los defectos, generalizándose como la ley 80/20, que quiere decir que el 20% de las causas ocasionan el 80% de los fenómenos. Este método posibilita determinar el grado de influencia de algunos elementos en relación con el total de los resultados obtenidos.
- b. ***Método de priorización Jack Knife:*** Este método conocido también como de dispersión logarítmica, es una técnica de priorización que utiliza como base los tiempos medios de reparación de un activo, clasificando de manera detallada los componentes y problemas que generan la mayor cantidad de tiempos fuera de servicio. Para estos efectos, se desarrolla una gráfica que incorpora los diferentes subsistemas o componentes

analizados en función de sus frecuencias (Eje x) y del tiempo medio de la reparación (MTTR) individual (Eje y). La línea verde representa el MTTR de los subsistemas indicando la “*Mantenibilidad*”<sup>159</sup> general, la línea azul representa el promedio de las frecuencias de falla de los subsistemas indicando la confiabilidad y la línea roja representa la indisponibilidad calculada como la ponderación entre la frecuencia y el MTTR, conforme al gráfico siguiente.



**Gráfico 33:** Gráfico de dispersión general Jack Knife; fuente, Rodríguez F., (2019).

Interpretando la gráfica de dispersión, se observan zonas donde los componentes pueden ser clasificados, en cada una de las áreas que a continuación se detallan.

- 1) Zona A: Los componentes son susceptibles de ser sometidos a mantenimiento y disponen de mayor confiabilidad, presentan una indisponibilidad menor a la media de las frecuencias y tiempos fuera

<sup>159</sup> Grado de complejidad con que ha sido diseñado y producido para facilitar su mantenimiento un sistema, dado un determinado nivel de efectividad y coste.

de servicio.

- 2) Zona B: Los componentes son susceptibles de ser sometidos a mantenimiento, pero presentan menor confiabilidad que la media, junto con una indisponibilidad menor al promedio de las frecuencias y tiempos fuera de servicio.
- 3) Zona C: Los componentes son identificados como “*Críticos*” y susceptibles de ser sometidos a mantenimiento, pero su confiabilidad es inferior al promedio, presentando una indisponibilidad mayor al producto de la media de las frecuencias y tiempos fuera de servicio.
- 4) Zona D: Los componentes son menos apropiados para ser sometidos a mantenimiento, pero son más confiables que la media, presentan una indisponibilidad menor al producto del promedio de las frecuencias y tiempos fuera de servicio.
- 5) Zona E: Los componentes son identificados como “*Agudos*” y menos susceptibles de ser sometidos a mantenimiento, presentan una confiabilidad mayor que el promedio y una indisponibilidad mayor al producto de la media de las frecuencias y tiempos fuera de servicio.
- 6) Zona F: Los componentes son catalogados como “*Agudos-Críticos*”, son aptos para ser sometidos a mantenimiento, con una confiabilidad menor que el promedio y una indisponibilidad mayor al producto del promedio de las frecuencias y tiempos fuera de servicio.

### **2.6.2. Consideraciones para la selección de un vehículo arquetipo.**

Para el presente estudio es necesario disponer de una variedad de vehículos que permita seleccionar un modelo representativo o arquetipo, que cuente con



condiciones de uso, costes de mantenimiento, vida útil remanente y que permita la incorporación de técnicas que posibiliten modificaciones tendentes a atenuar sus efectos contaminantes, eventualmente prolongar su vida útil, a un coste menor que el reemplazo de estos activos. Para ello se debe realizar un análisis de sus características técnicas, estado de conservación y las opciones de mejora, identificando componentes que deben ser reemplazados y aquellos que permanecen en el activo, basados principalmente en la determinación de los sistemas que serán modificados, sin alterar los parámetros de seguridad con que cuenta el vehículo y que aseguren un funcionamiento confiable y duradero. Además, se logra con ello que el personal que intervenga y opere los vehículos, *logre competencias técnicas que eviten la dependencia de personal de mantenimiento externo.*

Para lo anterior, es preciso contar con un parámetro establecido de autonomía mínima del vehículo. Para el caso de esta investigación se han considerado 150 km de distancia a cubrir entre recargas de la batería. Será necesario almacenar suficiente energía en las baterías para proporcionar la energía necesaria para recorrer al menos esa distancia y, considerando que un 40% del trayecto se realizará en carretera o ciudad y el 60% restante fuera de la carretera o terreno agreste. Se considera que el vehículo recorrerá en un mes alrededor de 3.000 km, siendo su lugar de uso la zona norte de Chile, donde las temperaturas oscilan entre 0°C y 35°C, con un promedio de 18°C. Todo lo anterior en condiciones normales de conducción y operación, con una carga de 500 kg, equivalente a 4 Soldados (incluyendo al conductor) con su respectivo equipo y armamento individual.



### **2.6.3. Alternativas de vehículos militares.**

Los “*Activos bélicos Institucionales*”, dentro de los cuales se cuentan los

vehículos de transporte de tropas, son utilizados ampliamente a nivel mundial. Teniendo en cuenta la gran variedad de vehículos militares que existen (dadas sus características y uso específico), y para el caso de la presente investigación se seleccionará un vehículo representativo que será el arquetipo de éstos. La metodología elegida para ello es que el vehículo todo terreno (Ejército de Chile, 2009), no supere las 2 toneladas de Peso Bruto del Vehículo (PBV), con motor de gasolina o gasóleo (diésel) y que su Vida Útil Remanente (VUR) fuera de unos 5 años como máximo. El objetivo es que este estudio sea una contribución, que además de los aspectos medio ambientales, considere la extensión de la vida útil de un vehículo que no haya sido eliminado del servicio por obsolescencia tecnológica<sup>160</sup>. Para ello, el Ejército cuenta con diversos medios de transporte de tropas (vehículos que no cuentan con armamento), entre los que se encuentran los que se detallan.

N.º	Vehículo	Imagen referencial
1	Commandcar M325; vehículo de transporte con motor a gasolina.	
2	AIL Storm M240, vehículo de transporte con motor a gasolina.	
3	Land Rover Defender, vehículo de transporte con motor diésel.	

<sup>160</sup> La extensión de vida útil es de a lo menos 5 años sobre el remanente actual del vehículo, con el propósito de que sea provechosa la intervención y modificación del mismo.

N.º	Vehículo	Imagen referencial
4	Toyota FJ 45, vehículo de transporte con motor a gasolina.	
5	HUMVEE, vehículo de transporte y reconocimiento con motor diésel.	

**Tabla 31:** Vehículos militares para el transporte de tropas; fuente, Roberts C., (2020).

#### 2.6.4. Selección del vehículo.

Con la finalidad de desarrollar el presente estudio, debemos considerar que éste pretende aportar conclusiones a las investigaciones en materia de descontaminación, teniendo como premisa que la intervención de los vehículos será más eficiente desde la perspectiva económica y medioambiental que su reemplazo por activos nuevos, enfrentando el desafío como una capacidad de desarrollo futuro.

En este sentido, y a partir de la gama de vehículos disponibles en el cuadro anterior, y considerando su antigüedad, peso, VRU, el vehículo elegido ha sido el todo terreno **AIL Storm M240**, dado que cumple con los requisitos indicados anteriormente, siendo este medio de transporte parte de los Inventarios de Activos Bélicos (IAB) de muchos ejércitos a nivel mundial, con un ciclo de vida estimado en 30 años y que para el caso del Ejército de Chile y, dados sus perfiles de uso, su VUR para el año 2020 era de 5 años.

- a. **El vehículo de gasolina arquetipo:** El AIL Storm es un vehículo multifunción, con tracción en las cuatro ruedas (4×4) desarrollado por *Automotive Industries Ltd.* (AIL) para las Fuerzas de Defensa de Israel y

para otros países. Se utiliza en misiones militares que requieren movilidad fuera de carretera, alta confiabilidad y disponibilidad, junto a una facilidad de operación y mantenimiento, así como un amplio empleo en Misiones de Paz, como vehículo de reconocimiento, enlace y patrullaje (MDN, 2018).



**Imagen 98:** Vehículo militar en patrullaje, al amparo de la Misión de Estabilización de Haití (2004-2017); fuente, [www.emol.com](http://www.emol.com)



**Imagen 99:** Ministro de Defensa de Chile (2015-2018), Sr. José Antonio Gómez, durante las preparaciones de la Gran Parada Militar del año 2016, a bordo de un vehículo AIL Storm M240; fuente, [www.emol.com](http://www.emol.com)

El AIL Storm M-240 producido en Israel es una variante del Jeep Wrangler YJ de 1991, con la excepción de los motores, ya que su fabricación no era económicamente viable para Israel. Aparte de su uso en el mercado local (Israel), el AIL Storm se exportó a países de América del

Sur, Asia y África. Este vehículo, que originalmente fue destinado a satisfacer las necesidades militares israelíes, y dado su éxito fue producido para otros mercados para ser utilizados como medios de transporte y reconocimiento.



**Imagen 100:** AIL Storm perteneciente al cuerpo de policía Israelí; fuente, [www.theyeshivaworld.com](http://www.theyeshivaworld.com)

Al igual que el Jeep Wrangler YJ, tiene un diseño de motor delantero convencional y espacio para carga o pasajeros. Está dotado de un motor de gasolina (ciclo Otto) AMC de 4 litros y 6 cilindros en línea, con inyección de combustible, el cual<sup>161</sup> desarrolla 174 hp (horse power<sup>162</sup>) a 4.700 RpM (Revoluciones por Minuto).

<sup>161</sup> Estos indicadores corresponden a los parámetros de fabricación del vehículo, por lo que luego de 25 años de servicio, sus condiciones ya no son las mismas.

<sup>162</sup> Horse power (hp); Es la potencia necesaria para elevar verticalmente a la velocidad de 1 pie/minuto un peso de 33.000 libras (14.969 kg), tiene un valor de 550 pies-libras por segundo y equivale a 746 w.



**Imagen 101:** Ejemplo del vehículo en estudio; fuente, [www.flickr.com](http://www.flickr.com)



**Imagen 102:** Ejemplo del vehículo en estudio; fuente, [www.flickr.com](http://www.flickr.com)

Aunque existen variados proyectos para transformar SCI en VE, ya sea para evitar la dependencia de combustibles derivados del petróleo o para paliar los efectos adversos en el medioambiente, *no se dispone de investigaciones destinadas a la movilidad eléctrica de medios militares*, por lo que este estudio buscará formas sostenibles de satisfacer estas expectativas, mediante el uso de sistemas de almacenamiento de energía eficientes, responsables con el medioambiente y económicamente viables.

- 1) **Características del vehículo arquetipo:** El vehículo todo terreno AIL Storm (motor a gasolina - SCI), de conformidad con el manual

del fabricante y en condición de “*Nuevo*”, cuenta con las características que se detallan en la tabla siguiente.

Año de fabricación	Tipo	Combustible	Consumo		
			Urbano	Carretera	Fuera de camino
1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4WD</li> <li>- 3.960 cc</li> <li>- 6 cilindros</li> <li>- Transmisión manual</li> <li>- 5 velocidades</li> </ul>	Gasolina, 95 octanos	<u>15,73 lt</u> 100 km	<u>13,88 lt</u> 100 km	<u>17,00 lt</u> 100 km
Año de ingreso al servicio en Chile					
1996					
Relación peso-potencia		Peso vacío	Rendimiento		
174 hp a 4.000 RpM.		1.760 kg	<b>6,36</b> km/lt	<b>7,20</b> km/lt	<b>5,88</b> km/lt

**Tabla 32:** AIL Storm, características del SCI; fuente, Manual de servicio AIL Storm.

Asimismo, el AIL Storm cuenta con una caja de cambios modelo AX15 (transmisión manual) de 5 marchas hacia adelante y una hacia atrás, con las siguientes relaciones de transmisión.

Cabio (velocidad)	Relación
<b>1ra.</b>	3,83:1
<b>2da.</b>	2,33:1
<b>3ra.</b>	1,43:1
<b>4ta.</b>	1,00:1
<b>5ta.</b>	0,789:1
<b>Reversa</b>	4,22:1

**Tabla 33:** Relación de los cambios de la caja de velocidades del vehículo en estudio; fuente, Manual de servicio AIL Storm.



**Imagen 103:** Vano motor del vehículo en estudio, vista lateral izquierda; fuente, Ramírez G., (2019).



**Imagen 104:** Vano motor del vehículo en estudio, vista lateral derecha; fuente, Ramírez G., (2019).

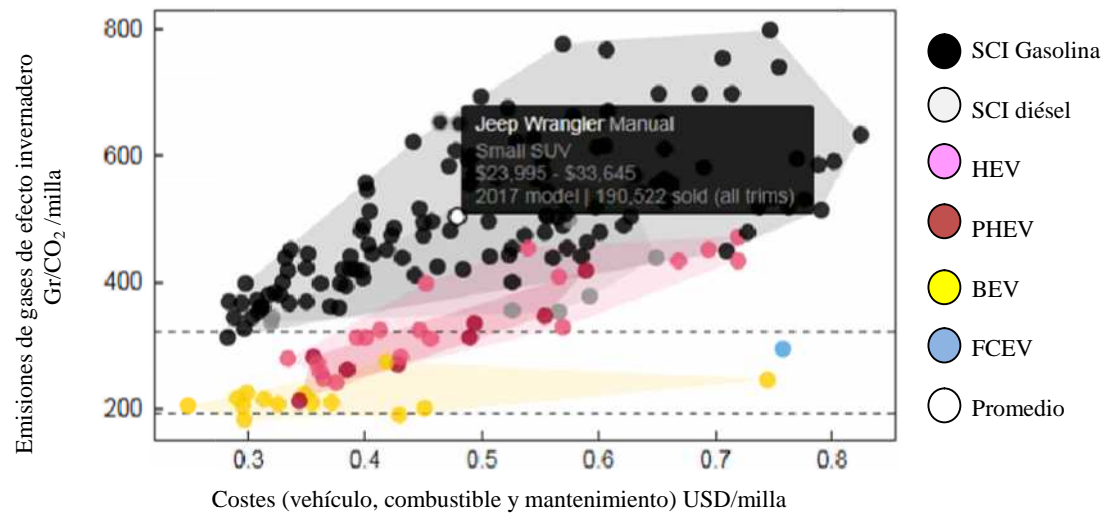
Por otra parte, el AIL Storm cuenta con un convertidor catalítico de 3 vías y, conforme al manual del fabricante, tiene los parámetros de gases de escape (vehículos nuevos) que a continuación se indican.

CO <sub>2</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	CO	HC
325 g/km	0,274 g/km	0,924 g/km	0,04 g/km

**Tabla 34:** Parámetros de emisiones de los gases de escape del vehículo en estudio; fuente, Manual de servicio AIL Storm.



Y, si se contempla que el SCI AIL Storm se basa en la plataforma del Jeep Wrangler, el gráfico<sup>163</sup> siguiente muestra las emisiones contaminantes de dicho vehículo, a modo de comparación.



**Gráfico 34:** Comparativo de emisiones de gases de efecto invernadero, por tipo, marca y modelo de vehículo (ejemplo de Jeep Wrangler año 2017); fuente, [www.carboncounter.com](http://www.carboncounter.com)

2) **Coste del vehículo, vida útil remanente y depreciación:** Como se indicó anteriormente, el vehículo todo terreno AIL Storm M240, fue adquirido en el año 1995 y comenzó a prestar su servicio en Chile en el año siguiente, estimándose un ciclo de vida de 30 años. Esto hace que el año 2020, su Vida Útil Residual (VUR) sea de 5 años. En este sentido, para calcular su valor actual, es necesario conocer la depreciación de éste, y que se corresponde con la pérdida de valor del activo debido al desgaste ocasionado por su uso o simplemente por el paso del tiempo. Para este cálculo, se utilizaron las funciones disponibles en *MS Excel* que a continuación se detallan.

- *SLN (coste, valor residual, vida)*: Devuelve la depreciación por método directo de un activo en un periodo dado, correspondien-

<sup>163</sup> <http://carboncounter.com/>

te a la “*Depreciación lineal*” del activo.

- *SYD (coste, valor residual, vida, período)*: Devuelve la depreciación por método de anualidades de un activo durante un período específico. Éste es conocido como el “*Método de suma de los dígitos del año*”, en el cual es necesario obtener un factor para cada año, que posteriormente será multiplicado por la diferencia entre el coste y el valor residual. Dicho factor se obtiene de dividir el número de años pendientes entre la suma de los dígitos del año. Para un período de 30 años, se observa que los coeficientes de los factores más altos en los primeros años, lo que produce que la depreciación de los activos sea mayor al principio de su vida útil.

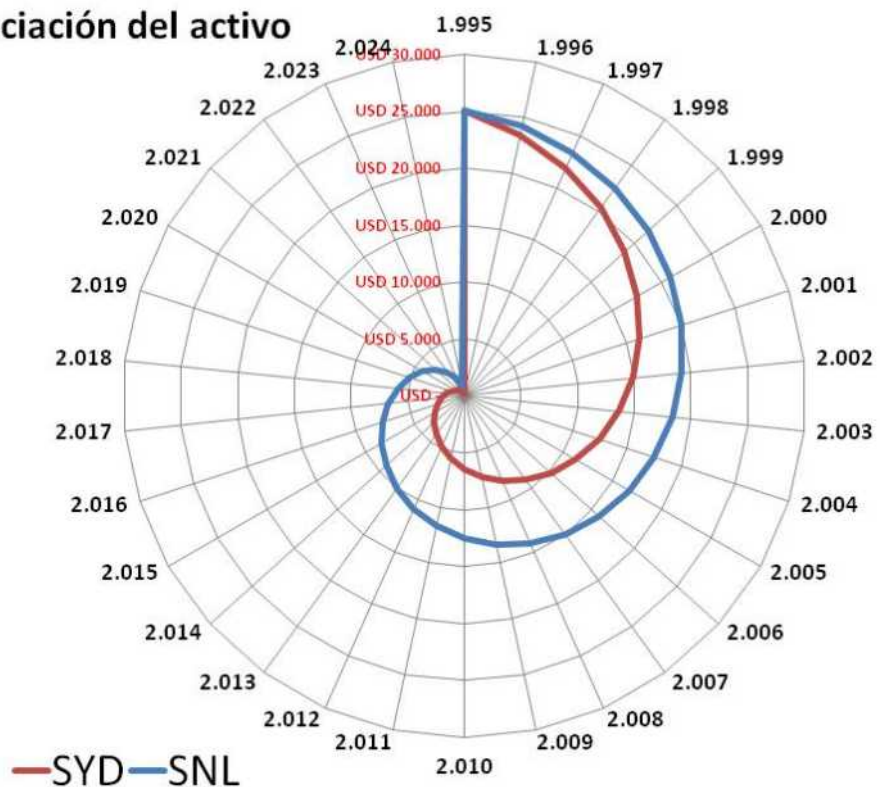
En virtud de lo anteriormente expuesto, y para el cálculo de la depreciación del AIL Storm, se utilizaron los siguientes datos:

- El año de adquisición fue en 1995 (vehículos nuevos).
- Ingreso al servicio en Chile en 1996.
- El coste inicial de un AIL Storm en 1995, fue de USD 25.000, equivalentes a 22.750 €
- La vida útil estimada del AIL Storm es de 30 años.
- Los costes anuales de mantenimiento del SCI AIL Storm en el año 1996, eran de USD 2.000, equivalentes a 1.820 €
- En el año 2025, la flota de vehículos AIL Storm debieran ser retirados del servicio, por obsolescencia tecnológica, obsolescen-

cia logística (Escasez o ausencia de repuestos) y pérdida de la vida útil.

Considerando que en el año 2020, la flota de AIL Storm cumplió 25 años de uso, la depreciación del vehículo es de acuerdo al gráfico que a continuación se muestra.

### Depreciación del activo



**Gráfico 35:** Depreciación del vehículo militar de transporte en estudio; fuente, Roberts C., (2020).

El valor residual es el valor de un activo en un momento específico de uso; éste disminuye con el tiempo y el uso, representando el valor de reventa, si lo hay, al final de la vida útil (Valenta M., 2013).

Por lo tanto, el valor residual del vehículo AIL Storm para el año 2020, mediante “*Depreciación lineal*” es de **USD 5.043,01 (4.589 €)** y, en el caso del “*Método de suma de los dígitos del año*” es de **USD**

**1.180,37 (1.074 €)**, quedando para ambos casos **5 años de vida útil remanente**. Se ha considerado que la depreciación es lineal por ser la que se utiliza por parte del Ministerio de Planificación (MIDEPLAN). A partir de estos resultados podemos concluir que el AIL Storm es el SCI ideal para el estudio, considerando que la extensión de esta vida útil debe ser de *al menos 5 años adicionales*.

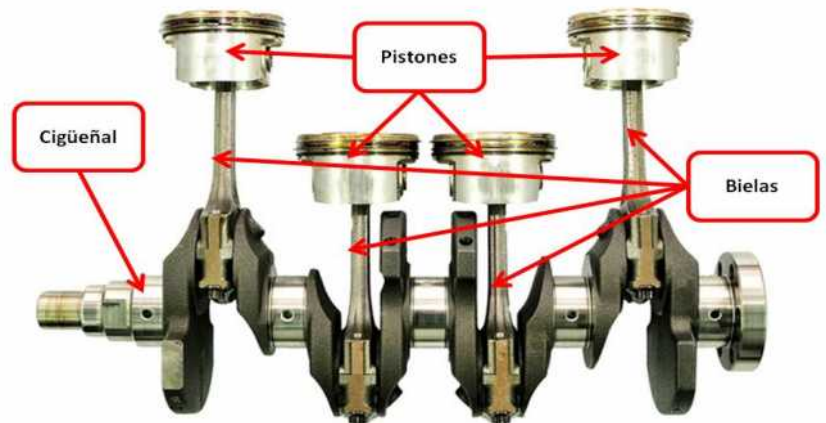
- 3) **Eficiencia energética del vehículo todo terreno AIL Storm:** Dado que la eficiencia energética de un SCI en condiciones óptimas es de un 25% de la energía consumida y el AIL Storm ya tiene 25 años de servicio, se estima que el vehículo ha perdido el 30% de su eficiencia inicial, por lo que actualmente tiene un **17,5% de eficiencia**, dada su antigüedad y condiciones de mantenimiento.
- 4) **Par motor del SCI AIL Storm.** El *par motor* o “*Torque*” ( $T$ ) es el producto de la fuerza aplicada ( $F$ ) de empuje a los cilindros en un SCI, por la distancia ( $d$ ) al eje geométrico de giro del árbol del cigüeñal, midiéndose según el Sistema Internacional de Unidades, en Newton metro ( $Nm$ ).

$$T = F \cdot d$$

**Ecuación 20**

- a) **Generalidades:** En el SCI AIL Storm, así como en todos los vehículos de combustión interna, el encendido de la mezcla combustible-aire genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor. Esta presión interior produce a su vez una fuerza ( $F$ ) de empuje sobre el pistón que lo desplaza, generando el mecanismo de biela-manivela de los

motores de combustión interna, donde el movimiento de desplazamiento del pistón en el interior del bloque motor, se transforma en un movimiento circular de giro del cigüeñal.



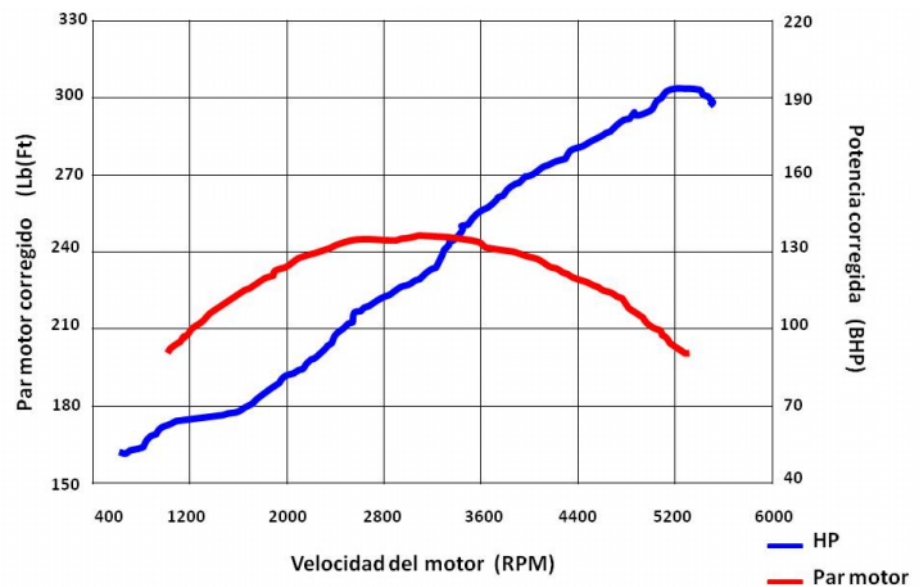
**Imagen 105:** Representación del cigüeñal, bielas y pistones de un SCI de 4 cilindros; fuente, Roberts C., (2020).

- b) **Curva de par:** La fuerza ( $F$ ) que produce el par motor es una fuerza variable, que en el caso de un motor de 4 tiempos<sup>164</sup> (ya sea en el ciclo Otto o ciclo diésel) es máximo en el momento que se produce la combustión de la mezcla y su posterior expansión en el cilindro, siendo negativa, esto es, que no genera par motor en las demás fases (escape de los gases, admisión y compresión de la mezcla). Teniendo presente que dentro de la fase de “*Combustión*” se genera par motor, el rendimiento del motor no es el mismo bajo diferentes regímenes de giro y por consiguiente, tampoco el valor de la fuerza ( $F$ ) de empuje que se genera.

Así, a bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta

<sup>164</sup> Los motores de 4 tiempos se refieren a los cuatro recorridos del pistón en el cilindro (dos vueltas completas del cigüeñal) para completar el ciclo termodinámico de combustión. Estos cuatro tiempos son “*Admisión*”, “*Compresión*”, “*Explosión o expansión*” y “*Escape*”.

óptima, debido a la escasa inercia que poseen los gases, que provoca que el llenado del cilindro al igual que su vaciado no sea el adecuado. Por otra parte, si el motor funciona a régimen elevado, el llenado de los cilindros tampoco es completo. Ello es debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el recinto. En consecuencia, la *curva de par* (T), que debería ser una recta horizontal, se convierte en una curva, con un tramo central casi recto que proporciona el máximo par, junto con sus zonas extremas donde el par motor decrece.



**Gráfico 36:** Curva de par motor y curva de potencia del motor de un vehículo a gasolina, motor de 6 cilindros en línea, 4 litros de cilindrada; fuente, Manual de Servicio AIL Storm.

La imagen anterior muestra la curva de par motor además de la curva de potencia en los SCI. La curva de par motor comienza con un tramo ascendente hasta llegar a las RpM donde el motor eroga el par motor máximo, que es el punto óptimo. A partir de ese momento el par motor comienza a disminuir progresivamente, relacionado fundamentalmente con los

siguientes factores.

- Inadecuada evacuación de gases quemados conforme aumenta las revoluciones del motor;
- Insuficiente llenado de aire en cada ciclo;
- La combustión empieza a no ser óptima;
- La fracción de tiempo para cada combustión se reduce;
- La mezcla de aire-combustible no es la adecuada;

En consecuencia, aunque se queme más combustible acelerando el motor y logrando que la potencia todavía aumente, el par motor descende. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de par máximo, aumentando el consumo del motor conforme se aleja de este rango.

- c) **Registros de conducción:** Respecto de la tasa de utilización de cada vehículo militar, no se dispone de datos, derivado de que su uso es en gran medida a requerimiento de las actividades de entrenamiento y actividades de ayuda a la comunidad. No obstante, a lo indicado anteriormente, si se conoce que el Ejército de Chile utiliza el AIL Storm principalmente para el transporte de tropas, con una capacidad de 4 Soldados con su respectivo equipamiento. Este vehículo es empleado de día o de noche y bajo diferentes condiciones climáticas, donde su rango promedio de distancia recorrida a diario es de 120 km, pero se

considerará un margen de seguridad, para lo cual deberíamos asegurar una distancia de 150 km, sin exceder los 90 km/h como velocidad máxima. Esto se consigue en la 5ta. marcha, cuando se alcanzan los 2.500 RpM.

- d) Consumo:** El consumo y en concreto el consumo específico ( $C$ ), se define como el caudal de combustible que consume el motor o consumo horario por la potencia que suministra. El consumo específico se mide en  $g/kWh$ , proporcionando información sobre el rendimiento del motor, ya que cuanto menor sea éste, mejor es su rendimiento.

De lo anterior y a modo de comparación, los motores de gasolina permiten suministrar aproximadamente un  $2/3$  del rendimiento<sup>165</sup> que entregaría un motor que funcione con gasóleo, suponiendo que se encuentren en óptimas condiciones de mantenimiento y que esta potencia no se logrará en toda la gama de revoluciones y niveles de carga. En todos los casos, supone al menos que el 60% de la energía química del combustible en el caso del gasóleo (diésel) y el 70% en el caso de uno de gasolina, son transformados en calor por el motor de un vehículo, lo que no siempre es aprovechado. Todo esto sin considerar la resistencia aerodinámica, la resistencia a la rodadura y todas las pérdidas de transmisión hasta que el vehículo está en movimiento.

De lo anterior, se puede concluir que los motores de

---

<sup>165</sup> La eficiencia de un motor de gasolina es de un 25%, la de un motor a gasóleo (diésel) es de un 37% aproximadamente; (Grinstein D., 1960).



combustión interna, termodinámicamente son bastante ineficientes y no pueden dejar de serlo, porque los principios básicos de la termodinámica lo impiden de manera absoluta. Lo anterior significa que en el uso de un motor térmico, el objetivo no puede ser convertir toda la energía química en movimiento, sino tratar de no desperdiciar mucho más de la mitad, en el mejor de los casos.

- e) **Cadena cinética:** La cadena cinética de un vehículo la constituye el conjunto de mecanismos encargados de transmitir el movimiento desde el motor hasta las ruedas motrices.



**Imagen 106:** Componentes que constituyen la cadena cinética del vehículo; fuente, [www.pngwing.com](http://www.pngwing.com)



**Imagen 107:** Grupo cónico-diferencial del vehículo en estudio; fuente, Manual de servicio AIL Storm.



**Imagen 108:** Diferencial trasero del vehículo en estudio; fuente Ramírez G., (2019).



**Imagen 109:** Diferencial delantero y conjunto de cardanes; fuente, Ramírez G., (2019).

Dentro de los componentes que constituyen la cadena cinética de un vehículo se pueden distinguir dos grandes grupos:

- El motor, generador del movimiento.
- El sistema de transmisión, encargado de transmitir el movimiento del motor hasta las ruedas motrices del vehículo.

A su vez, el sistema de transmisión está compuesto por los siguientes órganos de transferencia del movimiento:

- Caja de cambios.

- Caja de transferencia.
- Cardán.
- Ejes de transmisión, compuestos del grupo cónico-diferencial; los palieres que conforman el eje motriz y las ruedas motrices.



**Imagen 110:** Caja de transferencia del vehículo en estudio, vista trasera; fuente, Ramírez G., (2019).

- f) **Velocidad del vehículo:** La velocidad ( $V$ ) de marcha del vehículo se calcula en función del número de revoluciones de giro del motor ( $n_m$ ) y del diámetro de las ruedas motrices ( $D$ ), para unos valores determinados de relaciones de transmisión de la cadena cinética. En efecto, si  $D$  es el diámetro de la rueda motriz y  $n_r$  es la velocidad de giro del palier<sup>166</sup> que conecta con la rueda y que por lo tanto es la misma que ésta, entonces se tiene la siguiente ecuación.

$$V = \frac{\pi D n_r}{60}$$

**Ecuación 21**

<sup>166</sup> Semieje que desde la caja del diferencial, transmite el giro hasta las ruedas motrices.

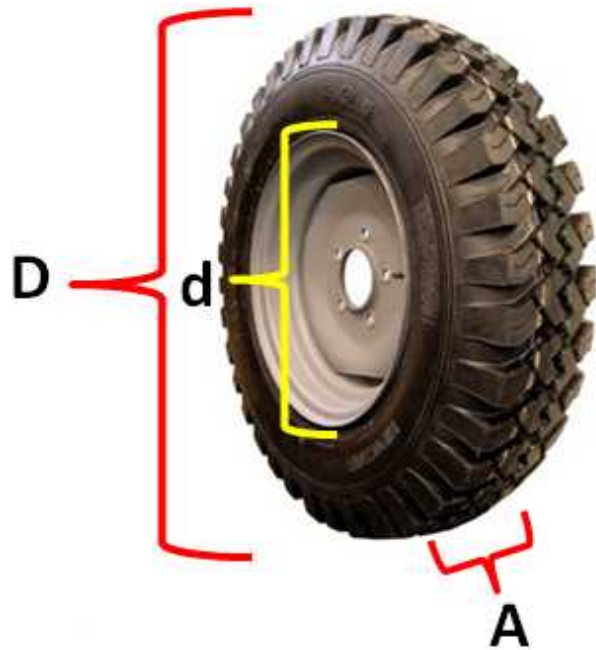
Donde

$V$  es la velocidad del vehículo, medida en  $m/s$ ;

$D$  es el diámetro exterior de la rueda motriz<sup>167</sup>, medida en metros;

$A$  es el ancho de la rueda, medido en metros;

$n_r$  es la velocidad de giro del palier o rueda, medida en Rpm.



**Imagen 111:** Esquema de una rueda; fuente, Roberts C., (2019).

Asimismo, en la cadena cinética del vehículo, se llama  $r_c$  a la relación de transmisión que se tenga en la caja de cambios. Su cálculo se obtiene mediante la siguiente expresión.

---

<sup>167</sup> El vehículo arquetipo utiliza neumáticos 205/65 R15 AT (*AllTerrain*), cuyo diámetro es 0,6475 mts y un ancho de 0,205 mts.

$$r_c = \frac{n_b}{n_m}$$

**Ecuación 22**

Donde

$n_b$  es la velocidad de giro del eje a la salida de la caja de cambios, medida en RpM.

$n_m$  es la velocidad de giro del motor, medida en RpM.

$r_c$  relación de transmisión de la caja de cambios.

Del mismo modo, para el eje motriz se tiene que la relación de transmisión  $r_d$  que se obtiene en el grupo cónico-diferencial instalado en el eje motriz, se expresa como lo indica la fórmula siguiente.

$$r_d = \frac{n_r}{n_b}$$

**Ecuación 23**

Donde

$n_r$  es la velocidad de giro de la rueda a la salida del grupo cónico-diferencial, en RpM.

$n_b$  es la velocidad de giro del eje secundario a la salida de la caja de cambios y que conecta a su vez con el grupo cónico-diferencial del eje motriz, medida en RpM.

Multiplicando las dos anteriores expresiones, se tiene la siguiente expresión.

$$r_c \cdot r_d = \frac{n_r}{n_m}$$

**Ecuación 24**

Por lo tanto

$$n_r = r_c \cdot r_d \cdot n_m$$

**Ecuación 25**

Reemplazando en el valor previo de  $n_r$  en la expresión que proporciona la velocidad de marcha del vehículo ( $V$ ), se obtiene la fórmula que se detalla a continuación.

$$V (m/s) = \frac{\pi \cdot D \cdot n_r}{60}$$

**Ecuación 26**

Entonces

$$V (m/s) = \frac{\pi \cdot D \cdot r_c \cdot r_d \cdot n_m}{60}$$

**Ecuación 27**

De la fórmula anterior, se deduce que para valores fijos de  $r_c$  y de  $r_d$ , la velocidad del vehículo ( $V$ ) dependerá del número de revoluciones del motor ( $n_m$ ) y del diámetro de la rueda motriz ( $D$ ) y, por otro lado, para valores fijos de  $n_m$ ,  $D$  y  $r_d$ , la

velocidad del vehículo ( $V$ ) dependerá de la relación de la caja de cambios  $r_c$ .

Finalmente, considerando los siguientes valores, aplicados a la ecuación anterior, se obtiene el siguiente valor de  $r_d = \mathbf{0,3738}$ ;

$V$  (m/s) : 90 km/h = 25 m/s

$D$  : 0,6475 m.

$n_m$  : 2.500 RpM.

$r_c$  : 0,789/1 (5ta. marcha)

#### **2.6.5. Zona de empleo.**

Para los fines de uso operativo del vehículo arquetipo, se ha considerado como zona de utilización la zona norte de Chile. Se caracteriza por un clima “Desértico”, cuyas particularidades son las de presentar una gran oscilación térmica diaria que puede bordear los 35°C, poca lluvia y cielos limpios, con sequedad atmosférica. Durante el día, el promedio de temperatura es de unos 18°C, alcanzando temperaturas máximas de 35°C. Por la noche la temperatura desciende por debajo de 0°C.

Esta zona cuenta con una altitud que varía entre el Nivel Medio del Mar (NMM) y los 1.600 mt. Para los efectos de cálculos posteriores, se tendrá en cuenta la altitud máxima.

#### **2.6.6. Comparación de costes.**

La idea es comparar el coste por kilómetro de la solución de un SCI AIL Storm, con una versión transformada del mismo en VE (movilidad eléctrica). Para lo anterior, el presente estudio considera que un litro de gasolina

proporciona 9,63 kWh y que cuesta USD 1,2 (1,1 €) en Chile (promedio para la Región Metropolitana). Con el objetivo de calcular la cantidad de kWh equivalentes en gasolina y el coste de ésta, para lo cual se considerará un recorrido promedio diario del AIL Storm es de 150 km, lo que implicaría un *recorrido medio mensual de 3.000 km.*

- a. **Costes del uso del vehículo (SCI):** Como se indicó previamente, en consideración a que la eficiencia energética de un SCI en condiciones óptimas es de un 25% de la energía consumida y que el AIL Storm ya tiene 25 años de servicio, dado su uso, antigüedad y condiciones de mantenimiento, se estima que dicho modelo de vehículo ha perdido el 30% de su eficiencia inicial, por lo que actualmente contaría con un 17,5% de ésta.

La idea es comparar el coste por km para conducir en un ciclo de conducción combinado, que incluye recorrido en un área urbana, en carretera y fuera de la carretera.

Para lo anterior, un ciclo de conducción (Osses M., et al., 2003) es un conjunto de secuencias medias de tiempos y velocidades, que provienen de información representativa de un área determinada. Estos ciclos de conducción se utilizan para llevar a cabo la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos. Conforme a lo anterior, y teniendo presente que el AIL Storm tiene una capacidad de combustible de 77 litros y dado que este estudio contempla que 1 litro de gasolina<sup>168</sup> proporciona 9,63 kWh con un precio de USD 1,2 (1,1 €) en Chile ([www.econsult.cl](http://www.econsult.cl), [www.bcentral.cl](http://www.bcentral.cl)), la cantidad de kWh disponible al final de la cadena y el

---

<sup>168</sup> La densidad de la gasolina es de 680 gr/lit.



precio de esta energía se calculan con la siguiente fórmula.

$$P_{full} = T_{cap} P_l$$

**Ecuación 28**

$P_{full}$  : Precio de llenado del depósito de combustible, en dólares de los Estados Unidos de América (USD), con su equivalencia en Euros (€).

$T_{cap}$  : Capacidad del depósito de combustible (litros).

$P_l$  : Precio por litro de gasolina (datos nacionales), en USD, con su equivalencia en Euros (€).

A partir de los datos anteriores, se obtiene que el precio de llenado del depósito de combustible es de **USD 92,4 (84,1 €)**. Para estos efectos, se procede a calcular la energía suministrada por el depósito lleno de combustible, usando la ecuación siguiente.

$$E_{use\ full} = T_{cap} E_l \eta_{engine}$$

**Ecuación 29**

Donde

$E_{useful}$  : Energía provista al término de la cadena.

$E_l$  : Energía provista por un litro de gasolina.

$\eta_{engine}$  : **17,5%** de eficiencia del motor, bajo las condiciones actuales de uso y mantenimiento.

Como resultado de la ecuación 29, la energía generada al final de la cadena es de **129,76 kWh**. Para el cálculo del precio por kilómetro (USD/km y equivalencia en €/km) se tiene en cuenta que asumiendo una autonomía y rendimiento con un depósito lleno de gasolina, bajo las siguientes premisas: un 10% del recorrido en áreas urbanas (6,36 km/lt de rendimiento), un 30% del recorrido en la carretera (7,2 km/lt de rendimiento) y un 60% del recorrido fuera de la carretera (5,88 km/lt de rendimiento), podría recorrer una distancia de **487,14 km**.

$$P_{km} = \frac{P_{full}}{D_{range}}$$

**Ecuación 30**

Donde

$P_{km}$  : Precio por km (USD, con su equivalencia en Euros).

$D_{range}$  : Distancia recorrida (km).

Así pues, el coste en combustible (gasolina) para operar el SCI AIL Storm es de **USD 0,189 0,19 por km** (excluyendo los costes de mantenimiento), equivalentes a **0,17 €**

- b. Consumo de combustible en 150 km.:** Para calcular el consumo de combustible del vehículo arquetipo AIL Storm necesario para recorrer una distancia de 150 km, se empleó la siguiente fórmula.

$$Ct = C_u \ 10\% + C_r \ 30\% + C_o \ 60\%$$

**Ecuación 31**

Donde

$C_t$  : Consumo total de combustible en 150 km.

$C_u$  : Consumo de combustible en recorridos urbanos (litros).

$C_r$  : Consumo de combustible en carretera (litros).

$C_o$  : Consumo de combustible fuera de carretera (litros).

Se obtiene que para recorrer los 150 km que se han tomado como referencia, el combustible consumido por el SCI AIL Storm sería de **23,91 24 litros.**

No obstante, es necesario verificar otra serie de factores que afectan el rendimiento teórico del vehículo, como serían: la fuerza de rozamiento, la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica del vehículo, y que permitirá ajustar el valor anterior y obtener el rendimiento final del SCI AIL Storm.

#### **2.6.7. Fuerzas que oponen resistencia al desplazamiento del vehículo.**

Sin duda, muchas fuerzas se oponen al desplazamiento del vehículo, para ello, una aproximación de las mismas se desarrolla a continuación.

- a. Fuerza de rozamiento:** Cuando un cuerpo se encuentra apoyado en el suelo y queremos desplazarlo, la fuerza que se opone a este movimiento se denomina “*Fuerza de rozamiento*”, y se produce entre la superficie en contacto del cuerpo y el suelo. A partir de esta conceptualización y aplicándola al SCI AIL Storm, si uno de ellos se encuentra en una pendiente, con las ruedas detenidas, la fuerza que impide a que el vehículo se deslice pendiente abajo es precisamente la adherencia de los

neumáticos al suelo (Lugner P., 2006). La magnitud de esta fuerza de adherencia ( $F_a$ ) entre el vehículo y el suelo viene dada por la siguiente expresión.

$$F_a = \mu_a Q_t \cos \alpha$$

**Ecuación 32**

Donde

$Q_T$  es el peso total del vehículo, aplicado en su centro de masa.

$\alpha$  es el ángulo que forma el plano inclinado del camino con el plano horizontal.

$\mu_a$  es un coeficiente adimensional, llamado coeficiente de adherencia.

El coeficiente de adherencia ( $\mu_a$ ) es un valor que se obtiene experimentalmente, pues depende tanto de la naturaleza del terreno sobre el que circule el vehículo, como del estado y naturaleza de los neumáticos. En la siguiente tabla se muestra una serie de valores de referencia para el coeficiente de adherencia ( $\mu_a$ ), considerándose para todos los casos que el vehículo disponga de los neumáticos en buen estado.

<b>Valores para el coeficiente de adherencia (<math>\mu_a</math>)</b>	
<b>Tipo y condición del camino</b>	<b>Coeficiente de adherencia (<math>\mu_a</math>)</b>
Carretera de cemento	<b>0,8</b>
Camino empedrado seco	<b>0,7</b>
Asfalto seco	<b>0,6 a 0,75</b>
Carretera húmeda	<b>0,3 a 0,4</b>
Carretera mojada	<b>0,25</b>
Carretera alquitranada y con rastros de aceites o grasas	<b>0,15 a 0,20</b>

Valores para el coeficiente de adherencia ( $\mu_a$ )	
Tipo y condición del camino	Coeficiente de adherencia ( $\mu_a$ )
Carretera con barro	0,15
Carretera con hielo	0,08 a 0,1

**Tabla 35:** Valores para el coeficiente de adherencia ( $\mu_a$ ); fuentes, [www.causadirecta.com](http://www.causadirecta.com) y [www.vialidad.cl](http://www.vialidad.cl)

Para cálculos generales, como es este caso, se utiliza un valor medio del coeficiente de adherencia,  $\mu_a = 0,6$ .

Consideraremos que el peso total del vehículo ( $Q_T$ ) equivale a la suma de 1.760 kg de PBV del SCI, más 500 kg entre personas y equipo, más 52,36 kg de gasolina (equivalentes a un depósito de 77 lt, lleno de combustible). Por otra parte, se contempla una pendiente media calculada, teniendo en cuenta un recorrido de 150 km, que se iniciaría al NMM hasta los 1.600 Metros Sobre el Nivel del Mar (MSNM).

Entonces, para estos efectos, se utilizan los valores que se detallan a continuación.

$$Q_T = 2.312,36 \text{ kg} \quad 2.312 \text{ kg}$$

$$\text{Cos} = 0,9999431 \quad 0,99$$

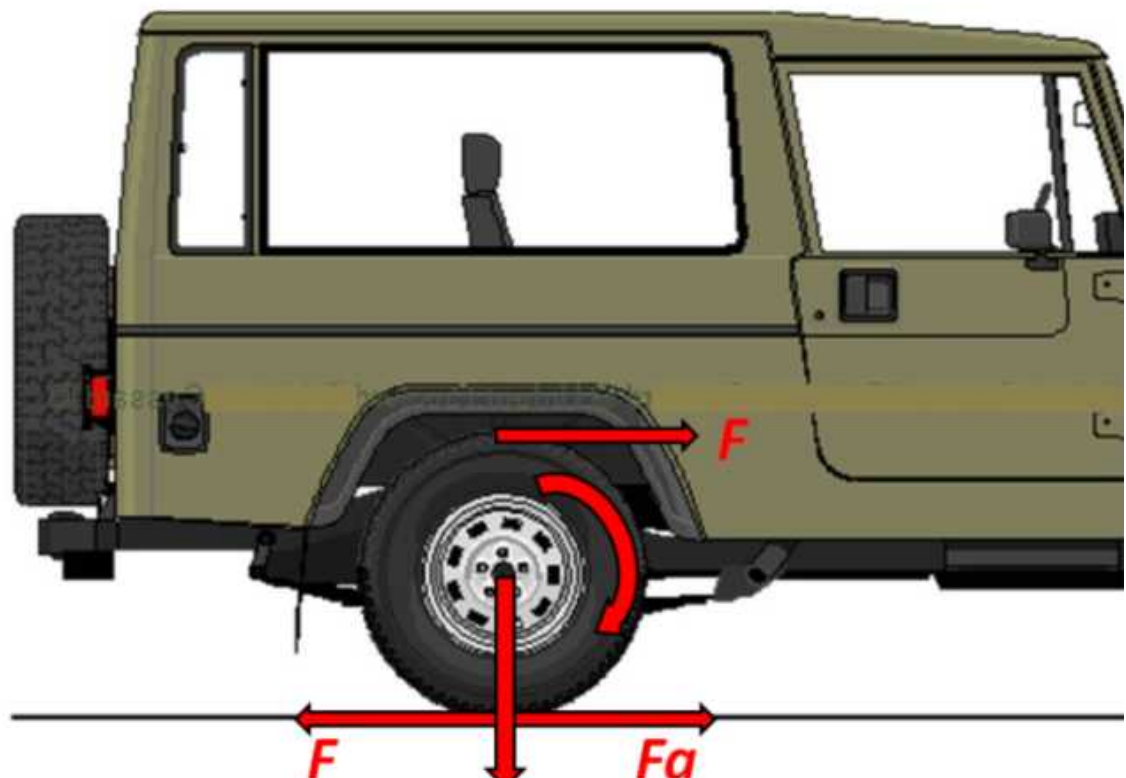
$$\mu_a = 0,6$$

En consecuencia, se obtiene que la  $F_a$  (SCI) es de **1.373 kg**.

- b. Rodadura:** El motor de un vehículo desarrolla un “*Par motor*” o “*Torque*”, que tras ser transmitido por los mecanismos del sistema de transmisión (caja de cambios, cardán, diferencial y ejes), llega finalmente a las ruedas motrices, que para el caso del AIL Storm son las ruedas

traseras cuando funcione en condición 4x2 y las cuatro ruedas cuando se encuentre en la modalidad de tracción total (4x4).

Si la fuerza ( $F$ ) generada en el punto de contacto del neumático con el suelo fuera mayor que la fuerza de adherencia ( $F_a$ ) entre las ruedas motrices y el suelo, entonces la rueda no rodaría, sino que deslizaría y patinaría sobre el terreno. De manera contraria, si la fuerza motriz ( $F$ ) que transmite la rueda es menor que la fuerza de adherencia ( $F_a$ ) entonces la rueda tractora rodará, haciendo que el vehículo avance como es usual. Esto ocurre porque en las ruedas motrices se crea un par llamado “*Par de rodadura*”, que se resiste al movimiento y que hace que el neumático ruede y no deslice sobre el camino.



**Imagen 112:** Fuerza tangencial ( $F$ ) que es transmitida por el neumático en el punto de contacto con el suelo, como consecuencia del par motor aplicado a través del eje en las ruedas; fuente, Roberts C., (2020).

Por lo tanto

- Si  $F > F_a$  Deslizamiento de las ruedas tractoras.
- Si  $F < F_a$  Condición de rodadura.

**c. Resistencia al movimiento del vehículo:** Cualquier vehículo, para poder desplazarse deberá vencer tres tipos de resistencias, junto a otro tipo de fenómenos, como los baches en el camino, piedras, lodo, etc., que son la Resistencia a la rodadura ( $R_r$ ); Resistencia por la pendiente de la carretera ( $R_p$ ) y Resistencia aerodinámica ( $R_a$ ).

1) **Resistencia a la rodadura ( $R_r$ ):** El par de rodadura, que hace que la rueda no deslice, lleva aparejado un esfuerzo o fuerza, que se llama resistencia a la rodadura ( $R_r$ ) y, cuyo valor se obtiene con la siguiente expresión.

$$R_r \text{ (Kgf)} = \mu_r Q_T$$

**Ecuación 33**

Donde

$Q_T$  es el peso total del vehículo, aplicado en su centro de masa.

$\mu_r$  es un coeficiente adimensional, llamado coeficiente de rodadura.

De igual manera, el coeficiente de rodadura ( $\mu_r$ ) es un coeficiente adimensional que se obtiene experimentalmente, dado que depende de múltiples factores, como son: el estado y la presión de los neumáticos, la naturaleza y estado de los firmes (suelo), la velocidad

del vehículo, etc. En la siguiente tabla se indican valores comunes para el coeficiente de rodadura ( $\mu_r$ ) según el estado del camino, condiciones normales de circulación y buen estado de conservación del vehículo.

Valores para el coeficiente de rodadura ( $\mu_r$ )	
Tipo y condición del camino	Coeficiente de rodadura ( $\mu_r$ )
Carretera de cemento	0,0125
Empedrado seco	0,015
Carretera asfaltada	0,02 a 0,03
Terreno natural duro	0,08
Terreno de consistencia media	0,11
Terreno arenoso	0,15 a 0,30

**Tabla 36:** Valores para el coeficiente de rodadura ( $\mu_r$ ); fuentes, [www.causadirecta.com](http://www.causadirecta.com) y [www2.fisica.unlp.edu.ar](http://www2.fisica.unlp.edu.ar)

Para cálculos generales, se emplea un valor medio del coeficiente de rodadura  $\mu_r = 0,02-0,03$ , según los diferentes tipos de caminos que recorre el vehículo arquetipo. Por otro lado, la potencia necesaria que el vehículo debe absorber para poder superar este tipo de resistencia, viene dada por la siguiente expresión.

$$P_r (CV) = \frac{R_r V}{270}$$

**Ecuación 34**

Teniendo en cuenta que  $R_r = \mu_r * Q_T$ , la expresión anterior puede transformarse en la que a continuación se detalla.



$$P_r (CV) = \frac{\mu_r Q_T V}{270}$$

Ecuación 35

$$Q_T : 2.312 \text{ kg.}$$

$$\mu_r : 0,02$$

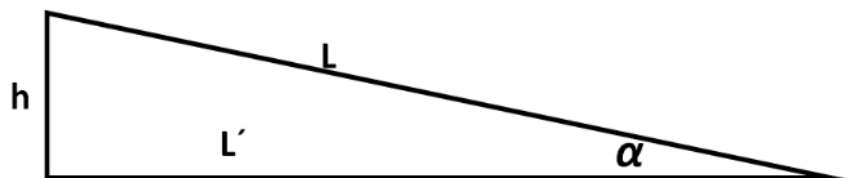
$$V : 90 \text{ km/h}$$

Aplicando la fórmula anterior, se obtiene que  $P_r (CV) = 15,42$ . No obstante, el vehículo debe desarrollar una potencia mayor, debido a las pérdidas que se producen en los mecanismos de transmisión.

a) **Resistencia a la pendiente del camino ( $R_p$ ):** Por definición, la pendiente de la carretera ( $i$ ) es la tangente del ángulo que forma el camino con el plano horizontal, es decir;

$$i = \tan \alpha = \frac{h}{L'}$$

Ecuación 36



Entonces, considerando una distancia de recorrido de 150 km y una diferencia de altura de 1,6 km, se tiene que:

$$L' : 150 \text{ km.}$$

**h** : 1,6 km.

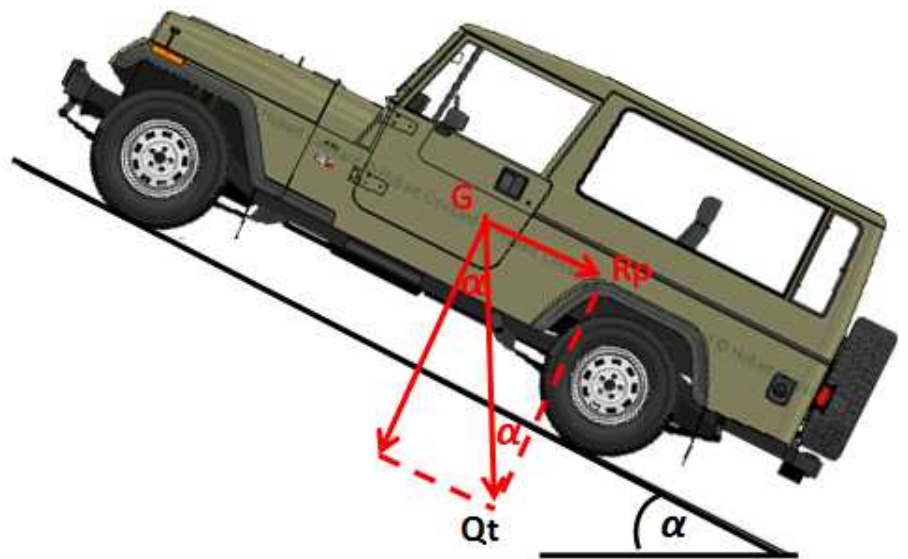
**L** : 150,01 km.

: 0,611°

$$i = \tan \alpha = \frac{1,6}{150}$$

$$i = \tan \alpha = 0,0106$$

De este modo, si  $Q_T$  es el peso total del vehículo aplicado en su centro de masa, cuando éste sube por un camino en pendiente, parte de su peso se opondrá a su movimiento ascendente.



**Imagen 113:** Representación del vehículo en pendiente y las fuerzas que aplican en él; fuente, Roberts C., (2020).

Precisamente, este valor de resistencia debido a la pendiente ( $R_p$ ), se expresará según la siguiente fórmula.

$$R_p(\text{kgf}) = Q_T \cdot i$$

Ecuación 37

Se obtiene la siguiente resistencia a la pendiente,  $R_p(\text{kgf}) = 24,66$

$$Q_T : 2.312 \text{ kg.}$$

$$i : 0,0106$$

La potencia necesaria para vencer esta resistencia se expresa mediante la siguiente fórmula.

$$P_p(\text{CV}) = R_p \frac{V}{270}$$

Ecuación 38

$$R_p : 24,66 \text{ kgf}$$

$$V : 90 \text{ km/h}$$

Se obtiene una  $P_p(\text{CV}) = 8,22$ ; Asimismo, el motor del vehículo deberá desarrollar una potencia mayor que la anteriormente expresada, para tener en cuenta las pérdidas originadas en el sistema de transmisión.

- b) Resistencia aerodinámica ( $R_a$ ):** Es la resistencia que ofrece la masa de aire al desplazamiento del vehículo. La expresión que permite calcular este tipo de resistencia, expresada en kg, es la siguiente fórmula.

$$R_a(kgf) = C_a S V(m/s)^2$$

Ecuación 39

Donde

$V_{(m/s)}$  es la velocidad del vehículo, expresada en  $m/s$ ;

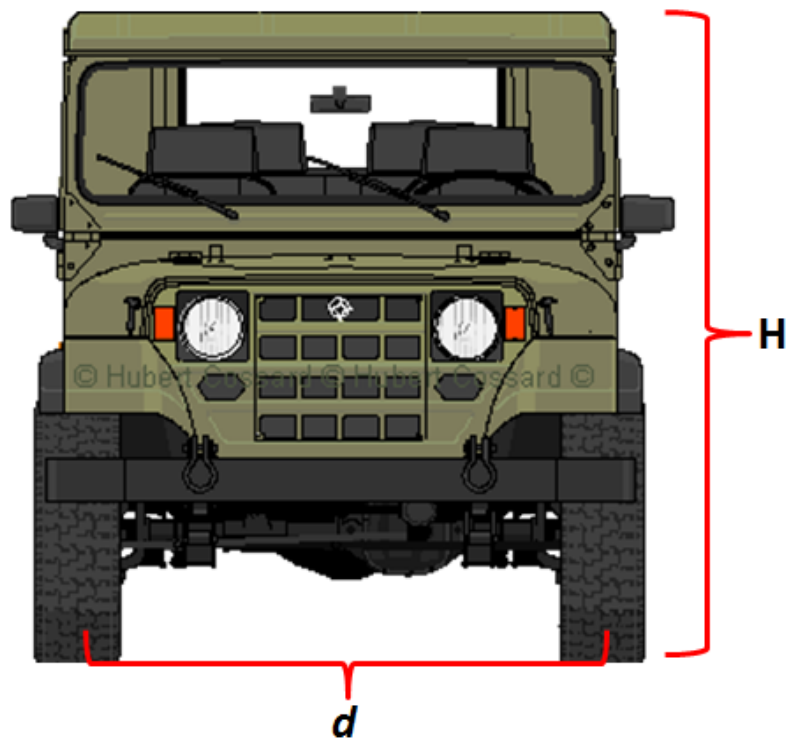
$S$  es la superficie frontal efectiva que ofrece el vehículo, perpendicular al sentido de la marcha, en  $m^2$ ;

$C_a$  es un coeficiente de penetración aerodinámica y cuyos valores se indican en la siguiente tabla.

Valores del coeficiente aerodinámico ( $C_a$ )	
Tipo de vehículo	Coficiente aerodinámico ( $C_a$ )
Camiones	<b>0,050</b>
Vehículos articulados	<b>0,095</b>
Autobuses	<b>0,038</b>
Autobuses con perfil aerodinámico	<b>0,019</b>
Automóviles normales	<b>0,022 a 0,035</b>
Automóviles con perfil aerodinámico	<b>0,010 a 0,019</b>

**Tabla 37:** Valores del coeficiente aerodinámico ( $C_a$ ); para la modelación del vehículo en estudio se utiliza el  $C_a=0,035$ ; fuente, Aguirre F., (2019).

La superficie transversal del vehículo ( $S$ ) que ofrece resistencia al aire, se obtiene como base el ancho de vía del eje delantero (la distancia entre ruedas,  $d$ ) por la altura máxima del vehículo ( $H$ ).



**Imagen 114:** Representación gráfica de la vista frontal del vehículo en estudio; fuente, Roberts C., (2020).

Donde

$$\mathbf{H} = 1,88 \text{ mt.}$$

$$\mathbf{d} = 1,89 \text{ mt.}$$

Dado que la sección real del vehículo que va a ofrecer la resistencia al aire es inferior al valor anterior, se suele aplicar un coeficiente corrector ( $c$ ) que estime el valor del área efectiva ( $S$ ) al valor de la sección real transversal del vehículo. De esta manera se tiene la siguiente expresión.

$$\mathbf{S = c \ d \ H}$$

**Ecuación 40**

La resistencia del vehículo, expresada en kg, quedará de la siguiente manera.

$$R_a(kgf) = C_a \ c \ d \ H \ V (m/s)^2$$

**Ecuación 41**

Donde

$V_{(m/s)}$  velocidad del vehículo, expresada en  $m/s$ ;

$H$  altura máxima del vehículo, en  $m$ ;

$d$  distancia transversal entre las ruedas delanteras, en  $m$ ;

$c$  coeficiente corrector del área transversal efectiva del vehículo, cuyo valor varía entre 0,85 y 0,95.

$C_a$  coeficiente aerodinámico.

Por otro lado, indistintamente se suele emplear la velocidad del vehículo expresada en  $km/h$ , o bien, en  $m/s$ . La relación entre ambas formas de expresar la velocidad es la siguiente.

$$V (m/s) = \frac{V}{3,6}$$

**Ecuación 42**

Donde

$V$  velocidad del vehículo en  $km/h$ .

$V_{(m/s)}$  velocidad del vehículo en  $m/s$ .

Por lo tanto

$$V \text{ (m/s)}^2 = \frac{V^2}{3,6^2}$$

**Ecuación 43**

Para obtener la resistencia al aire ( $R_a$ ), pero expresada en función de la velocidad del vehículo en  $km/h$ , se deduce la siguiente expresión.

$$R_a \text{ (kgf)} = \frac{C_a \ c \ d \ H \ V^2}{3,6^2}$$

**Ecuación 44**

La potencia necesaria para vencer la resistencia al aire, se expresa mediante la siguiente fórmula.

$$P_a \text{ (CV)} = \frac{R_a \ V}{270}$$

**Ecuación 45**

Dado  $R_a = C_a * c * d * H * (V^2/3,6^2)$ , la anterior expresión queda como sigue:

$$P_a \text{ (CV)} = \frac{C_a \ c \ d \ H \ V^3}{270 \ 3,6^2}$$

**Ecuación 46**

Resultando finalmente

$$P_a(\text{CV}) = \frac{C_a \ c \ d \ H \ V^3}{3.510}$$

**Ecuación 47**

La potencia necesaria para vencer la resistencia al aire se estima  $P_a(\text{CV}) = 21,95$ .

Por último, la *resistencia total* que se opone al movimiento del vehículo sería la suma de las anteriores resistencias calculadas, es decir, como lo indica la fórmula siguiente.

$$R_T(\text{kgf}) = R_r + R_p + R_a = Q_T (\mu_r + i) + C_a \ c \ d \ H \frac{V^2}{3,6^2}$$

**Ecuación 48**

Siendo la potencia necesaria para vencer la resistencia total al movimiento, la calculada por esta siguiente expresión.

$$P_T(\text{CV}) = P_r + P_p + P_a = \frac{R_T \ V}{270}$$

**Ecuación 49**

Finalmente, la resistencia total al movimiento es **45,61 CV**, equivalente a **44,98 Hp**, para condiciones de un vehículo totalmente cargado.

- d. Demanda de energía:** Para obtener la demanda de energía en la ruta previamente establecida para el SCI, se puede utilizar la fórmula (Allende



S., 2019) que se indica a continuación.

$$E = \left| (\mu_a \cdot Q_t \cos \alpha) + (Q_t \sin \alpha) + \left( \frac{1}{4} \mu_r S \rho (V_f + V_i) \right) \right| * \Delta d + \frac{1}{2} m (V_f - V_i)$$

**Ecuación 50**

Donde

**E** Energía requerida por el vehículo (SCI).

**$\mu_a$**  Coeficiente de adherencia; 0,6

**$Q_T$**  Peso total del vehículo; 2.312 km.

**$m$**  Masa del vehículo; 235,67 kg.

**$g$**  Constante gravitacional; 9,81 m/s<sup>2</sup>

Ángulo de la pendiente; 0,611°.

**$\mu_r$**  Coeficiente de rodadura del vehículo; 0,02

**S** Superficie frontal del vehículo; 3,55 m<sup>2</sup>

**$\rho$**  Densidad del aire; 1,225 kg/m<sup>3</sup>

**$V_f$**  Velocidad final; 90 km/h.

**$V_i$**  Velocidad inicial; 0 km/h.

**$d$**  Distancia a recorrer; 150 km.

Utilizando la fórmula anterior, la energía requerida para desplazar el SCI AIL Storm, se estima en **222,67 kWh**.

### 2.6.8. Impacto contaminante del vehículo arquetipo.

Estudios recientes (Anenber S., et al., 2018) señalan que a pesar de la adopción de regulaciones de emisiones de vehículos más estrictas, el sector del transporte sigue siendo un importante contribuyente a la contaminación del aire y la contaminación a nivel mundial por sus procesos asociados, propiciando un factor de riesgo para la salud, a través de su contribución de partículas finas elevadas (PM 2.5), ozono y altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

Las actividades de transporte producen emisiones que se materializan principalmente en los gases de los tubos de escape de los vehículos y que se clasifican en evaporativas y emisiones en suspensión, producto del polvo en el camino y partículas del desgaste de los frenos y neumáticos. El sector del transporte (y los vehículos en general) son un elemento central de la gestión que cada gobierno debe realizar para la generación de planes destinados a reducir la contaminación del aire y su carga para la salud pública.

Sin lugar a dudas, es necesario contar con la información suficiente que permita estimar el impacto en la contaminación que produce un vehículo en particular, de manera que puedan definir y adoptar las medidas correctoras en caso de que el nivel de contaminación del mismo sea superior a los límites establecidos en las normas. Esta estimación se basa en la toma de muestras de los contaminantes del vehículo, que permite suministrar una serie de datos a un “*Modelo de emisiones contaminantes*”, como sería el caso del *Modelo Internacional de Emisiones de Vehículos* (Modelo IVE por su siglas en inglés), o el modelo MOVES de la EPA<sup>169</sup>, que realiza la estimación de emisiones para vehículos en ruta. Estos modelos se basan en patrones de conducción fijos para realizar sus cálculos y una serie de ajustes aproximados basados en velocidades

---

<sup>169</sup> EPA: *Environmental Protection Agency*, Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos de América.

en ruta. Ambos modelos, IVE y MOVES permiten que la información acerca del desempeño en la conducción sea cargada directamente al modelo y para llevar a cabo los cálculos de las emisiones respectivas.

**a. Conceptos asociados a la combustión interna:** Para los efectos de la presente tesis, considera los conceptos que a continuación se indican.

**1) Combustión:** Es un proceso de rápida oxidación de un elemento combustible, generando el desprendimiento de energía bajo la forma de calor y luz. La reacción de combustión se resume de la siguiente manera:

Combustible + Comburente = Productos de la combustión.

Entonces; Combustible + Aire =  $\text{CO}_2$  +  $\text{H}_2\text{O}$  + calor; siendo la reacción térmica la que mueve los pistones del motor de combustión interna.

Para lo anterior, es necesario tener presente las definiciones que a continuación se detallan.

**a) Combustibles:** Son todas las sustancias conocidas como hidrocarburos, estas pueden ser carbones minerales, hidrocarburos líquidos e hidrocarburos gaseosos; fundamentalmente todos aquellos que tienen en su composición mayormente carbono e hidrógeno. Los combustibles más empleados son los combustibles fósiles; como el carbón y los derivados del petróleo (gasolina, gasóleo, gases licuados del petróleo o GLP y gas natural, denominado también GNC).

**b) Comburente:** El comburente es un agente oxidante gaseoso

que reacciona con un elemento combustible, oxidándolo mediante reacciones electroquímicas o de reducción-oxidación. El comburente más habitual es el oxígeno del aire, siendo la composición típica del aire, la que a continuación se indica.

Aire	Volumen	Peso
Nitrógeno	78,03%	75,45%
Oxígeno	20,99%	23,20%
Argón	0,94%	1,30%
CO <sub>2</sub>	0,03%	0,05%
Otros	0,01%	Despreciable

**Tabla 38:** Porcentajes de volumen y peso de los componentes del aire; fuentes [www.uc.cl](http://www.uc.cl) y [www.nuestraesfera.cl](http://www.nuestraesfera.cl).

2) **Productos de la combustión:** Los productos de la combustión, mayoritariamente son:

- C CO<sub>2</sub>; carbono a dióxido de carbono.
- H H<sub>2</sub>O; hidrógeno en agua.

Para procesos de combustión incompleta:

- C CO; carbono en monóxido de carbono.
- H H<sub>2</sub> (sólo si hay muy poco O<sub>2</sub>), dihidrógeno o hidrógeno gaseoso.

#### Otros elementos

- N N<sub>2</sub> (aT : NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,...= NO<sub>x</sub>); nitrógeno en óxidos de nitrógeno.

- S SO<sub>2</sub> (SO<sub>3</sub> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, lluvia ácida), azufre en dióxido de azufre.

La mayoría de las reacciones son las que se derivan de los combustibles gaseosos en presencia de oxidantes, como son el caso del oxígeno y el aire. Los principales compuestos resultantes de la reacción son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el agua (H<sub>2</sub>O).

Las reacciones de combustión pueden ser:

- “*Combustión completa*”, cuando todo el carbono se ha transformado u oxidado en dióxido de carbono y todo el hidrógeno en agua.
- “*Combustión incompleta*”, cuando no se ha transformado u oxidado todo el carbono o el hidrógeno, formándose monóxido de carbono (CO) como principal sustancia química.

Las emisiones contaminantes provienen de múltiples factores, tales como los productos de la combustión, el movimiento de los vehículos y las partículas despedidas por el desgaste de neumáticos y frenos. En el caso de la presente tesis, se considerará de manera exclusiva el impacto contaminante proveniente de la combustión interna, para lo cual la fórmula siguiente es la que permite conocer las emisiones por unidades de tiempo.

$$E = FE \quad NA \quad \left( 1 - \frac{Ef}{100} \right)$$

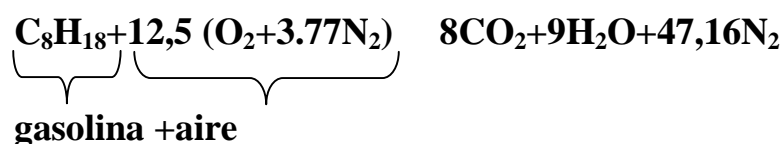
**Ecuación 51**

Donde

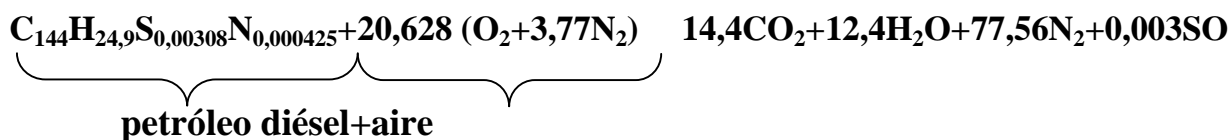
- E** : Emisiones correspondientes a la masa de contaminantes, emitida por unidad de tiempo.
- FE** : Factor de Emisión correspondiente a la masa de contaminantes emitida por distancia recorrida por el vehículo (g/Km.).
- NA** : Nivel de Actividad correspondiente a los km recorridos por el número de vehículos circulantes (km).
- Ef** : Medida de eficiencia de reducción porcentual.

- b. Descripción de las sustancias que integran los gases de escape:** El motor de combustión interna no es capaz de quemar totalmente el combustible en los cilindros. No obstante en esta combustión incompleta, si no es regulada a través de medios tecnológicos (convertidores catalíticos, filtros de partículas, aditivos para el combustible, etc.), sería mayor la cantidad de contaminantes expulsados por los vehículos con motores de combustión interna. La cinética química, también conocida como cinética de reacción, se relaciona la velocidad de la reacción química (Zhongchao T., 2014). Dados dos o más elementos que se transforman en compuestos diferentes, dando lugar a los gases generados en la combustión, podemos concluir que hay unos que son nocivos para la salud y otros no. Se denominan “*Gases de escape*” al material de residuo en forma de gas que ya no tiene utilidad y que se genera como consecuencia de un proceso de combustión. Se representa mediante las ecuaciones siguientes, denominadas “*Ecuación estaquiométrica de la*

gasolina” y “Ecuación estaquiométrica del petróleo Diésel” respectivamente, las cuales se basan en la fracción molar de los gases de escape en una combustión completa de combustible.



Ecuación 52



Ecuación 53

Los gases de escape del motor contienen, además de sustancias inocuas como el vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, también otras sustancias nocivas para las personas y/o el medioambiente, tales como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), de acuerdo a la siguiente tabla.

Contaminante	Principales fuentes	Comentarios <sup>170</sup>
Monóxido de carbono (CO)	Gases de escape de vehículos; algunos procesos industriales.	Máximo permitido: 10 mg/m <sup>3</sup> (9 PPM <sup>171</sup> ) en 8 horas; 40 mg/m <sup>3</sup> en 1 hora (35 PPM)
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Todas las fuentes de combustión.	Posiblemente perjudicial para la salud en concentraciones superiores a 5.000 PPM en 2-8 horas.

<sup>170</sup> Rangos máximos permitidos conforme a la normativa medio ambiental chilena.

<sup>171</sup> PPM; Partículas Por Millón.

<b>Contaminante</b>	<b>Principales fuentes</b>	<b>Comentarios<sup>170</sup></b>
<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón con contenido sulfuroso.	Máximo permitido: 80µg/m <sup>3</sup> (0,03 PPM) en un año; 365µg/m <sup>3</sup> en 24 horas (0,14 PPM).
<b>Partículas en suspensión</b>	Gases de escape de vehículos motorizados; procesos industriales; incineración de residuos; generación de calor y electricidad.	Máximo permitido: 75µg/m <sup>3</sup> en un año; 260µg/m <sup>3</sup> en 24 horas; compuesto de carbón, nitratos, sulfatos y metales, como el plomo, el cobre, hierro y zinc.
<b>Plomo (Pb)</b>	Gases de escape de vehículos motorizados, fundiciones de plomo; fábricas de baterías.	Máximo permitido: 1,5µg/m <sup>3</sup> en 3 meses.
<b>Óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>)</b>	Gases de escape de vehículos motorizados; generación de calor y electricidad; ácido nítrico; explosivos; fábricas de fertilizantes.	Máximo permitido: 100µg/m <sup>3</sup> (0,05 PPM) en un año para el NO <sub>2</sub> .
<b>Oxidantes fotoquímicos (ozono [O<sub>3</sub>])</b>	Se forman en la atmósfera como reacción a los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y luz solar.	Máximo permitido: 235µg/m <sup>3</sup> (0,12 PPM) en 1 hora.
<b>Hidrocarburos no metánicos (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno)</b>	Gases de escape de vehículos motorizados; evaporación de disolventes; procesos industriales; eliminación de residuos sólidos.	Reaccionan con los NO <sub>x</sub> y la luz solar para formar oxidantes fotoquímicos.

**Tabla 39:** Clasificación de los gases contaminantes; fuentes, [www.gob.mx](http://www.gob.mx) y “Guía de la calidad del aire y educación ambiental”, Gobierno de Chile, (2019).

Estas sustancias representan sólo una parte reducida de todas las emisiones de un motor de combustión interna: el 1,1% en los motores de gasolina y el 0,2% en los motores que funcionan con gasóleo (diésel). Es



por ello necesario diferenciar los gases emitidos por los vehículos dotados de motores de gasolina de los que usan gasóleo, ya que es éste último el combustible que utilizan la mayoría de los vehículos pesados, siendo más contaminante que la gasolina.

La “Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer”<sup>172</sup> categoriza como “*Carcinógenos*”<sup>173</sup> a los gases de escape emitidos por los motores diésel.

Sustancias contaminantes como son el caso de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), (que suponen entre el 40% y el 50% de las sustancias generadas para el caso de los vehículos pesados), o las partículas finas (PM 2.5), pueden causar “*Enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares y otros problemas de salud*”, según la “*Agencia Europea de Medio Ambiente*”<sup>174</sup> (AEMA). Asimismo los vehículos emiten también Gases de Efecto Invernadero<sup>175</sup> y que están relacionados con el cambio climático (OCDE, 2019).

En relación con lo anterior, los gases de escape emitidos por los vehículos a gasolina y los que funcionan con gasóleo, se puede evidenciar en los gráficos que a continuación se detallan.

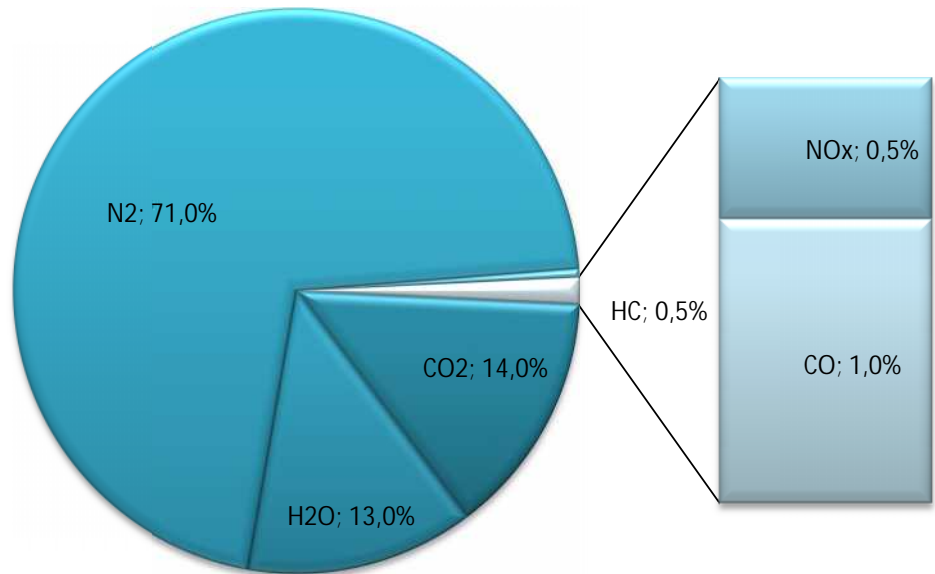
---

<sup>172</sup> <https://www.iarc.fr/>

<sup>173</sup> Agente físico, químico o biológico potencialmente capaz de producir cáncer al exponerse a tejidos vivos.

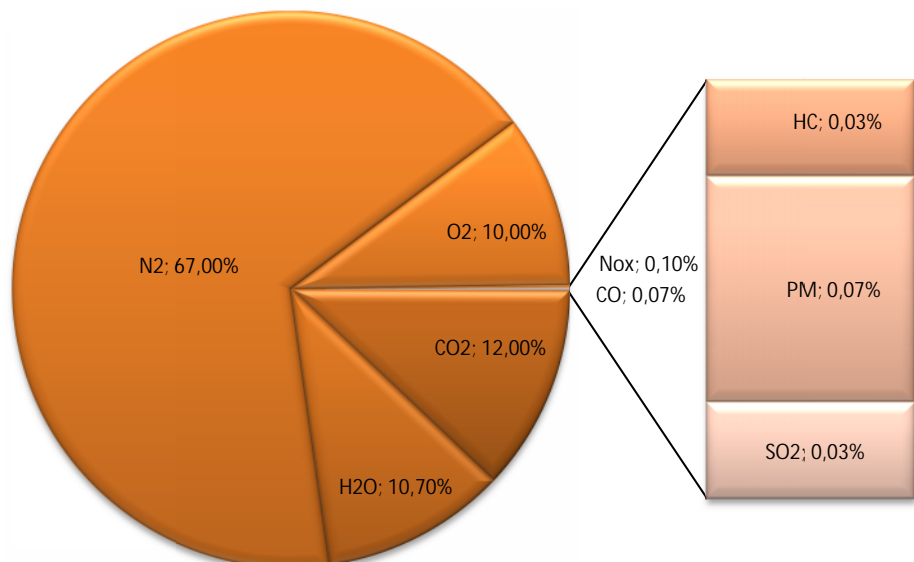
<sup>174</sup> <https://www.eea.europa.eu/es>

<sup>175</sup> Son gases que se encuentran presentes en la atmósfera y que dan lugar al fenómeno denominado “*Efecto invernadero*”, su concentración atmosférica es baja, pero tienen una importancia fundamental en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, haciéndola permanecer en un rango de valores aptos para la existencia de vida en el planeta. Los más importantes son el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los clorofluorcarbonos (CFC) y el ozono (O<sub>3</sub>).



**Gráfico 37:** Representación porcentual de los gases de escape de un vehículo con motor a gasolina (ciclo Otto); fuente, Walsh M. (2008).

Estas sustancias nocivas representan sólo una parte mínima de todas las emisiones de un motor de gasolina y que suponen el 1,1%. La mayor parte de los gases de escape están compuestos por nitrógeno, agua y CO<sub>2</sub>.



**Gráfico 38:** Representación porcentual de los gases de escape de un vehículo con motor diésel (gasóleo); fuente, Walsh M. (2008).

En los motores diésel (gasóleo), las sustancias nocivas representan una parte muy pequeña de la totalidad de las emisiones; solamente el 0,2%. Mayoritariamente los gases de escape están compuestos por nitrógeno, agua y CO<sub>2</sub>, al igual que las emisiones de los vehículos con motores a gasolina.

- c. **Compuestos contaminantes producto de la combustión interna:** La clasificación de los compuestos contaminantes se realiza conforme a distintos criterios (Caballero M., 2011), tal y como se resume en la siguiente tabla.

<b>Criterio</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Según su origen</b>	Naturales	Emitidos por procesos naturales, sin intervención humana.
	Antropogénicos	Emitidos por actividades humanas o con intervención de éste.
<b>Según su efecto</b>	Efecto local	Efecto localizado en una región geográfica particular, cercana al punto de emisión.
	Efecto global	Efecto extendido a nivel global, no importando el punto geográfico de emisión.
<b>Tipo de contaminante</b>	Contaminante primario	Contaminante emitido directamente de la fuente.
	Contaminante secundario	Contaminante formado posterior a la emisión desde la fuente, producto de reacciones químicas en el medio ambiente.
	Contaminante de transferencia	Contaminante de paso entre un medio a otro.
<b>Según fuente emisora</b>	Fuente fija	Es toda fuente diseñada para operar en un lugar geográfico fijo.

Criterio	Clasificación	Observaciones
	Fuente móvil	Es toda fuente que se desplaza a través de distintos lugares geográficos. Se trata principalmente de medios de transporte. Se dividen en “ <i>Fuentes en ruta</i> ”, relacionada con actividades de transporte terrestre en rutas establecidas y “ <i>Fuentes fuera de ruta</i> ”, que corresponde al uso de maquinarias móviles y otros medios de transporte que no sea en rutas terrestres.

**Tabla 40:** Clasificación de las fuentes contaminantes; fuente, Caballero M., (2011).

Considerando los objetivos del presente estudio, las fuentes móviles contaminantes son las que concentran nuestra atención; toda vez que estas fuentes móviles contaminantes, difieren según su peso y potencia, y tienen diferentes configuraciones de motores y tecnologías y, por consiguiente, son causante en distinta medida del impacto de sus emisiones contaminantes.

**d. Clasificación de las fuentes móviles contaminantes:** Para los efectos considerados en Chile, es necesario tener en cuenta la clasificación de los vehículos que presenta (Osses M., 2003) en su trabajo titulado el “*Modelo de Emisiones de los Vehículos*” MODEM. Este modelo es el que utilizan los distintos organismos gubernamentales chilenos (MIDEPLAN, 2010) para estimar la emisión de las fuentes móviles. Se compone de diferentes tipos de vehículos, que se clasifican en transporte público, de carga y privado de pasajeros, tal y como a continuación se detalla.

1) Autobuses de servicios “*troncales*” (vías principales) y “*alimentadores*” que corresponden a autobuses de tamaño menor, que transportan pasajeros desde zonas habitacionales hasta las vías

principales, donde se encuentran los servicios troncales y el tren subterráneo (Metro).

- 2) Taxis colectivos<sup>176</sup>.
- 3) Camiones livianos, medianos y pesados, según su PBV:
  - Camiones livianos, corresponden a aquellos camiones (vehículos de carga) con PBV menor a 7.500 kg.
  - Camiones medianos, corresponden a aquellos camiones con PBV entre los 7.500 y 16.000 kg.
  - Camiones pesados, corresponden a aquellos camiones con PBV mayor a 16.000 kg.
- 4) Vehículos particulares, entendiéndose por éstos el conjunto de vehículos con PBV menor a 4.800 kg, integrados por:
  - Automóviles particulares y taxis.
  - Camionetas.
  - Furgones y similares.
- 5) Motocicletas.

Para efectos de las categorías señaladas anteriormente, el vehículo militar seleccionado, por su peso y características, se clasifica en el concepto ***“Camionetas con PBV menor a 4.800 kg”***.

**e. Emisiones de los vehículos y los componentes de los gases de escape:**

Para entender el concepto de *“Contaminación atmosférica”*, ésta se define como *“La presencia de sustancias extrañas a la composición habitual del*

---

<sup>176</sup> Taxis compartidos por diferentes pasajeros, con recorridos previamente establecidos.

*aire, en un lugar y durante un cierto período de tiempo determinados; estas sustancias pueden ser perjudiciales para el desarrollo normal de la vida vegetal, animal y humana” (MINSAL, 2016).*

Asimismo, para comprender cuando existe contaminación atmosférica, es necesario conocer la composición regular del aire, el cual es básicamente nitrógeno ( $N_2$ ) en un 78%, oxígeno ( $O_2$ ) aproximadamente en un 21% y un 1% de otros gases. El nitrógeno durante la combustión, en principio no se combina y tal como ingresa al motor, es expulsado sin modificaciones, excepto en pequeñas cantidades, para formar óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ). El oxígeno es el elemento indispensable para producir la combustión de la mezcla. Así, en el contexto de la composición de los gases de escape de un vehículo, estos suelen estar conformados por monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, material particulado e hidrocarburos, todos los cuales representan una fracción pequeña del total de los gases de escape.

La cuantificación de los elementos que componen la contaminación atmosférica producto del uso de vehículos con motores de combustión interna (Madrid L., 2003), es necesaria para el diseño e implementación de medidas paliativas en relación con esta problemática. Estos inventarios pueden obtenerse de manera empírica, lo que resulta muy complejo, o en su defecto mediante el uso de modelos de emisiones de vehículos, que estimen los aportes contaminantes en función de un modelo matemático.

Dado lo anterior, en materia de empírica (Corvalán R., et al., 2003), *“La metodología de cálculo de emisiones de los vehículos se basa en la determinación de factores de emisión y nivel de actividad característicos de las distintas categorías”*. Dichos factores corresponden a las emisiones

contaminantes, medidas en gramos por kilómetro recorrido, que evidentemente se ven influenciados por factores del vehículo en particular, como lo son su tecnología, mantenimiento y calidad del combustible y, por otro lado, por los factores asociados a las dinámicas de conducción, como lo son las velocidades de desplazamiento, aceleraciones y frenados.

Una forma de calcular las emisiones de los vehículos de transporte, es utilizar un modelo lineal aproximado (Saber A.Y., et al., 2011), como sigue:

$$E_i(L_i, e_i) = L_i \cdot e_i$$

**Ecuación 54**

Donde

$E_i$  : Función de emisiones del vehículo  $i$

$L_i$  : Distancia recorrida por el vehículo  $i$  en kms.

$e_i$  : Emisiones contaminantes del vehículo  $i$  por km.

Por otra parte, la siguiente formulación (Corvalán R., et al., 2003), permite estimar las emisiones de las fuentes móviles en ruta.

$$E_{hora\ ijk} = F_{jk} \cdot L_j \cdot FE(V)_{jk} \cdot PF_{jk} \cdot C_{jk}$$

**Ecuación 55**

Donde

$E_{hora\ ijk}$  : Emisiones del contaminante  $i$  (en gr), en un arco  $j$  para la categoría  $k$  del vehículo en una hora determinada.

- $F_{jk}$  : Flujo de vehículos (veh/h) total en el arco  $j$  para la categoría  $k$  del vehículo.
- $L_j$  : Largo en kilómetros del arco sometido a evaluación.
- $FE(V)_{ik}$  : Factor de emisión en función de la velocidad (gr/km) del contaminante  $i$  para la categoría  $k$  evaluada.
- $PF_{jk}$  : Perfil de flujo total, correspondiente a la hora evaluada.
- $C_{jk}$  : Composición o fracción del flujo total en el arco  $j$  perteneciente a la categoría  $k$  para la hora evaluada.

### 2.6.9. Modelo de Emisiones de los Vehículos IVE, formulación teórica.

Por otro lado, considerando una cuantificación de emisiones, que resulte compleja por factores topográficos, será necesaria la aplicación de modelos de emisiones de vehículos, que posibilitan obtener los niveles de avance en la descontaminación del aire una vez que las medidas de control han sido implementadas. Estos modelos de emisiones de los vehículos se han desarrollado para conocer las tasas de emisiones en zonas determinadas o el análisis de la exposición en intersecciones o rutas.

En estos desarrollos han participado diferentes centros de investigación (gubernamentales y privados) de Europa<sup>177</sup> (Agencia Ambiental Europea<sup>178</sup>), Estados Unidos<sup>179</sup> y a nivel local en Chile (Osses M., 2003), a través de la

<sup>177</sup> La “*Guía Alemana de Factores de Emisión*”, el modelo TREMOD y el modelo COPERT, desarrollado por la Agencia Ambiental Europea.

<sup>178</sup> <https://www.eea.europa.eu/es>

<sup>179</sup> El modelo MOBILE 6, desarrollado por la EPA de los Estados Unidos; el modelo MOVES, también desarrollado por la EPA; el modelo EMFAC de la Junta de Recursos del Aire de California; el Modelo Integral de Emisiones Modales (CMEM) de la Universidad de California y el modelo internacional de Emisiones de Vehículos (IVE) del Centro de Investigación ISSRC en conjunto con la Universidad de California.



aplicación MODEM, que está basada en el modelo ESTRAUS<sup>180</sup>, mediante el cual se realizaron los siguientes estudios, que derivaron en la aplicación de restricciones al paso de vehículos en Santiago de Chile para paliar los efectos de la contaminación.

- *“Análisis de evaluaciones y reevaluaciones Expost, VI etapa”*, octubre 1999 a marzo de 2000.
- *“Actualización del modelo de cálculo de emisiones de los vehículos”*, marzo a noviembre de 2001.
- *“Análisis económico-ambiental de planes de desarrollo STU”*, marzo a noviembre de 2001.
- *“Diagnóstico ambiental de las redes de transporte y energía”*, marzo a octubre de 2001.

En la década de los 90' la EPA y otros centros de investigación, observan que hay una correlación entre la demanda de potencia (Energía) de un vehículo y las emisiones que éste produce. Esta observación tiene pleno sentido desde el punto de vista del proceso de la combustión, ya que como lo señala la primera Ley de la termodinámica, la conservación de energía requiere que un vehículo consuma combustible en la misma proporción que la demanda energética del mismo. Es evidente que demandas superiores de energía, necesitan un mayor consumo de combustible y por consiguiente, se emitirán mayores cantidades de contaminantes a la atmósfera, si la razón aire/combustible y otras variables de impacto sobre las emisiones se mantienen.

Existen dos formas de incorporar el uso de combustible o la demanda de

---

<sup>180</sup> Modelo de simulación del equilibrio entre oferta y demanda en el mercado de transporte urbano, desarrollado por el Estado de Chile a partir de los años 80'.

potencia en los modelos de emisiones de los vehículos. El primer método es un modelo de emisión deductivo basado en consumo de combustible, el cual relaciona las emisiones con la cantidad del insumo utilizado. Un segundo enfoque es un modelo físico inductivo que pronostique las emisiones en función de la potencia del motor y en el consumo de combustible para un vehículo específico. Este método permite calcular las variaciones en las emisiones como una función de varios parámetros, incluyendo el consumo de combustible.

Una manera útil de estimar el consumo de combustible es a través de la medición de la potencia específica del vehículo, teniendo en cuenta que la demanda de potencia impacta sobre las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> del vehículo. En este sentido, las emisiones de CO<sub>2</sub> varían linealmente con respecto a la demanda de potencia y el consumo de combustible. Las emisiones de CO muestran un cambio mucho mayor en sus tasas de emisión en relación a la demanda de potencia. La razón de esta sensibilidad en el CO se debe a que la mezcla de aire/combustible en el motor cambia a medida que los vehículos aceleran o desaceleran.

En el modelo IVE (versión 2.0) se estiman las emisiones, tomando la fracción de tiempo que un vehículo consume en cada una de las 60 fracciones de demanda de potencia y multiplicando esta fracción por un factor de ajuste de emisiones. La sumatoria de las 60 multiplicaciones permite obtener un factor de corrección promedio para ese patrón de conducción. Los factores de ajuste de emisiones para cada fracción se basan en datos de prueba. La siguiente ecuación indica el proceso de cálculo para obtener el factor de corrección de conducción para el modelo IVE.

$$K_{p[t]} = \sum_b C_{b[t]} F_b$$

Ecuación 56

En este caso

$K_{p[t]}$  = Factor de corrección global de conducción para la tecnología  $t$ .

$C_{b[t]}$  = Ajuste de corrección de conducción para la fracción de potencia  $b$  y tecnología  $t$ .

$F_b$  = Fracción de tiempo en que el vehículo conduce en la fracción de potencia  $b$ , la suma es desde la fracción 0 a la fracción 59.

Las emisiones se estiman con mayor fiabilidad en el modelo IVE, al estar basado en factores de operación de otros vehículos que tienen un impacto sobre éstas, al estar condicionados por otras variables, tales como: la altitud, la temperatura ambiente y la calidad del combustible.

Los valores de las emisiones para un vehículo se determinan basándose en sus factores de operación y su potencial interacción. La siguiente ecuación permite calcular la tasa de emisión base ajustada.

$$Q_{[t]} = B_{[t]} K_{p[t]} K_{2[t]} K_{3[t]} \dots \dots K_{x[t]}$$

Ecuación 57

En este caso, el subíndice “ $t$ ” se refiere a la tecnología del vehículo y el número en el subíndice se refiere a los distintos factores de ajuste que se han definidos en la tabla siguiente;

$B[t]$  hace referencia a la tasa de emisión base en el modelo, tanto para emisiones de partida como para emisiones en marcha.

$Kp[t]$  hace referencia al factor de ajuste determinado a partir de las estadísticas de demanda de potencia.

En el caso de emisiones de partida,  $Kp[t]=1$  debido a que no existe un ajuste de conducción.

Ajustes de área local		Ajustes de calidad del combustible		Ajustes de potencia y conducción	
1	Temperatura ambiente	6	Calidad de la gasolina	13	Ajustes de conducción
2	Humedad ambiental	7	Azufre en la gasolina	14	Pendiente en la ruta
3	Altura promedio	8	Plomo en la gasolina	15	Uso del aire acondicionado
4	Inspección/mantenimiento	9	Benceno en la gasolina	16	Ajustes de partida
5	Ajuste de emisión base	10	Oxigenato en la gasolina		
		11	Calidad del petróleo diésel		
		12	Azufre en el petróleo diésel		

**Tabla 41:** Factores de ajuste utilizados en el Modelo IVE; fuente, Manual del Usuario del Modelo IVE, Versión 2.0, (2008).

Una vez se determina el factor de emisión base ajustada  $Q[t]$  para cada tecnología de interés, entonces las emisiones de partida y marcha para la flota pueden ser calculadas como se muestra en las dos ecuaciones siguientes.

$$Q_{marcha} = D \left( \frac{\bar{U}_{LA4}}{\bar{U}_{C|t|}} \right) * \sum_t \{ f|t| Q|t| \} \int_d (f|dt| K|dt|) \{$$

**Ecuación 58**

$$Q_{partida} = N \sum_t \{f|t| Q|t| \sum_d (f|st| K|st|)\}$$

Ecuación 59

Variable	Descripción
<b>D</b>	Distancia recorrida total, medida en km.
$\bar{U}_{LA4}$	Velocidad media en el segmento LA 4: 31,8 km/h.
$\bar{U}_{C t }$	Velocidad promedio del ciclo de conducción de tecnología <i>t</i> .
$f t $	Fracción del total recorrido D, por distancia de tecnología de vehículo <i>t</i> .
$Q t $	Tasa de emisión ajustada para tecnología <i>t</i> .
$f dt $	Fracción de tiempo utilizado en cada <i>bin</i> <sup>181</sup> de conducción <i>d</i> según tecnología <i>t</i> .
$K dt $	Factor de ajuste para cada <i>bin</i> de conducción <i>d</i> para cada tecnología <i>t</i> , hay 60 posibles <i>bins</i> de potencia en el modelo IVE.
<b>N</b>	Número total de vehículos a ser evaluados, si se define N=1, entonces el resultado será las emisiones de partida de la flota por partida de vehículo.
$f st $	Fracción de partidas de un vehículo en cada <i>bin</i> de reposo <i>s</i> para la tecnología <i>t</i> ; hay 10 posibles <i>bins</i> de reposo en el Modelo IVE y 1400 posibles tecnologías.
$K st $	Factor de ajuste para cada <i>bin</i> de reposo <i>s</i> para cada tecnología <i>t</i> ; hay 10 posibles <i>bins</i> de reposo en el Modelo IVE.

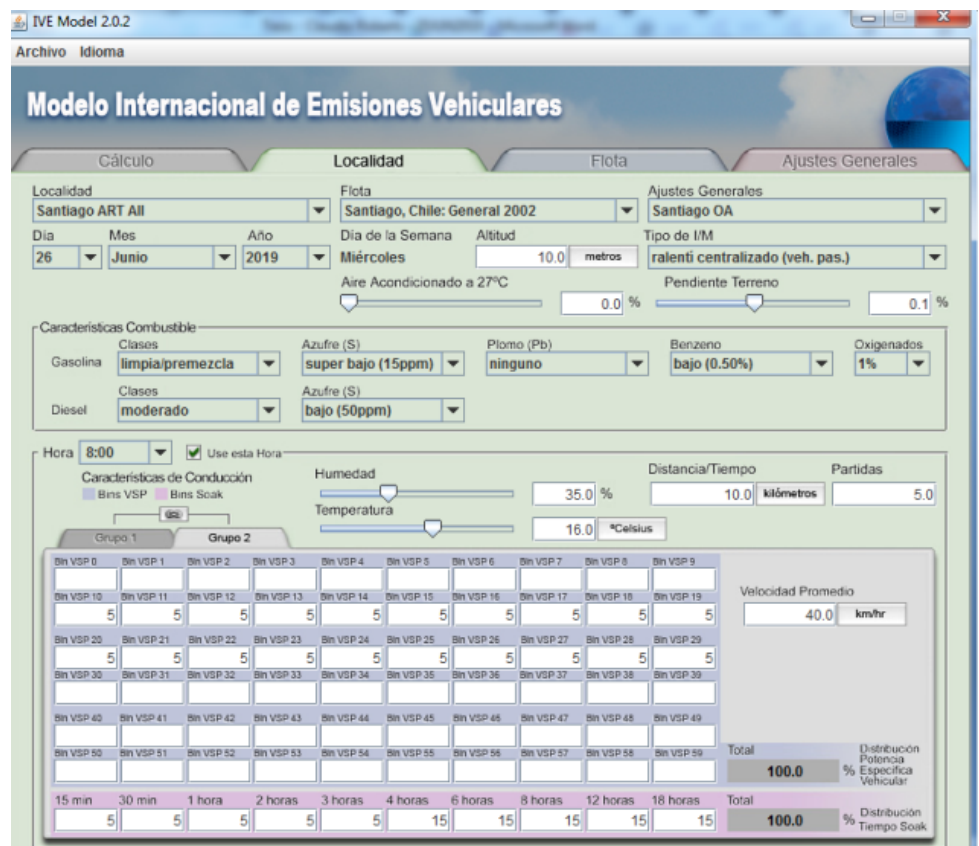
**Tabla 42:** Descripción de las variables del Modelo IVE; fuente, Manual del Usuario del Modelo IVE, Versión 2.0 (2008).

$Q$  marcha y  $Q$  partida pueden ser calculados para cada hora del día y para cada tipo de ruta a ser evaluada. El Modelo IVE permite que todas estas posibilidades sean calculadas a la vez y que puedan ser evaluadas independientemente. La información requerida por el modelo IVE para distribuciones de tecnología en flotas es suministrada al modelo a través de lo que se denomina un “*Archivo de flota*”. Los datos pueden ser suministrados al modelo como un archivo de texto. La información que necesita el Modelo IVE

<sup>181</sup> Tramo de conducción.

para una ubicación en particular se entrega al modelo en lo que se denomina un “*Archivo de ubicación*”; y el modelo puede hacer uso de cientos de archivos de flota y cientos de archivos de ubicación permitiendo una flexibilidad considerable.

- a. **Aplicación del Modelo IVE:** Dada la formulación teórica del Modelo IVE para la estimación del impacto contaminante del vehículo arquetipo, se utilizan los datos de la toma de muestras, para incorporarlos en el software<sup>182</sup> *International Vehicle Emission Model V2.0.2*, lo que permite lograr uno de los objetivos de esta investigación, “*Determinar el impacto contaminante del vehículo militar arquetipo*”, el cual se modela en función del trayecto recorrido.



**Imagen 115:** Captura de pantalla del Modelo de Emisiones de los Vehículos IVE; fuente, Roberts C., (2020).

<sup>182</sup> <http://www.issrc.org/>

**b. Toma de muestra de gases de escape:** Con el propósito de obtener los datos de partida para el Modelo IVE, es necesaria la toma de muestra de gases de escape de un número representativo de vehículos arquetipo. Es relevante considerar que las condiciones técnicas y de seguridad de los vehículos se conserven a lo largo de su vida útil (Ferreiro A., et al., 2005), implicando la necesidad de mantenimientos regulares, lo cual se verifica anualmente mediante las “*Revisiones técnicas*” en plantas especializadas (conocido en España como *Inspección Técnica de Vehículos*), y que para el caso de Chile, son obligatorias únicamente para automóviles civiles, toda vez que los vehículos militares no son validados anualmente por el organismo fiscalizador para su circulación. A pesar de ello, se llevan a cabo los mantenimientos regulares que realizan las Fuerzas Armadas con sus propios medios, siguiendo las indicaciones de los manuales de los fabricantes. Desde el punto de vista medioambiental, se realiza el análisis de los gases de escape, para lo cual es fundamental la utilización de un dinamómetro, que conforme al Decreto 149 (MINTRATEL-Chile, 2006), se define como un equipamiento que consta de rodillos y una unidad de absorción de potencia, permitiendo simular las condiciones de circulación de un vehículo, a distintas velocidades y potencias de ensayo.

Lo anterior se realiza en un ambiente controlado y con un equipo analizador de gases, instrumento que permite obtener el resultado de las emisiones de los gases de un vehículo motorizado.



**Imagen 116:** Dinamómetro (rodillos); fuente, Roberts C., (2019).



**Imagen 117:** Dinamómetro; fuente, Roberts C., (2019).



**Imagen 118:** Planta analizadora de gases; fuente, Roberts C., (2019).



**Imagen 119:** Equipo analizador de gases; fuente, Roberts C., (2019).



**Imagen 120:** Componentes del analizador de gases; fuente, Roberts C., (2019).



1) **Diagnóstico:** Para efectuar el diagnóstico de los gases de escape de los vehículos de prueba, se procedió a la selección de cinco SCI AIL Storm, en condiciones normales de funcionamiento (vehículos que utilizaron combustible de la misma procedencia) y mantenimiento (vehículos con sus mantenimientos al día, conforme al manual respectivo). Para el desarrollo de la toma de muestras, previo al inicio de la medición de gases, se comprobó los siguientes puntos.

**a) Con el motor detenido:**

- Nivel de aceite del motor.
- La temperatura normal de funcionamiento del motor.
- Verificación de las condiciones mecánicas del motor, tales como fugas de aceite o refrigerante.
- Estado y tensión de la correa de distribución y correas auxiliares.
- Estado de mantenimiento del vehículo en general.
- Kilometraje del vehículo.

**b) Con el motor en funcionamiento:**

- Presión de aceite.
- Eventuales fugas de gases por el sistema de escape.

**c) Procedimiento de toma de muestras:** La medición se realiza cuando el vehículo se encuentra a la temperatura de funcionamiento, realizándose las mediciones a cada vehículo, conforme lo especificado en el Decreto 149, mediante un

analizador de gases del tipo infrarrojo no dispersivo que se utiliza para medir las emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub>, siguiendo los procedimientos que se detallan:

- Modo de ensayo en carga que se realiza a 24 km/h, denominado “*Modo 5015*” (15 millas por hora).
- Modo de ensayo en carga que se realiza a 40 km/h, denominado “*Modo 2525*” (25 millas por hora).

Asimismo, las condiciones de ubicación y atmosféricas fueron las que se indican en la tabla siguiente.

Ciudad	Condición atmosférica			
	Altitud	Temperatura	Presión	Humedad
Santiago de Chile	570 MSNM	25°C	1017 hPa	33,1%

**Tabla 43:** Registros atmosféricos para el control de gases; fuente, Roberts C., (2019).

**d) Parámetros permitidos:** Para que un vehículo apruebe, los resultados del análisis de emisiones en “*Modo 5015*” y “*Modo 2525*” conforme al Decreto 149, las emisiones deben ser inferiores a los máximos permitidos, según los siguientes parámetros, teniendo presente que la cilindrada del motor es de 4.000 cc.

		Cilindrada del motor (cc)			
		1.000	1.001 a 2.000	> 2.000	
Furgón, camioneta, todo terreno, Jeep o similares (inferiores al año 1998)	Modo 5015	HC (ppm)	233	197	150
		CO (%)	1,77	1,50	1,13
		NO (ppm)	3267	2887	2123
	Modo 2525	HC (ppm)	226	191	145
		CO (%)	2,18	1,84	1,38
		NO (ppm)	3204	2678	1970

**Tabla 44:** Límites máximos permitidos de emisiones contaminantes de vehículos motorizados según cilindrada, para la Región Metropolitana (Santiago de Chile); fuente, Gobierno de Chile, M. de Transportes y Telecomunicaciones, Decreto 149, (2006).

Además, en el análisis visual, los vehículos no deben presentar “*Humo visible negro*” o “*Humo visible azul*”.

- 2) **Resultados de la toma de muestras.** Teniendo en cuenta que los AIL Storm de la muestra entraron en servicio en el año 1.996, y que a la fecha tienen 25 años de uso, se obtuvieron los siguientes resultados, bajo los parámetros que se indican.

Vehículo de muestra	Kilometraje	Humo visible negro	Humo visible azul
1	254.490	No	No
2	136.887	No	No
3	201.998	No	No
4	197.255	No	No
5	183.264	No	No

**Tabla 45:** Resultados de toma de muestras de análisis visual; fuente, Roberts C., (2019).

Vehículo de muestra	CO		HC		NO <sub>x</sub>	
	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525
1	1,10	1,32	152	148	2134	1995
2	1,12	1,40	144	142	2117	1972
3	1,08	1,35	149	147	2120	1968
4	1,16	1,41	147	142	2130	1975
5	1,11	1,29	153	147	2121	1988

**Tabla 46:** Resultados de la toma de muestras de gases de escape, valores en color rojo fuera de la norma; fuente, Roberts C., (2019).

- 3) **Procesamiento de los datos:** Los datos del punto anterior, obtenidos de la toma de muestras, deben ser tabulados y analizados. Dicho análisis se realiza con la finalidad de validar los datos y el ensayo, a través de las siguientes fórmulas.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

**Ecuación 60**

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N}$$

**Ecuación 61**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

**Ecuación 62**

Donde

**X** : Media aritmética o promedio.

- $\sigma^2$  : Varianza.
- $\sigma$  : Desviación estándar.
- $n$  : Número de valores.

Se obtiene

CO		HC		NO <sub>x</sub>	
$\bar{X}_{5015}$	$\bar{X}_{2525}$	$\bar{X}_{5015}$	$\bar{X}_{2525}$	$\bar{X}_{5015}$	$\bar{X}_{2525}$
1,114%	1,354%	149 ppm	145,2 ppm	2124,4 ppm	1979,6 ppm

**Tabla 47:** Promedio de la toma de muestras, valores en color rojo fuera de la norma; fuente, Roberts C., (2019).

CO		HC		NO <sub>x</sub>	
$\sigma^2_{5015}$	$\sigma^2_{2525}$	$\sigma^2_{5015}$	$\sigma^2_{2525}$	$\sigma^2_{5015}$	$\sigma^2_{2525}$
0,001	0,003	13,50	8,70	52,30	130,30

**Tabla 48:** Varianza de la toma de muestras; fuente, Roberts C., (2019).

CO		HC		NO <sub>x</sub>	
$\sigma_{5015}$	$\sigma_{2525}$	$\sigma_{5015}$	$\sigma_{2525}$	$\sigma_{5015}$	$\sigma_{2525}$
0,03	0,05	3,67	2,95	7,23	11,41

**Tabla 49:** Desviación estándar de la toma de muestras; fuente, Roberts C., (2019).

Para el cálculo de los límites superior e inferior de la tolerancia de los valores, se utiliza las siguientes fórmulas.

$$Lim\ Sup = \bar{X} + \frac{5\sigma}{\sqrt{n}}$$

**Ecuación 63**

$$Lim\ Inf = \bar{X} - \frac{5\sigma}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 64

Donde

*Lim Sup* : Límite superior de tolerancia.

*Lim Inf* : Límite inferior de tolerancia.

Por lo tanto, para el “*Modo 5015*”.

CO		HC		NO <sub>x</sub>	
<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>	<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>	<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>
1,04%	1,18%	140,8 ppm	157,2 ppm	2108,2 ppm	2140,6 ppm

**Tabla 50:** Límite inferior y superior de la toma de muestras, *modo 5015*, valores en color rojo fuera de la norma; fuente, Roberts C., (2019).

Entonces, para el “*Modo 2525*”.

CO		HC		NO <sub>x</sub>	
<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>	<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>	<i>Lim. Inf.</i>	<i>Lim. Sup.</i>
1,24%	1,47%	138,6 ppm	151,8 ppm	1954,1 ppm	2005,1 ppm

**Tabla 51:** Límite inferior y superior de la toma de muestras, *modo 2525*, valores en color rojo fuera de la norma; fuente, Roberts C., (2019).

#### 4) Conclusiones de los resultados obtenidos de la toma de muestras:

De los resultados individuales, podemos concluir que los vehículos de la muestra presentan diferentes condiciones. Sus emisiones contaminantes se encuentran fuera de la norma y se correlacionan con los kilometrajes de cada uno de ellos, lo que se estima es debido al desgaste propio de los motores.

Por otra parte, al ser analizados en su conjunto, como una muestra representativa, se observa que el límite inferior es superado en los HC, lo que puede producirse por una mezcla rica en combustible, falta de mantenimiento o que no hay suficiente aire para sustentar la combustión completa. Asimismo, los límites superiores son rebasados en relación con las emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub>, lo que puede ser debido a los factores que se indican a continuación.

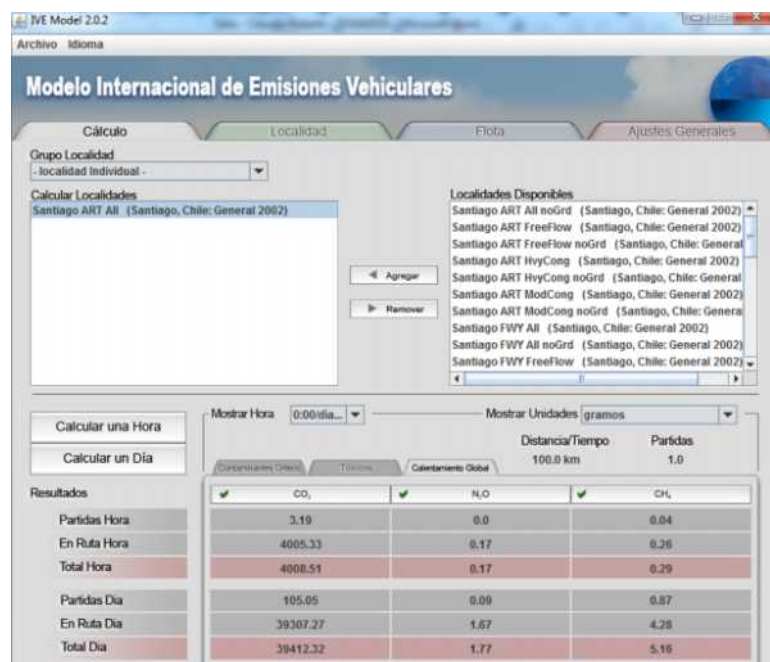
- **CO sobre la norma:** Se forma en concentraciones que superan los márgenes cuando la combustión es incompleta y están relacionados con una mezcla rica.
- **HC sobre la norma:** Se sobrepasan los límites cuando existe una mezcla rica en combustible, falta de mantenimiento o insuficiente aire para conseguir la combustión completa.
- **NO<sub>x</sub> sobre la norma:** Se revela por condiciones de temperatura y presión superiores a lo establecido por el fabricante. Esto sucede por fallos en la válvula de circulación de gases de escape, lo que eleva la temperatura, o fallos en el sistema de refrigeración del vehículo.

En definitiva, se obtiene que los vehículos superan los límites de emisiones establecidos en las normas, en función de los años de uso y de sus condiciones de mantenimiento, lo que se traduce en considerar a estos medios de transporte como “*Contaminantes*”.

- c. **Resultados de la aplicación del Modelo IVE:** Para la aplicación del modelo IVE, sobre las emisiones de un SCI AIL Storm en 100 km, se

utilizaron los parámetros que se indican.

- Vehículo completamente cargado (4 pasajeros con equipo; 500 kg).
- Gasolina de 95 octanos, sin plomo.
- Pendiente; 1%
- Diferencias de altitud; de 10 a 1.600 metros, en subida.
- Horarios y detalle del recorrido:
  - 08:00 AM, 10 km de recorrido (zona urbana), humedad 30%, temperatura 16°C, velocidad 40 km/h, 5 detenciones (ocasionadas por el tránsito).
  - 09:00 AM, 30 km de recorrido (carretera), humedad 25%, temperatura 25°C, velocidad 90 km/h, 1 detención.
  - 10:00 AM, 60 km de recorrido (fuera de carretera), humedad 20%, temperatura 30°C, velocidad 50 km/h, 8 detenciones.



**Imagen 121:** Captura de pantalla de la aplicación del modelo IVE; fuente, Roberts C., (2020).



A partir de los datos anteriores, se obtuvieron los resultados que se indican a continuación.

- Emisiones de CO<sub>2</sub> en 100 km; 39,412 kg de CO<sub>2</sub>
- Emisiones de N<sub>2</sub>O en 100 km; 1,77 gramos de N<sub>2</sub>O
- Emisiones de CH<sub>4</sub> en 100 km; 5,16 gramos de CH<sub>4</sub>

**d. Análisis de los resultados:** Los resultados obtenidos, tanto de la toma de muestras como de la aplicación del modelo IVE, nos entrega importante información, permitiendo dilucidar que el SCI AIL Storm no es un medio de transporte que cumpla con los estándares actuales de emisiones contaminantes de los vehículos, superando las normas que se establecen para la circulación de los vehículos motorizados en Chile. El modelo IVE, permite obtener las emisiones contaminantes de un vehículo en 100 kilómetros de recorrido, lo que puede ser extrapolado a los recorridos previstos y contrastado con lo que se indica en el **apartado 3.8.3 “Beneficios medioambientales”** de la presente tesis.

## **2.7. Discusión.**

Los sistemas de almacenamiento de energía son vitales y críticos para un vehículo eléctrico, toda vez que de ello dependerán las prestaciones del VE, en especial su autonomía. Los países productores de insumos para la fabricación de baterías, actualmente cuentan con los conocimientos y el interés por fabricar los sistemas de almacenamiento de energía, pero no cuentan con la totalidad de los componentes y, por otra parte, la consolidación de las industrias asiáticas, hace muy difícil la penetración en dicho mercado, limitándose en la actualidad a la participación como proveedores de materia prima.

En este contexto, junto con los diferentes tipos y configuraciones de sistemas de almacenamiento de energía, es necesario contar con información de detalle que posibilite la selección del mismo, incorporando un balance entre rendimiento, peso y precio. Analizando los datos obtenidos, se llega a la conclusión que por un principio de eficiencia, una configuración en *serie/paralelo* y la *batería consolidada de fosfato de Hierro-Litio (LiFePO<sub>4</sub>)*, son los sistemas que proporcionan las mejores prestaciones.

Asimismo, en dicho nivel de criticidad, los métodos de recarga de energía eléctrica del sistema de baterías de un VE, nos indican que desde el punto de vista económico y medioambiental (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>), los VEs son una tecnología a tener en cuenta cuando se comparan con los vehículos que cuentan con un motor de combustión interna. Por otra parte, dada la posibilidad de los sistemas de recarga y aprovechando las condiciones excepcionales de radiación solar en Chile, la implementación de estaciones de recarga fotovoltaicas, se estima que es una buena alternativa, y que reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> a un precio razonable y además entregan flexibilidad a un VE.

Por otra parte, el vehículo arquetipo está diseñado como un todo terreno de gran nivel, cuyo uso como medio militar de transporte de tropas es el apropiado, lo que se demuestra al seguir cumpliendo servicios en diferentes ejércitos del mundo, pese a sus años de antigüedad. El modelo de vehículo seleccionado, dadas las condiciones de uso, mantenimiento y antigüedad, es un medio que no se encuentra alineado con los esfuerzos mundiales en materia de descontaminación.

## **CAPÍTULO III Desarrollo de la investigación**

### **3.1. Diseño de conversión del vehículo (de SCI a VE)**

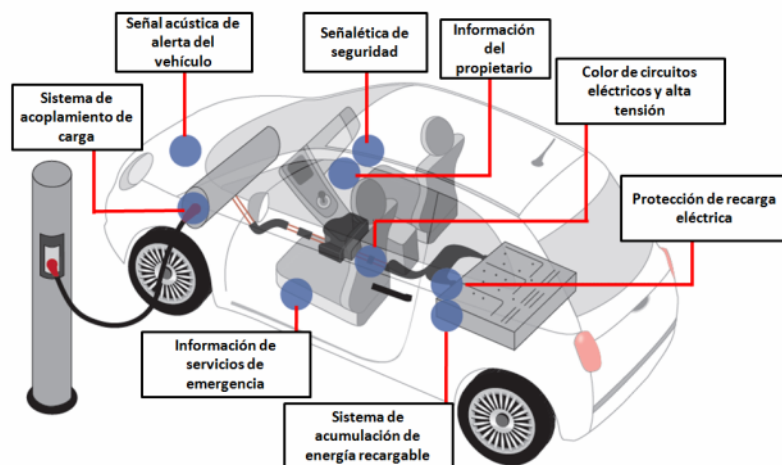
Para transformar el SCI en un VE, cumpliendo con los parámetros establecidos previamente, es necesario realizar varios pasos:

- Selección de un vehículo, sus componentes y la forma de cargar el sistema de baterías.
- Verificar si el uso de un sistema de almacenamiento de energía, basado en baterías de iones de Litio es más eficiente y tiene un menor impacto ambiental que las baterías de ácido-plomo.

Tomando como ejemplo un VE de tamaño medio a pequeño, es posible estimar que éstos son más eficientes que los SCIs en áreas urbanas, ya que el motor a bajas revoluciones requiere alrededor de 5 kWh para hacer girar sus ejes, superando la fricción interna, lo que es menor que lo requerido por un SCI bajo las mismas condiciones. No obstante, el presente estudio busca resultados para el uso y explotación de vehículo militar, cuyo empleo en parte será fuera de la carretera, realizando esfuerzos mayores, que naturalmente consumen más energía y limitan los alcances de éstos. Es esta condición de autonomía la que eventualmente da una ventaja al vehículo de combustión interna por sobre el VE, ya que el primero cuenta con una vasta red de suministro en diferentes lugares (gasolineras) y puede contar incluso con combustible en recipientes portátiles, versus la capacidad de desplazamiento con que cuenta un VE, que depende de la capacidad de sus baterías, la disponibilidad de puntos de recarga y los tipos de conectores con que se cuente en éstos lugares.

Por otra parte, al igual que para los SCI, se deberá tener presente los estándares de seguridad para los VEs. Estos estándares a la fecha se encuentran en análisis por parte

de la Organización Mundial de Comercio (OMC). Dichas consideraciones de seguridad se muestran en la imagen siguiente.



**Imagen 122:** Sistemas de seguridad sugeridos para los VEs comerciales; fuente, Anuario automotriz de la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), (2018).

En ese mismo sentido, agrupaciones de servicio público, como Bomberos, han manifestado últimamente la necesidad de contar con capacitación, instrumentos y acceso a los habitáculos de las baterías de los vehículos eléctricos, en especial a los autobuses, de manera de disminuir el riesgo de sus voluntarios ante situaciones de emergencia, como se muestra en la imagen siguiente<sup>183</sup>.



**Imagen 123:** Autobús eléctrico incendiándose en Santiago de Chile, producto de manifestaciones en la vía pública, Bomberos “*insiste en la necesidad de contar con las llaves para acceder al habitáculo de las baterías y así disminuir el riesgo de accidente a los voluntarios*”; fuente, [www.biobiochile.cl](http://www.biobiochile.cl)

<sup>183</sup> <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-metropolitana/2020/10/08/bomberos-de-nunoa-piden-al-mtt-tener-llaves-de-baterias-por-riesgos-en-incendios-de-buses-electricos.shtml>

En este contexto, y de conformidad con la normativa chilena (Gobierno de Chile, Decreto 145–2017), los vehículos eléctricos e híbridos deben contar con los elementos y sistemas que a continuación se indican, basados en las normas establecidas por el *Code of Federal Regulations* de los Estados Unidos de América, las *Directivas de Seguridad de la Comunidad Económica Europea* y por las *Regulaciones de Seguridad definidas por Japón/Corea*, que en cada caso se señalan:

- a.** *Sistema de Acumulación de Energía Recargable.* Reglamento 100 CEPE/ONU; 571.305 CFR 49-571; S.R.R.V. Attachment 101 y 111; oK.M.V.S.S. Arts. 2, 18-3, 91.
- b.** *Sistema de Acoplamiento de Carga.* SAE J1772 (Society of Automotive Engineers) Electric Vehicle and Plug-in Hybrid Electric Vehicle conductive charge coupler; IEC 62196 (ISO/International Electrotechnical Commission) Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets-conductive charging of electric vehicles; Japan Electric Vehicle Standard G105-1993, CHAdeMO cargador rápido de corriente continua.
- c.** *Protección contra descargas eléctricas.* Reglamento 100 CEPE/ONU; 571.305 CFR 49-571; S.R.R.V. Attachment 101 y 111; oK.M.V.S.S. Arts. 2, 18-3, 91.
- d.** *Señalética de Seguridad.* Reglamento 100 CEPE/ONU; 571.305 CFR 49-571; S.R.R.V. Attachment 101 y 111; oK.M.V.S.S. Arts. 2, 18-3, 91.
- e.** *Sistema Acústico de Alerta de vehículo.* 571.141 CFR 49-571; Reglamento (UE) 540/2014.

Principalmente, las medidas de seguridad se centran en la identificación de que el vehículo eléctrico cuenta con sistemas de alto voltaje, la forma de desconexión en caso de accidente y la protección de las baterías. Es muy importante tener presente que un

VE aún contiene energía eléctrica en la batería cuando está apagado y estacionado. En su fabricación se deben contemplar disruptores o “*Corta corrientes*”, que mantengan el voltaje de tracción dentro de la batería principal y aislado del resto del vehículo (Sandé B., 2013), tomando en cuenta que un voltaje superior a 60 VDC es potencialmente peligroso para las personas y que aunque una batería se considere “*Vacía*” o descargada, todavía tiene un voltaje considerable.

Junto con las anteriores medidas de seguridad señaladas, es importante tener presente que, por el desempeño de éstos, eventualmente los vehículos eléctricos pueden tener una condición de riesgo en su uso, ya que los conductores se deben adaptar<sup>184</sup> a las prestaciones de los mismos. Esto, en parte puede estar generado por una diferencia en la aceleración desde el reposo, dado que en un SCI es gradual, pero en un VE se encuentra una mejor capacidad de aceleración, ya que éste entrega casi todo su par motor desde el inicio, por lo que “*Produce que los conductores puedan ir más rápido de lo previsto*”, en contraposición a los modelos convencionales que toman más tiempo en ello.

En este orden de ideas, también se debe considerar como un factor de importancia el ajuste en la distancia de frenado, por la menor masa del vehículo, así como la casi inexistencia de ruidos asociados al funcionamiento del motor, lo que puede poner en peligro a eventuales peatones que no se percaten de la presencia de un VE circulando.

Finalmente, en materia de seguridad no se dispone de estudios que vinculen las actuaciones de las unidades de emergencia (policía, bomberos y/o equipos médicos) que puedan reaccionar ante la escena de un accidente de un vehículo eléctrico y el eventual peligro que puedan ocasionar sus componentes, en especial los vinculados a las baterías, ya sea por el voltaje o por la inflamabilidad de éstas.

---

<sup>184</sup> <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/autos-electricos-40-sufrir-accidentes/797859/>

### 3.1.1. Selección del vehículo.

Para proceder, lo primero es contar con un vehículo SCI AIL Storm en buenas condiciones, ya que es una transformación, no una restauración. El vehículo deberá tener todos sus componentes originales, ya que muchos de ellos o sus conexiones deberán transformarse. Asimismo, se deben considerar los pesos y dimensiones de los elementos que se retirarán, con el fin de no afectar el balance del vehículo una vez que sea transformado a VE.

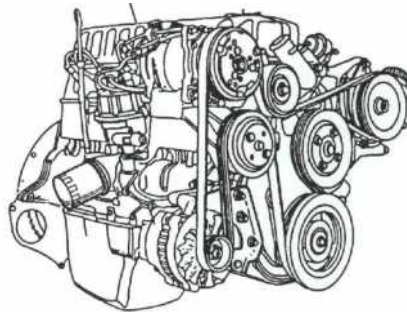
**a. Remoción de los componentes que no se utilizarán:** Comparativamente, los vehículos pequeños necesitan menos energía que los de tamaño superior para ser utilizados, lo que limita el rango de uso asociado a la capacidad de las baterías. Al modificar un vehículo para transformarlo en VE, a partir de un SCI, es necesario eliminar algunos componentes relacionados con el motor de combustión interna, como los sistemas que a continuación se indican.

- Motor y componentes asociados (SCI).
- Depósito e instalación de combustible.
- Sistema de escape y silenciador.
- Radiador y sistema de calefacción.
- Filtros.
- Otros componentes y/o accesorios no esenciales.

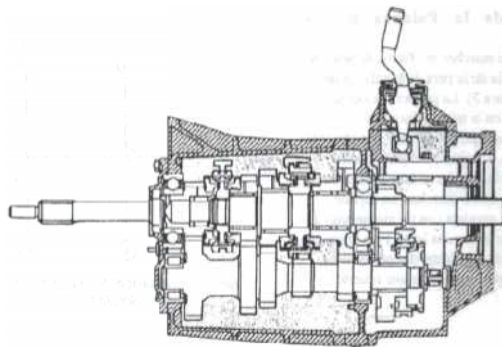


**Imagen 124:** Depósito de combustible removido de un SCI; fuente, Ramírez G. (2019).

Al eliminar estos componentes, el vehículo pierde peso y libera espacio disponible, lo que facilita la instalación de los nuevos sistemas que posibilitan la conversión. Algunos componentes, como la dirección asistida y los frenos de potencia, deben conservarse por razones de seguridad. El sistema de transmisión debe permanecer en su lugar, ya que se conectará al nuevo motor eléctrico.

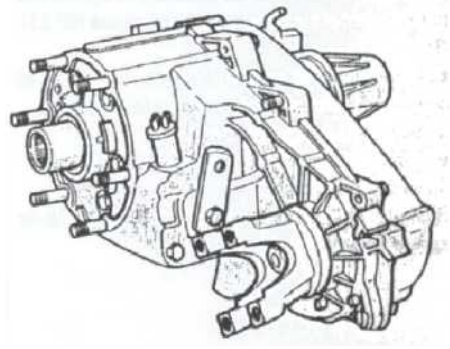


**Imagen 125:** Imágenes del motor de combustión interna (AMC - 4 litros, 6 cilindros en línea); fuente, Manual de servicio AIL Storm.



**Imagen 126:** Sistema de transmisión (caja de cambios manual); fuente, Manual de servicio AIL Storm.





**Imagen 127:** Caja de transferencia (tracción 4x2 y 4x4 Low-High); fuente, Manual de servicio AIL Storm.

**b. Pérdida de peso en el vehículo, producto de la eliminación de componentes:** Al eliminar los componentes, se le resta peso al vehículo arquetipo, según se indica a continuación.

- Motor de combustión interna (SCI) y accesorios; 255 kg.
- Depósito de combustible (vacío); 32 kg.
- Tuberías de combustible y filtros; 3 kg.
- Sistema de escape y silenciador; 15 kg.
- Sistema de enfriamiento del SCI (radiador); 12 kg.
- Sistema de calefacción y mangueras; 20 kg.
- Otros componentes; 93 kg.

**Total; 430 kg.**

**c. Componentes requeridos:** Se requiere como mínimo, los componentes que se listan a continuación, junto a las herramientas e instalaciones apropiadas para el desarrollo de la actividad, sin dejar de lado que los componentes removidos deben contar con una disposición final, acorde con la sostenibilidad propuesta.

- Motor eléctrico.

- Placa de acople (unión del motor eléctrico con el sistema de transmisión del vehículo).
- Acople.
- Regulador.
- Frenos y sistema de dirección.
- Sistema de baterías.
- Otros componentes (herramientas, equipos, cables, etc.).

**1) Selección del motor eléctrico:** Como definición (Vukosavic S., 2017), las “*Máquinas eléctricas que convierten el trabajo mecánico en energía eléctrica, se llaman generadores eléctricos*”, por otra parte “*Las máquinas eléctricas que convierten la energía eléctrica en trabajo mecánico se llaman motores eléctricos*”. La selección de un motor para la movilidad eléctrica y la transformación de un vehículo de combustión interna (SCI) en un VE es una de las fases más importantes, ya que esta elección determinará el rendimiento final del nuevo VE.

En la selección de un motor para aplicaciones de movilidad eléctrica, la principal razón para la selección correcta (Quiñónez M., 2010) dentro de este tipo de proyectos, es aquel que realice un trabajo de manera óptima, sin que presente problemas en su funcionamiento en el tiempo, para lo que es necesario considerar los siguientes criterios:

- a) Tamaño físico, de manera que quepa dentro del vano motor.
- b) Tipo de corriente, alterna o continua.

- c) Voltaje de funcionamiento, de manera que la potencia que desarrolle el motor sea la correcta, sin forzar la máquina y sus componentes internos.
- d) Condiciones de ambiente de trabajo. El ambiente donde el motor va a ser utilizado, debe estar dentro de los parámetros de temperatura, humedad y altitud de funcionamiento que el fabricante estipule, lo que posibilita su correcto funcionamiento y cumplir con su vida útil estimada.
- e) Carga a mover por el motor. Se debe realizar un correcto dimensionamiento de la carga que el motor va a mover, para que éste cuente con la potencia suficiente para realizarla, más un margen de seguridad, el cual posibilita aceleraciones extraordinarias o requerimientos de emergencia.
- f) Velocidad de trabajo del motor. La cual depende de las necesidades del VE y del trabajo que el motor realiza.

Estos motores o máquinas eléctricas realizan la conversión de energía eléctrica en trabajo mecánico, cuyos principios (Vokosavic S., 2017) se basan en una ley física, la *Ley de Lorentz*, que determina que una partícula cargada  $q$  que circula a una velocidad  $v$  por un punto en el que existe una intensidad de campo magnético  $B$ , sufrirá la acción de una fuerza  $F$ , denominada fuerza de Lorentz, cuyo valor es proporcional al valor de  $q$ ,  $B$  y  $v$ , como detalla la ecuación y el gráfico siguiente.

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} * \vec{B})$$

Ecuación 65

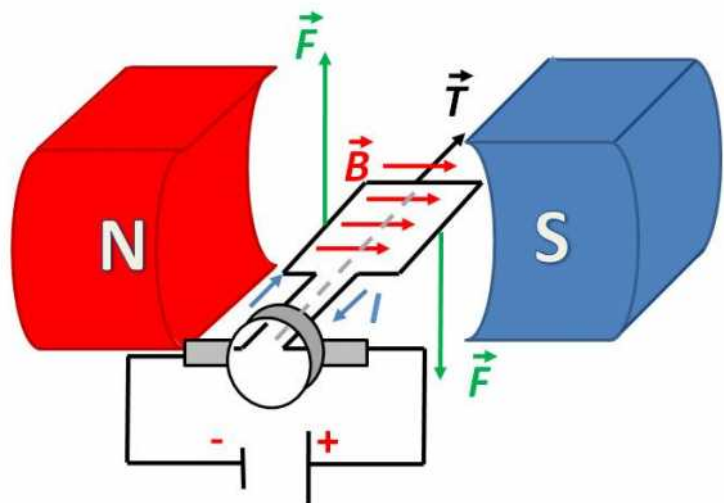
Donde

$v$  velocidad de la carga.

$E$  vector de intensidad de campo eléctrico.

$q$  partícula con carga.

$B$  vector de inducción magnética.



**Gráfico 39:** Esquema de un motor eléctrico de corriente continua; fuente, Vokosavic S., (2017).

No se puede dejar de lado en la selección del motor que se utilizará en la movilidad eléctrica, aspectos tan importantes como el impacto ambiental de los materiales que los constituyen, su capacidad de ser reciclados y los niveles de ruido en su uso (Sandé B., 2013).

Para la selección de un motor, se debe tener presente que no existe “*un mejor tipo de motor*”, sino diferentes tipos de éstos que cuentan

con características propias<sup>185</sup>, que los hacen ser óptimos para ciertas funciones y útiles para otras, además del natural contraste que se produce en sus costes. En el amplio mercado de los motores eléctricos, se dispone de diferentes modelos, formas, capacidades y corriente de funcionamiento (corriente alterna y corriente continua), siendo esta última condición la que otorga mayores diferencias, como se detalla a continuación (Videla A., 2016).

- Motores de corriente alterna (CA), que corresponden a aquellos motores más utilizados en la industria en general. Utilizan la corriente disponible en la red y pueden dividirse en tres tipos:
  - Monofásicos (1 fase).
  - Bifásicos (2 fases).
  - Trifásicos (3 fases).
- Motores de corriente continua (CC), cuya característica es que es posible regular la velocidad de giro del motor. Utilizan la energía que proviene de acumuladores, tales como las pilas y las baterías.
- Motores universales, que tienen la forma de un motor de corriente continua, pero están diseñados para funcionar con corriente alterna. Se utilizan en máquinas de pequeña potencia, como taladros, aspiradoras y equipos domésticos.

En el caso de los motores que funcionan con corriente alterna (CA), el motor es solamente compatible con la corriente proporcionada por

---

<sup>185</sup> <https://www.tesla.com/blog/induction-versus-dc-brushless-motors>

la red instalada (monofásica, bifásica o trifásica) por lo que para su instalación en VEs, requerirá añadir un inversor de corriente para hacerlo funcionar con la energía que proporcionan las baterías (corriente continua), lo que hace posible tener una velocidad variable, pero cuyo par motor será más bajo en comparación con las máquinas de corriente continua. Por otro lado, los motores de corriente continua (CC) tienen dos o más imanes permanentes que generan un campo magnético que al ser aplicada la energía eléctrica, hace girar su rotor con un par motor suficiente, en relación con el voltaje aplicado.

En este sentido, para efectos de electro movilidad, globalmente se utilizan motores de 72V de corriente continua (CC) con un par motor cercano a los 50 hp, ya que si inicialmente el SCI tiene más par motor, la reducción del peso al retirar el motor y otros componentes equilibran esta pérdida de potencia.

En general, los motores de corriente continua son muy económicos, fabricándose a través de procesos técnicos modernos, que implican robustez, economía y fiabilidad. Por esto, un motor que ha sido probado en múltiples conversiones es el *Warp 11-HV*, el cual ha sido específicamente diseñado para ser usado en VEs, ya que tiene un eje de doble extremo, que permite además de la propulsión del vehículo el funcionamiento de accesorios importantes, como la dirección hidráulica y los frenos de potencia. Asimismo, sus dimensiones y forma son aptas para ejecutar la transformación de un vehículo. Las características de este motor son las que se detallan en el listado siguiente.

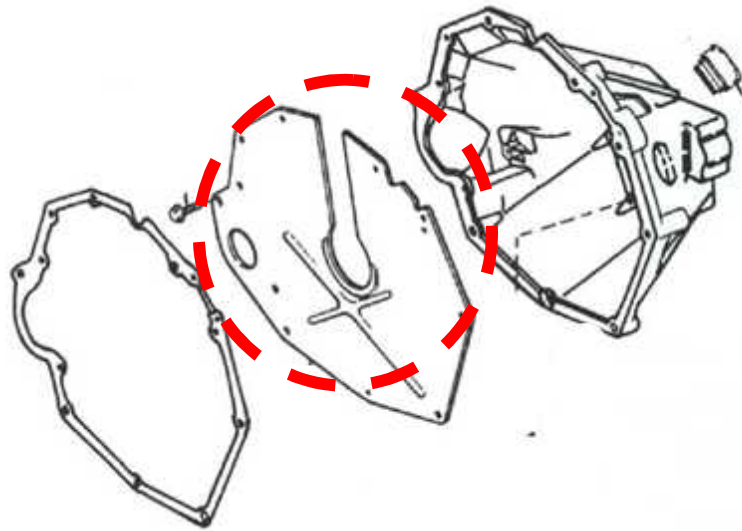
- Modelo; Warp 11-HV DC Motor.
- Coste; USD 3.190 (Norteamérica), equivalente a 2.903 €
- Diámetro del motor eléctrico; 29 cm.
- Largo de la carcasa; 43 cm.
- Longitud del eje del motor de extremo a extremo; 63 cm.
- Tipo de corriente; Corriente Continua.
- Peso; 101 kg.
- Máximo voltaje permitido; 280V.
- Potencia nominal; 58 hp, 72V y 597A.
- RpM continua; 5.000 RpM.
- RpM máximas; 8.000 RpM.
- Eficiencia máxima; 88%
- Refrigeración; Ventilador interno.
- Temperatura máxima de operación; 180°C.



**Imagen 128:** Motor *Warp* 11-HVDC; fuente, [www.electrincarpartscompany.com](http://www.electrincarpartscompany.com)

2) **Placa adaptadora:** La transmisión original del AIL Storm se debe conservar a fin de ser utilizada como una forma de conectar la

potencia del motor eléctrico a las ruedas del vehículo. La conexión de la transferencia, que tiene una forma definida para el SCI, se realiza a través de una “*Placa adaptadora*”, que puede ser de acero (20 kg) o aluminio (12 kg), contando con los orificios para alinear la transmisión y el extremo (eje) del motor eléctrico, para lo cual el centro del eje del motor y el centro del eje de transmisión deben estar perfectamente alineados.



**Imagen 129:** Placa adaptadora de transmisión; fuente, Manual de servicio AIL Storm.

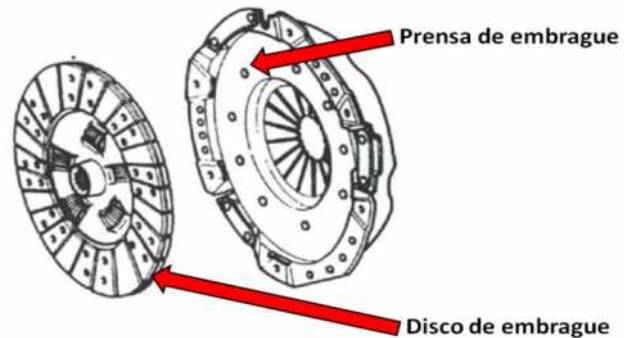
Dado que es necesaria la reducción de peso en el sistema, es recomendable que la placa adaptadora que se seleccione sea la fabricada en aluminio, cuyo peso es 8 kg menor que la de acero.

Antes de fijar el motor y la transmisión junto con la placa adaptadora, se debe incorporar un acoplador que conecte mecánicamente ambos ejes.

- 3) **Acople:** El acople o “*acoplador*” es un medio para conectar la potencia rotativa del motor eléctrico a la transmisión para alimentar



el vehículo. Si bien hay varias formas de hacerlo, como mantener el embrague y mecanizar el volante, es más sencillo usar un conector tipo “*Lovejoy*”, que entre otras ventajas, reduce el peso del sistema de transmisión.



**Imagen 130:** Sistema de embrague del vehículo arquetipo; fuente, Manual de servicio AIL Storm.



**Imagen 131:** Motor *Warp* adosado a una placa adaptadora y prensa de embrague; fuente [www.go-ev.com](http://www.go-ev.com)

Los conectores *Lovejoy* son la alternativa para el reemplazo del sistema de embrague, ya que permiten acoplar o desacoplar el motor de la transmisión a bajo coste, siendo sólo necesario unir un extremo del conector *Lovejoy* al eje del motor y el otro, a la placa de embrague sujeta a la caja de transferencia, sin perder el pedal y el sistema de embrague original del vehículo. Los conectores *Lovejoy* pesan 3 kg y cuestan alrededor de USD 100 (91 €).



**Imagen 132:** Conector *Lovejoy*; fuente, [www.lovejoy-inc.com](http://www.lovejoy-inc.com)

- 4) **Controlador:** El controlador es una parte vital en la conversión de un VE, regulando la potencia suministrada por el sistema de almacenamiento de energía al motor. Este equipo permitirá acelerar y desacelerar, junto con la administración de la recarga del sistema de batería y la fuente de alimentación del motor de Corriente Continua.

Los controladores se basan en un microprocesador (Kurucz A., 2014) para un control uniforme de los motores de excitación independiente. Deben ser capaces de detectar fallos, leer y controlar múltiples variables, en especial la aceleración, la operación del interruptor del acelerador y el voltaje de las baterías, administrando los 72V del sistema de almacenamiento de energía.

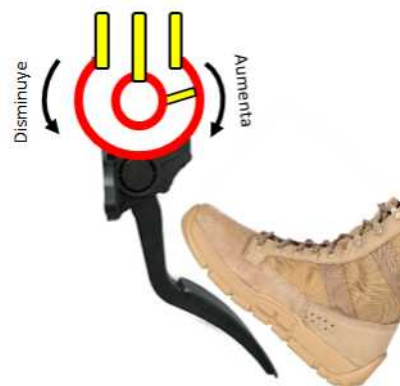


**Imagen 133:** Controlador *CURTIS 1221 M-6701*; fuente [www.curtisinstruments.com](http://www.curtisinstruments.com)

En el mercado hay varios tipos de controladores, pero un modelo probado en diferentes partes del mundo, es el controlador *CURTIS*<sup>186</sup>

<sup>186</sup> <https://curtisstruments.com/products/series-motor-controllers/>

1221 M-6701 (ver imagen), cuyo precio es de unos USD 420 (mercado de los Estados Unidos), equivalente a 382€ Este controlador permite que el pedal del acelerador del AIL Storm use un potenciómetro estándar, que regula la aceleración del VE. Cuando el conductor pisa el pedal del acelerador, el controlador entrega los 72V de las baterías al motor y si quita su pie del acelerador, el controlador entrega 0V al motor. Para cualquier punto intermedio el controlador hace entregas intermitentes de los 72V miles de veces por segundo, para crear una media tensión en algún valor entre 0 y 72V.



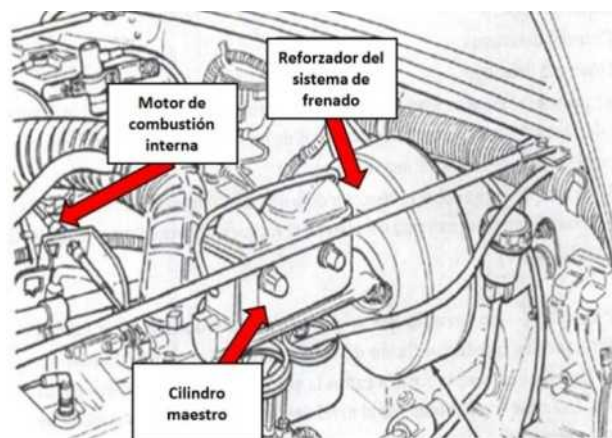
**Imagen 134:** Esquema de un potenciómetro incorporado al pedal de aceleración de un VE; fuente, Roberts C., (2020).



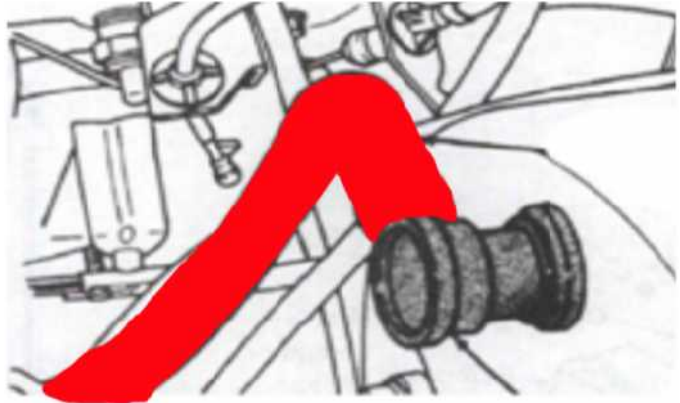
**Imagen 135:** Acelerador electrónico, con potenciómetro incorporado, vistas laterales; fuente, Descovic S., (2019).

5) **Frenos y sistema de dirección:** Independiente de las modificaciones que se realicen para la transformación de un SCI a VE, será necesario conservar ciertos componentes de seguridad en el vehículo, los que otorgan confiabilidad al sistema y nos permiten circular sin poner en peligro a los usuarios. Estos componentes de seguridad se dividen en el sistema de frenos y el sistema de dirección, que se detallan a continuación.

a) **Frenos:** Los frenos del AIL Storm se activan por el vacío (succión) que produce el motor de combustión interna. Al retirar el motor (SCI) será necesario incorporar un sistema que permita activar los frenos de potencia, ya que sin un vacío, los frenos simplemente no funcionan como deberían. Una alternativa es incorporar una bomba de vacío eléctrica (12V) y un pequeño depósito de reserva de vacío, lo que restará energía al VE, pero otorga seguridad y mantiene la seguridad del vehículo, tanto a los usuarios como al entorno donde circulará este medio de transporte.



**Imagen 136:** Reforzador del sistema de frenos; fuente, Manual de servicio AIL Storm.



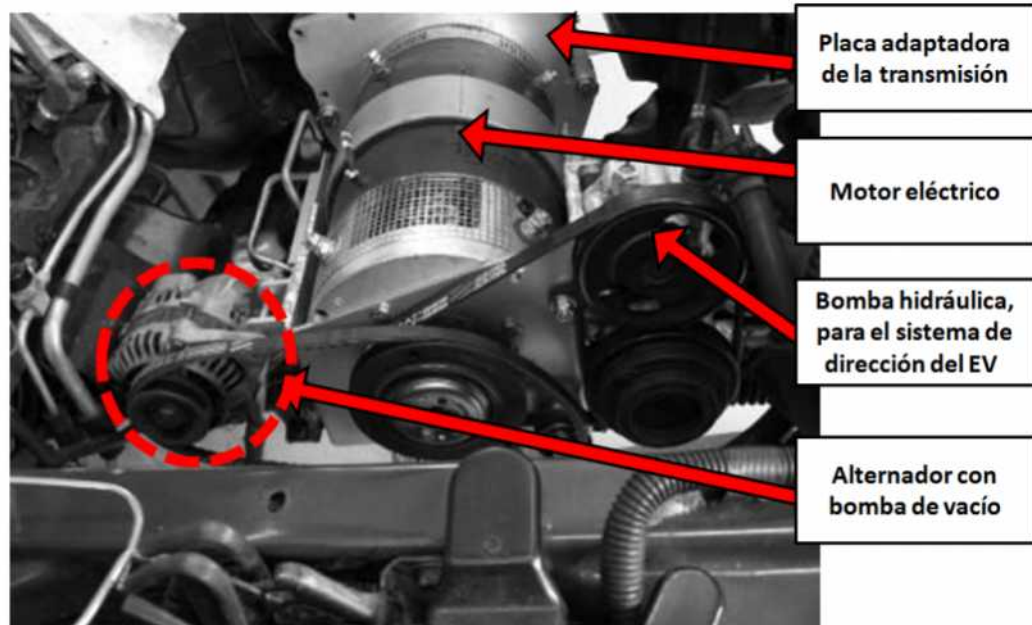
**Imagen 137:** Conductos de vacío del reforzador del sistema de frenos; fuente, Manual de servicio AIL Storm.



**Imagen 138:** Depresor o bomba de vacío, incorporado a un alternador; fuente, Roberts C., (2020).

Otra opción es implementar un alternador con una bomba de vacío o depresor, como el de la figura anterior, que funciona por medio de una polea unida al extremo del motor principal, lo que naturalmente reducirá la potencia del sistema, pero agrega seguridad al vehículo, aunque asimismo, dadas las condiciones del alternador, aportará energía eléctrica para la recarga complementaria de las baterías, actuando como un sistema regenerativo o KERS, acrónimo de *Kinetic Energy Recovery*

*System* (Sistema de recuperación de energía cinética), posibilitando con ello mantener una batería auxiliar de 12V, la cual se utiliza para el funcionamiento de los accesorios del VE, tales como las luces, limpiaparabrisas, intermitentes, radio, etc.



**Imagen 139:** Configuración de un VE mediante movilidad eléctrica; fuente, Roberts C., (2020).

- b) **Sistema de dirección:** Al igual que los frenos, será necesario contar con dirección hidráulica en el VE, manteniendo el sistema seguro, por ello se requiere conservar la bomba hidráulica del SCI, conectándola mediante una polea al eje del motor eléctrico, restándole de manera marginal la potencia al sistema, pero manteniendo la seguridad del vehículo.
- 6) **Baterías:** La energía necesaria para que el motor de un VE funcione, proviene del sistema de almacenamiento que lo alimenta (baterías). Teniendo en cuenta que el motor funciona con 72V, se requieren a lo menos 6 baterías de 12V para el sistema. Además, se debe tener

presente la ubicación de las mismas, en relación con su peso y volumen, para no afectar el equilibrio del vehículo. Además, dado que se conservan los sistemas eléctricos básicos, como la iluminación, limpia parabrisas, bocina, etc., y que funcionan con 12V, se debe implementar una batería que provea esas necesidades y que puede ser recargada externamente y a la vez, mediante el alternador instalado, de manera que actúe como un sistema regenerativo KERS (*Kinetic Energy Recovery System*).

### 3.1.2. Costes de modificación del vehículo.

Los costes de modificación del SCI a VE, son los que a continuación se detallan:

- Eliminar componentes asociados al SCI	: USD 300	273 €
- Motor eléctrico	: USD 3.190	2.903 €
- Placa adaptadora de la transmisión	: USD 250	227,5 €
- Acople	: USD 100	91 €
- Controlador	: USD 420	382 €
- Alternador con bomba de vacío	: USD 150	136,5 €
- Otros componentes (luces LED, cables, etc.):	USD 400	364 €
- <u>Instalar los componentes y pruebas del sistema:</u>	<u>USD 1.250</u>	<u>1.137 €</u>
	<b>Subtotal: USD 6.060</b>	<b>5.514,6 €</b>

#### Sistema de baterías

- a. Conexión en serie/paralelo, baterías de ácido-plomo; USD 1.440 1.310€
- b. Conexión en serie/paralelo, baterías de iones de Litio; USD

10.800 9.828€

c. Batería de fosfato de hierro-litio ( $\text{LiFePO}_4$ ); USD 9.900 9.009 €

### 3.1.3. Relación peso-potencia.

La *relación peso-potencia* es la relación que mide la potencia disponible para mover cada kilogramo de peso del vehículo. Comparemos la relación peso-potencia del SCI, con un VE con la configuración de un sistema de baterías de ácido-plomo (conexión en serie/paralelo), un VE con la configuración de un sistema de baterías de iones de Litio (conexión en serie/paralelo) y un VE con batería de fosfato de hierro-litio ( $\text{LiFePO}_4$ ).

En ambos modelos, se contempla un peso adicional de 500 kg, correspondiente a 4 personas (soldados) con su equipo completo. En el modelo VE se considera la pérdida de peso del vehículo debida a la eliminación de los componentes, más el peso del sistema de baterías y sus componentes asociados.

Por otra parte, para el caso del el SCI se considera su carga completa de 52,36 kg de gasolina (equivalentes a un depósito de 77 litros lleno de combustible); en el modelo SCI, un vehículo que recién fabricado contaba con 174 hp. Debido a los años de uso y las condiciones de mantenimiento, se estima que se ha producido un 30% de pérdida de potencia, sin contemplar el arrastre aerodinámico, la resistencia a la rodadura y las pérdidas en la transmisión en el vehículo que se encuentra en movimiento, como se detalla en la tabla siguiente.



<b>Vehículo arquetipo / Configuración</b>	<b>Potencia</b>	<b>Peso</b>	<b>Relación peso-potencia</b>
SCI	174 hp*0,7	2.312,36 kg	<b>0,053</b>
VE en configuración en serie/paralelo de baterías de ácido-plomo	58 hp*0,8	2.017,64 kg	<b>0,023</b>
VE en configuración en serie/paralelo de baterías de iones de Litio	58 hp*0,8	1.945,64 kg	<b>0,024</b>
VE con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> )	58 hp*0,8	1.927,64 kg	<b>0,024</b>

**Tabla 52:** Relación peso-potencia, en configuraciones SCI y VEs; fuente, Roberts C., (2020).

### 3.1.4. Interpretación de resultados.

El diseño de conversión de un vehículo SCI a VE no es trivial. La decisión debe adoptarse en función de múltiples factores, en especial de seguridad y conveniencia, aparte de verificar la viabilidad de la transformación de un vehículo con motor de combustión interna en un vehículo eléctrico. Como indicador que se debe considerar para ayudar en la toma de la decisión, se considera la relación peso-potencia, que nos permite conocer si el nuevo VE logrará desplazarse de manera similar al SCI, lo que en definitiva influirá en la percepción que se tiene de él y los niveles de confianza que logra.

Analizados los resultados sin considerar el AIL Storm con motor de combustión interna, la mejor relación peso-potencia corresponde al modelo VE AIL Storm en *configuración en serie de baterías de iones de Litio* y con *batería de fosfato de hierro-litio*, aunque la diferencia es mínima con respecto a las baterías de ácido-plomo.

### **3.2. Evaluación y elección del sistema y su configuración.**

Lo primero que debemos considerar para justificar la viabilidad de transformar un vehículo con motor de combustión interna (SCI) en vehículo eléctrico (VE), es que desde el punto de vista económico esto sea ventajoso, en relación con el precio por kilómetro recorrido.

Por otro lado, medioambientalmente las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen notablemente en el uso de un VE, teniendo en cuenta que en una ruta de 150 km, las emisiones de CO<sub>2</sub> de un SCI AIL Storm serán de 357 kg y en un modelo VE AIL Storm (carga de sus baterías desde la red eléctrica) será de 60 kg y el mismo VE AIL Storm (carga desde una estación de energía solar fotovoltaica) corresponde a 4,8 kg. Estos datos se tienen que tomar con precaución, por cuanto debemos considerar las emisiones de CO<sub>2</sub> en su ciclo de vida, incluido la fabricación del paquete de baterías.

Derivado de lo anterior, para determinar si el uso de un VE presenta mejores condiciones que un vehículo SCI, desde la perspectiva económica y ambiental, es necesario profundizar en la elección de sistemas que combinen la eficiencia energética, ambiental y económica.

Al respecto, el Libro de la Defensa (MDN Chile, 2010) señala: *“Cuando los costes y los beneficios del proyecto puedan expresarse en términos monetarios, se adoptará el enfoque o criterio coste/beneficio, con los indicadores Valor Actualizado Neto (VAN) y/o Tasa Interna de Retorno (TIR). En esta situación, el criterio de decisión corresponde al de máximo beneficio. Cuando no es posible expresar los beneficios del proyecto en términos monetarios, o cuando el esfuerzo de lograrlo tiene un alto coste, se adoptará el enfoque o criterio costo-eficiencia, con sus indicadores Valor Actualizado de los Costes (VAC) o Costo Anual Equivalente (CAE), dependiendo si las alternativas tienen igual o distinta vida útil”*. Por ello, dado que no es posible

cuantificar el beneficio económico de contar con activos de las Fuerzas Armadas, el criterio de decisión corresponde al de mínimo coste, calculado mediante el Costo Anual Equivalente (CAE). No obstante, se contemplaron como “*Beneficios*” a la atenuación del impacto medioambiental mediante la utilización de VEs en vez de SCIs, toda vez que la provisión de Defensa se considera socialmente rentable y por lo tanto la metodología no pretende medir sus beneficios, sino las alternativas de mínimo coste (ONU-ILPES, 2012).

### **3.2.1. Formulación económica.**

La evaluación económica de proyectos nos permite determinar en qué medida esta inversión tiene un efecto sobre la sociedad en términos económicos y de bienestar, al amparo (Contestabile M., et al., 2011) de un análisis económico del ciclo de vida TCO del activo (*Total Cost Ownership*). Para estos efectos, es necesario adoptar decisiones, las cuales requieren metodologías formales para valorar diferentes aspectos (Tudela A., et al., 2004), de manera de incorporar los resultados en el proceso. En consecuencia, para adoptar decisiones que involucren aspectos económicos, el presente estudio contó con los enfoques de evaluación que a continuación se detallan.

- a. Análisis Costo-Beneficio:** Permite identificar entre un conjunto de alternativas de iniciativas de inversión, cuál es la que genera el mayor beneficio neto para la sociedad. Requiere identificar, cuantificar y valorizar todos los beneficios y costes del proyecto y obtener indicadores como el Valor Actualizado Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) que permitan concluir sobre la rentabilidad económica del proyecto.
- b. Análisis Costo-Eficiencia:** Este método se utiliza cuando las alternativas de proyectos analizados tienen beneficios esperados equivalentes, por lo

que éstos no aplicados a los cálculos del mismo. El uso de este enfoque excluye el requerimiento de valorar los beneficios según lo que se señala en el enfoque Costo-Beneficio, ya que se asume que éstos son deseados por la sociedad y superiores a los costes del proyecto. Por esto, el foco debe estar puesto en una completa identificación, cuantificación y valoración de los costes asociados al proyecto, para construir posteriormente los indicadores como el Valor Actualizado de Costes (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE).

Para los métodos anteriores, se tendrá siempre presente el enfoque social, dado que las iniciativas de inversión que posibilitan la prestación de servicios sociales (*Imagen institucional*), como todo proyecto de inversión, dan origen a beneficios y costes. Un proyecto será viable para la sociedad si los beneficios que el proyecto va a generar son mayores que los costes en que se debe incurrir para realizarlo. Sin embargo, muchas veces es difícil de identificar todos los beneficios que se generarán y más difícil aún es su valoración en términos monetarios, como lo es la función Defensa de un país o el “*Apoyo a la comunidad*”. Por este motivo, en esta metodología se adopta un enfoque **Costo/Eficiencia**, aunque se deberán identificar y caracterizar los beneficios que genera el proyecto.

*“En el último tiempo hemos enfrentado situaciones de alto esfuerzo en apoyo a nuestros camaradas empleados con motivo de los Estados de Excepción Constitucional, tanto en el restablecimiento del orden público durante el estallido social<sup>187</sup>, como hoy, cuando el mundo y en particular Chile se ve enfrentado a una crisis sanitaria nunca antes vista, ni jamás imaginada...”*, esta declaración corresponde al discurso emitido el 5 de mayo de 2020 por

---

<sup>187</sup> Serie de manifestaciones y disturbios sociales producidos en Chile a partir del 18 de octubre de 2019.

parte del Director de Finanzas del Ejército, General de Brigada Patricio Veas Stock, y refleja en parte, que el personal militar y los medios, al igual que prácticamente todos los países del mundo, se han abocado a paliar la catástrofe que se ha debido al COVID-19, mediante “*Actividades diferentes de la guerra*”, como lo son la aplicación de cordones sanitarios, la vigilancia de las vías de comunicación e instalaciones sensibles, la entrega de alimentos y muchas más.



**Imagen 140:** Imagen que refleja el uso de un AIL Storm en apoyo a la comunidad (centro de la imagen), durante la aplicación de cordones sanitarios producto del COVID-19, Mayo de 2020; fuente, Ejército de Chile – Departamento Comunicacional, (2020).

Esta investigación tiene una profunda mirada social, asociada a la disminución de los efectos negativos del uso de combustibles fósiles, debido a las actividades del transporte y por otra parte, de manera subsidiaria, con la utilización de medios militares, en apoyo a la comunidad.



**Imagen 141:** Vehículos militares utilizados en patrullaje nocturno (AIL Storm en primer plano), durante la aplicación de restricciones al desplazamiento de las personas, año 2019-2020; fuente, [www.bbcl.cl](http://www.bbcl.cl) y Agencia Uno.

### 3.2.2. Objetivos de la formulación.

Dado que el objetivo del estudio es determinar el impacto de los VEs (movilidad eléctrica de los vehículos militares) versus los SCIs. Es necesario verificar si la solución propuesta es económicamente viable, para lo cual se llevará a cabo la evaluación económica (Ortúzar R., 2008) utilizando como metodología el Valor Actualizado de Costes (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE), ambos con una tasa de interés del 8%.

Las ecuaciones siguientes representan respectivamente el VAC y CAE. Se señalan a continuación los valores que se han considerado para el cálculo del VAC y CAE.

- a. **Consideraciones:** El presente estudio contempla todos los costes en dólares de los Estados Unidos de América (USD) y en Euros (€), si bien la moneda de curso legal en Chile es el peso (CLP).

**b. Parámetros invariables.**

- Coste inicial de un AIL Storm (SCI); USD 25.000    22.750 €
- Valor residual (2020 – depreciación lineal); USD 5.043    4.589 €
- Valor residual (2025 – depreciación lineal); USD 885    805 €
- Vida útil; 30 años.
- Vida útil remanente de la flota de SCI AIL Storm al 2020; 5 años.
- Coste transformación del vehículo (SCI a VE); USD 6.060    5.515 €
- Tasa de descuento (MIDEPLAN, 2007); 8%
- Kilómetros recorridos en un mes; 3.000 km.
- Consumo de gasolina; USD 0,19/km    0,17 €/km
- SCI coste fijo de mantenimiento por año (2020); USD 1.800 (USD 150 por mes), equivalentes a 1.638 €/año y 136,5 €/mes.
- SCI costes de operación por año; USD 0,19\*3.000 km/mes\*12 meses, equivalentes a 0,17 €\* 3.000 km/mes \* 12 meses.
- VE coste fijo de mantenimiento por mes; USD 70    63,7 €
- Coste de recarga de energía eléctrica a través de la red eléctrica; USD 0,038/km    0,035 €/km.
- Coste de recarga de energía eléctrica a través de panel solar; USD 0,024/km    0,022 €/km.

- c. **Valor Actualizado de Costes (VAC):** El VAC es el valor actualizado de los costes de inversión, operación y mantención. Este indicador sólo permite comparar alternativas si se considera el mismo periodo de vida útil. Se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

**Ecuación 66**

Donde

$I_0$  Inversión inicial.

$t$  Número de periodos.

$C_t$  Coste del periodo  $t$ .

$r$  Tasa social de descuento en Chile (8%)

Considerando los valores anteriores, procedemos a calcular el Valor Actualizado de Costes (VAC) del SCI AIL Storm.

$$VAC = 25.000 + \frac{8.640}{(1,08)} + \frac{8.640}{(1,08)^2} + \dots + \frac{8.640 - 885}{(1,08)^{30}}$$

De lo anterior, dado que no es posible calcular los beneficios de dicho activo, toda vez que es considerado como un gasto durante su vida útil, se obtiene que el VAC del SCI AIL Storm en el año 2025 será de **USD 122.179 111.183 €**



- d. **Costo Anual Equivalente (CAE):** El CAE es el indicador que se usa para la comparación de alternativas de proyectos que tienen beneficios iguales en el tiempo y una vida útil distinta, su fórmula es la siguiente.

$$CAE = VAC \left[ \frac{r * (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \right]$$

Ecuación 67

Por lo tanto, considerando que el  $VAC = \text{USD } 122.2179 \quad 111.183 \text{ €}$  se procedió a calcular el CAE del SCI AIL Storm.

$$CAE = \text{USD } 122.179 \left[ \frac{0,08 (1 + 0,08)^{30}}{(1 + 0,08)^{30} - 1} \right] = \text{USD } 10.852,87 \quad 9.786 \text{ €}$$

Se obtiene un CAE de  $\text{USD } 10.853 \quad 9.786 \text{ €}$

### 3.2.3. Análisis económico de las baterías.

Se calculará el VAC y el CAE para los sistemas de baterías que a continuación se indican: las baterías de ácido-plomo, las baterías de iones de Litio y las baterías de fosfato de hierro-litio, considerando que al inicio del periodo, el vehículo tiene 25 años de servicio, con un valor contable en libro de  $\text{USD } 5.043 \quad 4.589 \text{ €}$

- a. **Análisis de las baterías de ácido-plomo:** En primera instancia, evaluaremos el CAE de un SCI AIL Storm versus el mismo vehículo transformado en VE, con baterías de ácido-plomo. Estas baterías tienen una vida útil estimada de 4 años, por lo que a efectos de compararlas con las baterías de iones de Litio (3 años de vida) y la batería de fosfato de hierro-litio (6 años de vida útil), se utiliza un horizonte de cálculo de 12

años, lo que extiende el uso del VE AIL Storm, 7 años sobre su vida útil prevista inicialmente. Además del sistema de baterías inicial, se consideran dos recambios adicionales, uno cada 4 años. Los datos que se han considerado son:

- Coste del sistema en configuración en serie/paralelo, baterías de ácido-plomo; USD 1.440\*3 = USD 4.320 3.931 €
- Periodo de análisis; 12 años.
- Inicio del periodo de análisis, vehículo con 25 años de servicio, con un valor contable en libro de USD 5.043 4.589 €

Formalmente, el CAE se expresa incluyendo la inversión realizada en la adquisición del activo, en relación con la tasa de descuento del Sector Defensa (Chile), cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Condición	Sistema de carga	VAC	CAE
SCI	N/A	USD 121.766	USD 10.816
		110.807 €	9.843 €
VE configuración en serie/paralelo del sistema de baterías de ácido-plomo	Red eléctrica	USD 120.630	USD 10.244
		109.773 €	9.322 €
	Paneles solares fotovoltaicos	USD 120.075	USD 10.197
		109.268 €	9.279 €

**Tabla 53:** Costo Anual Equivalente, SCI y configuraciones de VEs con sistemas de baterías de ácido-plomo, valores en dólares de los Estados Unidos de América y su equivalente en Euros; fuente, Roberts C., (2020).

**Análisis de los resultados.** De los resultados del cuadro anterior, se desprende que la mejor opción, al comparar un SCI AIL Storm versus un VE AIL Storm con un sistema n configuración en serie/paralelo de baterías de ácido-plomo, el que proporciona un mejor CAE y se corresponde con un *vehículo con recarga eléctrica mediante paneles*

*solares fotovoltaicos.*

**b. Análisis de las baterías de iones de Litio:** En segunda instancia, se evalúa el CAE de un SCI versus el VE con baterías de iones de Litio, para lo cual se utilizan los siguientes parámetros.

- Coste del sistema en configuración en serie/paralelo de baterías de iones de Litio; USD 10.800\*4 = USD 43.200    39.312 €
- Periodo de análisis: 12 años.
- Vida útil sobre el remanente estimado: 7 años.

Formalmente, el CAE se expresa incluyendo la inversión realizada en la adquisición del activo, en relación con la tasa de descuento del Sector Defensa (Chile), cuyos resultados se muestran en la tabla de a continuación.

Condición	Sistema de carga	VAC	CAE
SCI	N/A	USD 121.766 110.807 €	USD 10.816 9.843 €
VE configuración en serie/paralelo del sistema de baterías de iones de Litio	Red eléctrica	USD 124.457 113.256 €	USD 10.569 9.618 €
	Paneles solares fotovoltaicos	USD 123.902 112.751 €	USD 10.522 9.575 €

**Tabla 54:** Costo Anual Equivalente, SCI y configuraciones de VEs con baterías de iones de Litio, valores en dólares de los Estados Unidos de América y su equivalencia en Euros; Roberts C., (2020).

**Análisis de los resultados.** De los resultados del cuadro anterior, se desprende que la mejor opción, al comparar un SCI AIL Storm versus un VE AIL Storm con un sistema en configuración en serie/paralelo de baterías de iones de Litio, es el *vehículo con recarga eléctrica mediante*

*paneles solares fotovoltaicos.*

c. **Análisis de la batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>):** En tercera instancia, se evalúa el CAE de un SCI versus el VE con la batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>), para lo cual se utilizaron los siguientes parámetros.

- Coste de la batería de fosfato de hierro-litio; USD 9.900\*2 = USD 19.800    18.018 €
- Vida útil estimada de la batería de fosfato de hierro-litio; 6 años.
- Periodo de análisis: 12 años.
- Vida útil sobre el remanente estimado: 7 años.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Condición	Sistema de carga	VAC	CAE
SCI	N/A	USD 121.766 110.807 €	USD 10.816 9.843 €
VE con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> )	Red eléctrica	USD 122.994 111.925 €	USD 10.445 9.505 €
	Paneles solares fotovoltaicos	USD 122.439 111.420 €	USD 10.398 9.462 €

**Tabla 55:** Costo Anual Equivalente, SCI y configuraciones de VEs con batería de fosfato de hierro-litio, valores en dólares de los Estados Unidos de América y su equivalencia en Euros; fuente, Roberts C., (2020).

**Análisis de los resultados.** Del resultado del cuadro anterior, se desprende que la mejor opción, al comparar un SCI AIL Storm versus un VE AIL Storm con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>), es el *vehículo con recarga eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos.*

- d. **Comparación de los resultados:** Los resultados obtenidos de las tres configuraciones de sistemas de baterías, mediante dos métodos de recarga (red o solar), en comparación con el uso de un vehículo dotado de motor a combustión interna, es que, mediante el método de comparación del Costo Anual Equivalente, y desde el punto de vista económico, la solución que proporciona un mejor CAE es el *vehículo con recarga eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos*.
- e. **Análisis de sensibilidad:** En los procesos asociados a la evaluación de proyectos, es útil contar con instrumentos de toma de decisiones que posibiliten la medición del riesgo y de los resultados en estado de incertidumbre, toda vez que éstos no son suficientes (en sí mismos) para la elección de la alternativa óptima. Para ello es necesario llevar a cabo un “*Análisis de sensibilidad*”, que tiene en cuenta las variables que se han utilizado para llevar a cabo la evaluación, pueden tener desviaciones, que pueden influir en los resultados obtenidos.

También es posible la modelación de “*Escenarios*”, los cuales nos puedan indicar resultados posibles en el desarrollo del proceso en base a una serie de hipótesis.

#### **3.2.4. Determinación y mitigación del riesgo.**

La incertidumbre y el riesgo son inherentes a todo tipo de proceso, ya que se desconoce la probabilidad de ocurrencia de los eventos. La actividad de reconocer y actuar cuando se presentan las oportunidades significa correr riesgos. Entenderemos por “*Riesgo*” la “*Probabilidad de ocurrencia de un evento*” y por otra parte, la “*Incertidumbre*” se define como “*Una clase especial de fricción, mayormente, aquella que se origina en la dificultad del*

*procesamiento de la información*” (Van Creveld M., 1991) y de manera paralela, es “*Desconocer la probabilidad de ocurrencia de un evento*”.

Es necesario tener presente que todos los procesos cuentan con factores de riesgo, que ponen en dificultad su éxito, por lo que se debe contar con la capacidad de operar bajo condiciones de incertidumbre, mientras se intenta disminuir los riesgos y explotar las oportunidades disponibles. Una de las medidas para disminuir el riesgo y la incertidumbre, es la planificación del proceso, lo que permitirá enfrentar variables no contempladas y por consiguiente, ayudar a la toma de decisiones.

Tal y como se ha señalado en el párrafo precedente, se debe llevar a cabo la determinación y minimización de riesgos, identificando aquellos riesgos potenciales para la realización del proyecto, estimando su probabilidad y la severidad de cada riesgo, junto con la determinación del nivel aceptable de riesgo que permita añadir flexibilidad a la ejecución y eventualmente desarrollar operaciones alternativas.

**a. Administración del riesgo:** La administración de riesgo es el proceso que considera el manejo de los riesgos identificados y evaluados, empleando para ello medidas que permitan minimizarlos y, por tanto, dar una protección y seguridad superior a los usuarios. De conformidad a la figura siguiente, el proceso de administración del riesgo tiene como objetivo que no se pase por alto ninguna información clave, atenuando de esa forma el riesgo de acontecimientos imprevistos o de resultados no planificados.



**Imagen 142:** Esquema del riesgo, ventajas y desventajas; fuente, Ejército de Chile, (2016).

Para la administración del riesgo, es importante plantearse una serie de preguntas, como las que se detallan.

- ¿Cuál es el objetivo?
- ¿Qué condiciones se establecieron y constituyen el estado final deseado?
- ¿Cómo se lograrán estas condiciones deseadas?
- ¿Qué secuencia de acciones es más probable para obtener estas condiciones?
- ¿Qué recursos se requieren y cómo pueden ser aplicados para completar la secuencia del proceso?
- ¿Cuáles son los riesgos operacionales asociados con esa secuencia de acciones y cómo se pueden neutralizar y/o controlar?

- ¿Cuál es el impacto de los riesgos en caso de ocurrencia?

**b. Aceptación de los riesgos:** La determinación cuidadosa de riesgos, el análisis de éstos, la minimización de la mayor cantidad posible y la ejecución de un plan que tome en cuenta esos riesgos, contribuyen a la aplicación exitosa de un proceso. Arriesgarse en cambio, es poner en peligro de manera imprudente el éxito de un proceso por un evento único e improbable. Los responsables de tomar la decisión deben evaluar el riesgo en orden ascendente de magnitud, aceptándolos de manera prudente, respondiendo a las siguientes interrogantes.

- ¿Se disminuye al mínimo el riesgo que ocasione accidentes y/o daños?

- ¿Está en peligro la ejecución y/o el éxito del proceso?

Cuando los responsables de tomar las decisiones detectan y aceptan una oportunidad, conociendo el riesgo que pueda suponer, asumen el riesgo de manera prudente.

**c. Determinación del riesgo.**

**1) Generalidades:** El proceso de minimización del riesgo debe ser considerado en todo tipo de proyecto o estudio. Los responsables de llevarlos a cabo no deben esperar que los proyectos se ejecuten libres de errores o de fallos, por lo que para la búsqueda de soluciones viables y sostenibles deberán contemplar determinar los riesgos del proceso, con el propósito de mitigarlos. El objetivo de minimizar el riesgo no es eliminarlo, sino controlarlo y contar con cursos de acción (COAs) que posibiliten adoptar decisiones acertadas, con un



mínimo impacto y de uso de los recursos.

2) **Proceso de determinación del riesgo:** La determinación del riesgo es el proceso de identificar y controlar los elementos que los producen, con el propósito de mantener las estimaciones iniciales del proyecto. Los pasos para determinarlos son los siguientes.

a) **Identificar los elementos de riesgo:** Un factor o elemento de riesgo es una condición actual o posible donde puede ocurrir daños o generar un accidente, lo que conlleva a mayores costes, incumplimiento de plazos y eventualmente interrumpir el proceso. Se debe prever que los elementos de riesgo pueden cambiar rápidamente y las condiciones que parecen que puedan ser de bajo riesgo se pueden convertir repentinamente en serias amenazas, debido a acontecimientos imprevistos naturales o causados por el hombre. Existen condiciones que permiten identificar la existencia de elementos de riesgo, como son:

- Los objetivos del estudio, en el caso de que éstos sean muy ambiciosos o difíciles de cumplir.
- Dificultades para entender el propósito del estudio, los objetivos de éste y el estado final deseado.
- Desaprovechar situaciones ventajosas, que eventualmente podrían posicionar el proceso en una condición de privilegio.
- Operacionalmente, es importante que los eventuales usuarios se familiaricen con el estudio y sus objetivos, para no

generar sesgos o rechazos antes de su implementación.

- Exigencias desmedidas de los eventuales usuarios.
- Obstáculos tecnológicos y/o disponibilidad de componentes e insumos.
- Ausencia o insuficiencia de instalaciones de recarga.
- Conocimiento y competencias del equipo que realizará las eventuales conversiones, como asimismo del personal que sostendrá el mantenimiento de los activos.
- Incapacidad para implementar medidas de asistencia técnica.
- Equipamiento técnico deficiente.
- Efectos climáticos adversos en el desempeño de los VEs.
- Las precipitaciones y fenómenos climáticos que producen riesgo operacional o accidental.
- Opinión pública, la cual puede no aceptar o tolerar parcialmente los VEs militares.

**b) Evaluar los elementos de riesgo:** Este paso analiza los factores en términos de probabilidad y severidad, para determinar el nivel de riesgo que pueda resultar de exponerse a uno de éstos elementos, conforme a lo que se detalla a continuación.

- La probabilidad, donde cada elemento de riesgo se debe

evaluar en relación con la probabilidad de un incidente peligroso.

Los niveles de probabilidad se establecen para cada elemento de riesgo y se estiman en función de su temporalidad de ocurrencia, de acuerdo con los parámetros que detallan la tabla siguiente.

Niveles de probabilidad del riesgo	
<b>F</b>	Frecuente, ocurre muy a menudo en la vida útil de equipos.
<b>P</b>	Probable, ocurre varias veces en la vida útil de equipos.
<b>O</b>	Ocasional, ocurre a veces en la vida útil de equipos.
<b>R</b>	Rara vez, ocurre como incidente aislado en la vida útil de equipos.
<b>I</b>	Improbable, su ocurrencia no es imposible, pero se puede asumir que casi nunca ocurrirá.

**Tabla 56:** Niveles de probabilidad del riesgo; fuente, Ejército de Chile, (2016).

- La severidad del elemento de riesgo se expresa en términos de:
  - Daños a las personas, lesiones o enfermedad.
  - Pérdida o daños al equipo o a la propiedad.
  - Daños al medioambiente.
  - Daños a la *Imagen institucional*.

El grado de severidad calculado para cada factor de riesgo puede estar basado en el conocimiento de los resultados de eventos similares anteriores. La evaluación del daño se materializa conforme con la siguiente tabla (Ejército de Chile, 2016).

Grado de severidad del riesgo		
<b>Catastrófico</b>	<b>I</b>	Pérdida de la capacidad de cumplir con los objetivos planteados, incapacidad total y permanente, riesgo de accidente y/o daños al sistema o al entorno.
<b>Crítico</b>	<b>II</b>	Disminución considerable y severa para cumplir con los objetivos planteados, incapacidad parcial, riesgo de accidente y/o daños al sistema o al entorno.
<b>Marginal</b>	<b>III</b>	Disminución en la capacidad para cumplir con los objetivos planteados, incapacidad parcial, demoras en la ejecución del proceso, riesgo menor de accidente y/o daños al sistema o al entorno.
<b>Sin importancia</b>	<b>IV</b>	Poco o ningún impacto adverso en la capacidad para cumplir con los objetivos planteados, mínimo riesgo de accidente y/o daños al sistema o al entorno.

**Tabla 57:** Grados de severidad del riesgo; fuente, Ejército de Chile, (2016).

Como resultado de esta fase, se obtiene el riesgo total de cada elemento y de la operación en su conjunto, comparando la severidad del daño con la probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con la siguiente tabla.

Evaluación del riesgo						
Severidad		Probabilidad				
		Frecuente (F)	Probable (P)	Ocasional (O)	Rara vez (R)	Improbable (I)
<b>Catastrófico</b>	<b>I</b>	Extremadamente alto	Extremadamente alto	Alto	Alto	Moderado
<b>Crítico</b>	<b>II</b>	Extremadamente alto	Alto	Alto	Moderado	Bajo
<b>Marginal</b>	<b>III</b>	Alto	Moderado	Moderado	Bajo	Bajo
<b>Sin importancia</b>	<b>IV</b>	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

**Tabla 58:** Evaluación del riesgo, mediante probabilidad de ocurrencia y severidad de su impacto; fuente, Ejército de Chile, (2016).

**d. Cálculo de los factores de riesgo:** Para calcular el riesgo asociado a la solución de la problemática, basado en la “*Estrategia Nacional de Electro Movilidad*” de 2017 (CAVEM, 2017), se establecen los posibles factores que afectan al proceso, de conformidad con lo que a continuación se indica.

**1) Riesgos estimados:**

- Desincentivo o escaso interés gubernamental en la movilidad eléctrica.
- Carga impositiva sin beneficios para la movilidad eléctrica (vehículos, componentes, repuestos e insumos).
- Aumento de interés (Competencia) por los vehículos de combustión interna (modelos disponibles, disminución de precios, estrategias publicitarias).
- Escaso interés por parte de los potenciales usuarios.
- Escasa infraestructura para la recarga de los sistemas de almacenamiento de energía.
- Escasa disponibilidad de componentes, repuestos e insumos y/o de personal e infraestructura de mantenimiento.
- Ausencia o escasa capacitación en movilidad eléctrica para personal de emergencias, rescate y atención de lesionados.
- Falta de control sobre las características técnicas del VE por parte de los usuarios.

- Difícil convivencia con la infraestructura vial, los otros medios de transporte y/o con los peatones.

2) **Estimación de los niveles de probabilidad, en función de los riesgos:** Derivado de los puntos anteriores, se utiliza (Ejército de Chile, 2016) la metodología del “*Proceso de las Operaciones*”, de manera de evaluar los elementos de riesgo, relacionándolo con su probabilidad de ocurrencia.

Riesgo	Probabilidad en función del riesgo	
1) Desincentivo o escaso interés gubernamental en la movilidad eléctrica.	<i>I</i>	Improbable
2) Carga impositiva sin beneficios para la movilidad eléctrica (vehículos, componentes, repuestos e insumos).	<i>R</i>	Rara vez
3) Aumento de interés (Competencia) en los vehículos de combustión interna (modelos disponibles, disminución de precios, estrategias publicitarias).	<i>P</i>	Probable
4) Escaso interés por parte de los potenciales usuarios.	<i>O</i>	Ocasional
5) Escasa infraestructura para la recarga de los sistemas de almacenamiento de energía.	<i>P</i>	Probable
6) Escasa disponibilidad de componentes, repuestos e insumos y/o de personal e infraestructura de mantenimiento.	<i>P</i>	Probable
7) Ausencia o escasa capacitación en movilidad eléctrica para personal de emergencias, rescate y atención de lesionados.	<i>O</i>	Ocasional
8) Falta de control sobre las características técnicas del VE por parte de los usuarios.	<i>F</i>	Frecuente
9) Dificultad de convivencia con la infraestructura vial, los otros medios de transporte y/o con los peatones.	<i>P</i>	Probable

**Tabla 59:** Estimación de los niveles de probabilidad, en función de los riesgos; fuente, Roberts C., (2020).

### 3) Estimación del grado de severidad de los riesgos.

Riesgo	Grado de severidad del riesgo		
	Grado	Efecto	
1) Desincentivo o escaso interés gubernamental en la movilidad eléctrica.	<b>Crítico</b>	<b>II</b>	Disminución considerable y severa para cumplir con los objetivos planteados.
2) Carga impositiva sin beneficios para la movilidad eléctrica.	<b>Crítico</b>	<b>II</b>	Disminución considerable y severa para cumplir con los objetivos planteados.
3) Aumento de interés en los vehículos de combustión interna.	<b>Sin importancia</b>	<b>IV</b>	Poco o ningún impacto adverso en la capacidad para cumplir con los objetivos planteados.
4) Escaso interés por parte de los potenciales usuarios.	<b>Marginal</b>	<b>III</b>	Disminución en la capacidad para cumplir con los objetivos planteados, incapacidad parcial, demoras en la ejecución del proceso.
5) Escasa infraestructura para la recarga de los sistemas de almacenamiento de energía.	<b>Crítico</b>	<b>II</b>	Disminución considerable y severa para cumplir con los objetivos planteados.
6) Escasa disponibilidad de componentes, repuestos e insumos y/o de personal e infraestructura de mantenimiento.	<b>Crítico</b>	<b>II</b>	Disminución considerable y severa para cumplir con los objetivos planteados.
7) Ausencia o escasa capacitación en movilidad eléctrica para personal de emergencias, rescate y atención de lesionados.	<b>Catastrófico</b>	<b>I</b>	Pérdida de la capacidad de cumplir con los objetivos planteados, incapacidad total y permanente, riesgo de accidente y/o daños al sistema o al entorno.
8) Falta de control sobre las características técnicas del VE por parte de los usuarios.	<b>Catastrófico</b>	<b>I</b>	Pérdida de la capacidad de cumplir con los objetivos planteados, incapacidad total y permanente, riesgo de accidente y/o daños al sistema o al entorno.

Riesgo	Grado de severidad del riesgo	
	Grado	Efecto
9) Dificil convivencia con la infraestructura vial, los otros medios de transporte y/o con los peatones.	<b>Crítico</b>	<b>II</b> Disminución considerable y severa para cumplir con los objetivos planteados.

**Tabla 60:** Estimación del grado de severidad de los riesgos; fuente, Roberts C., (2020).

#### 4) Cálculo de la matriz de riesgo y severidad de impacto.

Riesgo	Grado de severidad del riesgo	Probabilidad				
		Frecuente (F)	Probable (P)	Ocasional (O)	Rara vez (R)	Improbable (I)
1) Desincentivo o escaso interés gubernamental en la movilidad eléctrica.	<b>II</b>	.-	.-	.-	.-	Bajo
2) Carga impositiva sin beneficios para la movilidad eléctrica	<b>II</b>	.-	.-	.-	Moderado	.-
3) Aumento de interés en los vehículos de combustión interna.	<b>IV</b>	.-	Bajo	.-	.-	.-
4) Escaso interés por parte de los potenciales usuarios.	<b>III</b>	.-	.-	Moderado	.-	.-
5) Escasa infraestructura para recarga de sistemas de almacenamiento de energía.	<b>II</b>	.-	Alto	.-	.-	.-
6) Escasa disponibilidad de componentes, repuestos e insumos y/o de personal e infraestructura de mantenimiento.	<b>II</b>	.-	Alto	.-	.-	.-
7) Ausencia o escasa capacitación en movilidad eléctrica para personal de emergencias, rescate y atención de lesionados.	<b>I</b>	.-	.-	Alto	.-	.-
8) Falta de control sobre las características técnicas del VE por parte de los usuarios.	<b>I</b>	Extremadamente alto	.-	.-	.-	.-



Riesgo	Grado de severidad del riesgo	Probabilidad				
		Frecuente (F)	Probable (P)	Ocasional (O)	Rara vez (R)	Improbable (I)
9) Dificil convivencia con la infraestructura vial, los otros medios de transporte y/o con los peatones.	II	.-	Alto	.-	.-	.-

**Tabla 61:** Cálculo de la matriz de riesgo; fuente, Roberts C., (2020).

- 5) **Interpretación:** De la tabla anterior, y que se corresponde con la “Matriz de riesgo”, se pone en evidencia que el concepto “8) *Falta de control sobre las características técnicas del VE por parte de los usuarios*” es la que presenta el mayor impacto en el proceso, dado que es categorizado como de riesgo “*Extremadamente alto*”, lo que lo transforma en una condición dominante. Los conceptos “5) *Escasa infraestructura para la recarga de los sistemas de almacenamiento de energía*”, “6) *Escasa disponibilidad de componentes, repuestos e insumos y/o de personal e infraestructura de mantenimiento*”, “7) *Ausencia o escasa capacitación en movilidad eléctrica para personal de emergencias, rescate y atención de lesionados*” y “9) *Dificil convivencia con la infraestructura vial, los otros medios de transporte y/o con los peatones*” son categorizados con un “**Alto impacto**”, convirtiéndose en variables importantes a considerar y que pueden ser aminorados mediante programas de capacitación, entrenamiento y medidas de control de uso y mantenimiento.
- e. **Medidas de mitigación de los riesgos:** Para mitigar los efectos adversos de los factores de riesgos estimados en el punto anterior, basado en la metodología del “Proceso de las Operaciones” (Ejército de Chile, 2016), se propone la adopción de las medidas que a continuación se indican.

<b>Riesgo estimado</b>	<b>Severidad</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Impacto</b>	<b>Medida de mitigación</b>
1) Desincentivo o escaso interés gubernamental en la movilidad eléctrica.	<b>II</b>	Improbable	Bajo	Mejorar la información técnica con que cuente la autoridad gubernamental, potenciando las características benéficas medioambientales de los VEs.
2) Carga impositiva sin beneficios para la movilidad eléctrica.	<b>II</b>	Rara vez	Moderado	
3) Aumento de interés en los vehículos de combustión interna.	<b>IV</b>	Probable	Bajo	Mejorar la información con que cuenten los eventuales usuarios y/o interesados en la movilidad eléctrica, potenciando las características técnicas y beneficios medioambientales de los VEs.
4) Escaso interés por parte de los potenciales usuarios.	<b>III</b>	Ocasional	Moderado	
5) Escasa infraestructura para la recarga de los sistemas de almacenamiento de energía.	<b>II</b>	Probable	Alto	Fomentar la implementación de infraestructura de recarga de sistemas de almacenamiento de energía, componentes y repuestos, tanto para el estamento público, para que genere las autorizaciones y, para los entes privados, como oportunidad de negocio
6) Escasa disponibilidad de componentes, repuestos e insumos y/o de personal e infraestructura de mantenimiento.	<b>II</b>	Probable	Alto	

Riesgo estimado	Severidad	Probabilidad	Impacto	Medida de mitigación
7) Ausencia o escasa capacitación en movilidad eléctrica para personal de emergencias, rescate y atención de lesionados.	I	Ocasional	Alto	Generar las instancias de capacitación para el personal de emergencia, que eventualmente concurra a situaciones de accidentes, donde se vean involucrados los VEs y sistemas complementarios.
8) Falta de control sobre las características técnicas del VE por parte de los usuarios.	I	Frecuente	Extremadamente alto	Generar y exigir competencias mínimas a los usuarios de VEs, considerando las características de éstos vehículos, controlando de manera regular a los conductores, así como las condiciones mecánicas de los medios.
9) Dificultad de convivencia con la infraestructura vial, los otros medios de transporte y/o con los peatones.	II	Probable	Alto	

**Tabla 62:** Medidas de mitigación para los riesgos establecidos, probabilidad de ocurrencia y severidad del impacto determinado; fuente, Roberts C., (2020).

- f. Interpretación:** Teniendo presente que los factores de riesgo son derivados de condiciones sociales o humanas, las medidas que permitan mitigar el riesgo se basan principalmente en la capacitación de las personas (autoridades que tomen decisiones, usuarios de VEs, personal de mantenimiento, personal de servicios de emergencias, etc.), el incentivo a la participación ciudadana, el apoyo gubernamental y la gestión empresarial, junto con la generación de conocimiento y la visualización

por parte del público general de las características y desempeño de los VEs, en especial al positivo impacto medioambiental que se produce en el uso de éstos.

### **3.2.5. Escenarios.**

La principal fuente de errores en la toma de decisiones, proviene de suposiciones inexactas, de no contar con una estimación de las probabilidades, depender de las expectativas, los errores de previsión y los cambios en el entorno económico. Por eso, es importante una formulación que permita una aplicación real de los objetivos propuestos ante diferentes tipos de escenarios, teniendo en cuenta la incertidumbre. Al respecto, cabe precisar que “*Escenario*” será el o los contextos en los cuales podría desenvolverse un proceso, basado en la posibilidad de ocurrencia de múltiples factores que puedan afectarlos. El modelado de escenarios es una actividad complementaria de gran importancia, ya que nos podrá señalar el eventual comportamiento de la propuesta, ante factores exógenos.

En el enfoque planteado, desarrollar los modelos de los distintos escenarios (Moreno J., et al., 2017) mediante patrones o esquemas de trabajo, implica una descripción de los factores que pueden afectar a la propuesta, con la estimación del impacto que producen en ésta (positivo, neutro o negativo), considerando la temporalidad, ya sea presente o futura, siendo posible deducir que un escenario futuro está relacionado con un escenario actual y en concordancia con lo expuesto, no todos los escenarios futuros se concretan.

- a. Consideraciones para la implementación de escenarios, asociados a la toma de decisiones:** La modelación de escenarios para la toma de decisiones no es un aspecto trivial en un proyecto determinado, dado que

estimaciones incorrectas, limitadas, sobredimensionadas o demasiado optimistas, pueden llevar al fracaso de una propuesta, ocasionando perjuicios económicos y eventualmente daños al material o a las personas.

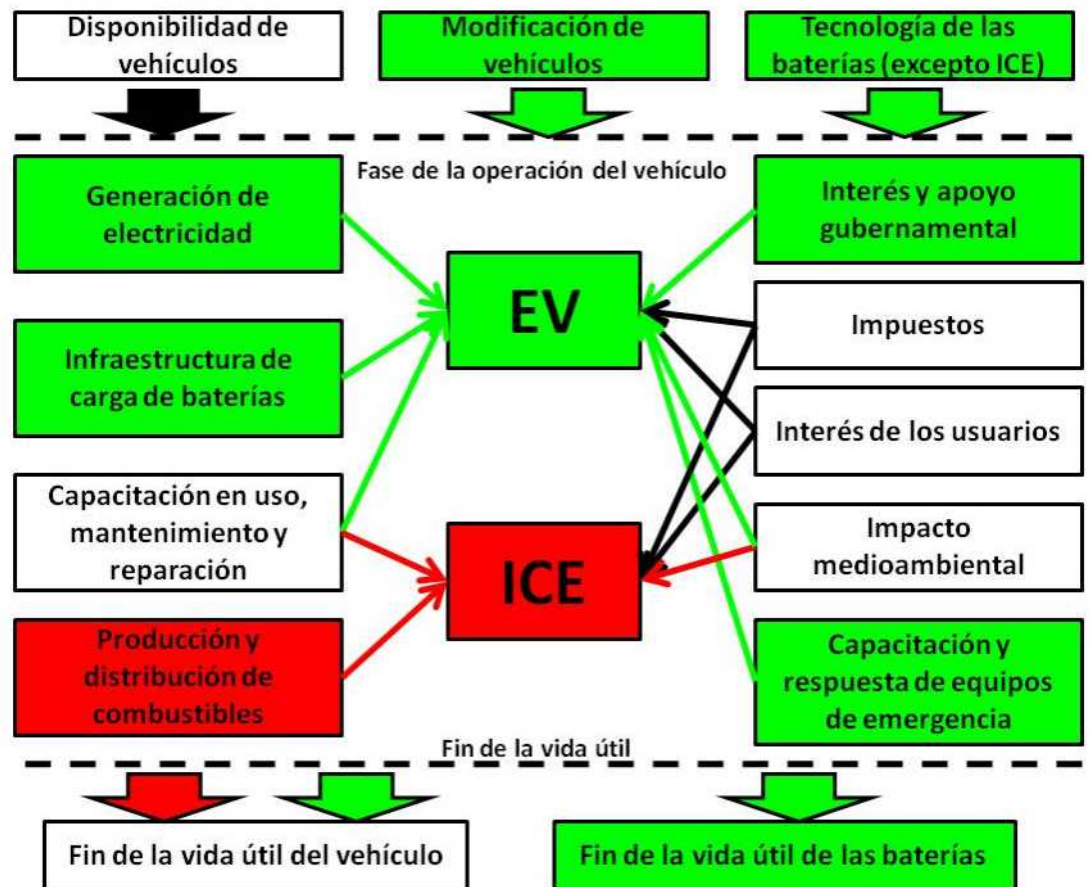
En la búsqueda de acotar y perfilar los instrumentos de toma de decisiones, en especial aquellas complejas y que tienden a cambiar ciertos modelos previamente establecidos, usualmente concurren una serie de factores (Halcartegaray P., 2019) que pueden ocultar los buenos resultados, tales como los que a continuación se indican.

- ***Poca precisión en la definición del problema:*** Usualmente basada en apreciaciones puntuales, sin una mirada de contexto.
- ***Falta de fuerza dentro de la organización:*** Proponer soluciones que tengan un bajo impacto en la organización, beneficien a grupos reducidos, escasez de presupuesto y/o soluciones a muy largo plazo, pueden generar un bajo interés de participación o de apoyo a la propuesta. Una medida paliativa para ello es impulsar las propuestas con una mirada de conjunto, generando un sentido de pertenencia a ésta.
- ***Factor de escala:*** Problemática vinculada a la incorrecta definición de la escala del problema o de su eventual propuesta de solución. Una estrategia para superar este error es la modelación del problema y su solución, considerando la implementación de soluciones incrementales o desagregando el problema en varios problemas de menor cuantía (método Cartesiano), enfocando mejor los esfuerzos para su solución.

**b. Construcción de escenarios:** Considerando la matriz de riesgos previamente expuesta, el proceso de planificación de escenarios (Day G.S., et al., 2001) puede caracterizarse de la siguiente manera:

- 1) Definir los conceptos y los aspectos relevantes que se requiere sean comprendidos en un marco temporal, de alcances y de variables de decisión.
- 2) Identificar los grupos de interés que puedan ser afectados (positiva o negativamente, o que los supongan una condición de privilegio) en la propuesta por las variables que en ella intervienen, con el propósito de atenuar eventuales sesgos o prejuicios.
- 3) Identificar los factores y aspectos relevantes que dan forma al alcance de la propuesta, en relación con los aspectos técnicos, administrativos, de seguridad y medioambientales, de manera que la proposición siempre se encuentre al amparo legal correspondiente.
- 4) Identificar tendencias o elementos predeterminados que afectarán los temas de interés, tales como situaciones sociales, políticas o económicas, verificando su eventual impacto en el proceso.
- 5) Identificar incertidumbres o aspectos considerados importantes cuyos resultados no son predecibles.
- 6) Evaluar la consistencia y la viabilidad de los escenarios, eliminando combinaciones que no sean creíbles o de baja probabilidad de ocurrencia, asegurando que los escenarios abarquen un amplio rango de posibles resultados futuros.

Asimismo, es importante delimitar los escenarios, de manera que se cubra el ciclo de vida del vehículo en estudio. Para ello se consideran los aspectos que eventualmente afecten, impacten o estimulen (Tatari O., et al., 2014) el uso y explotación de los VEs, en especial aquellos de uso militar. En este contexto, estos factores se basan en consideraciones medioambientales, gubernamentales, sociales y tecnológicas, como se muestra en el gráfico siguiente.



**Gráfico 40:** Límites de los escenarios propuestos para el sistema; fuente, Tatari O., et al., (2014).

- c. **Definición de escenarios:** El impacto de implementación de escenarios en la propuesta, ayuda a la reducción del riesgo e incertidumbre, permitiendo incorporar menos recursos (o liberarlos) en la proposición de la solución, satisfaciendo con ello la demanda inicialmente planteada y

posibilitando una operación más eficiente dentro de la organización (Halcartegaray P., 2019). La presente tesis definió 3 escenarios probables y que se basan en los resultados de la matriz de riesgos, versus los sistemas de recarga de baterías propuestos para los VEs, considerando los beneficios en la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, asociado al uso de éstos.

Escenario	Recarga a través de la red eléctrica	Recarga a través de una estación solar fotovoltaica	Categoría
<p><b>Escenario N° 1</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto interés y apoyo gubernamental y de privados en el uso e implementación de VEs.</li> <li>- Disminución de carga impositiva en vehículos, insumos y repuestos.</li> <li>- Equipos de emergencia capacitados y con elementos para asistir a usuarios en caso de accidente.</li> <li>- Alto interés por parte de los usuarios, en el uso y promoción de la movilidad eléctrica.</li> <li>- Amplia cobertura de los beneficios medioambientales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy alto interés y apoyo gubernamental y de privados en el uso e implementación de VEs.</li> <li>- Disminución de los impuestos a los VEs, insumos y repuestos; eliminación de los impuestos a la adquisición de paneles solares y/o subsidio a la generación fotovoltaica.</li> <li>- Equipos de emergencia capacitados y con elementos para asistir a usuarios en caso de accidente.</li> <li>- Alto interés por parte de los usuarios, en el uso y promoción de la</li> </ul>	<p><b>Optimista</b><sup>188</sup></p>

<sup>188</sup> El escenario optimista presume una reducción del 8% en las emisiones de CO<sub>2</sub> para la “Recarga a través de la red eléctrica instalada” y de un 10% para la “Recarga a través de una estación solar fotovoltaica”.



Escenario	Recarga a través de la red eléctrica	Recarga a través de una estación solar fotovoltaica	Categoría
		movilidad eléctrica. - Amplia cobertura de los beneficios medioambientales.	
<b>Escenario N° 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interés y apoyo moderado por parte del gobierno y de privados en el uso e implementación de VEs.</li> <li>- Se mantienen los precios de la generación de energía eléctrica, se mantienen los impuestos a los vehículos, insumos y repuestos.</li> <li>- Equipos de emergencia en proceso de capacitación y adquisición de elementos para asistir a usuarios en caso de accidente.</li> <li>- Interés por parte de los usuarios, en el uso y promoción de la movilidad eléctrica.</li> <li>- Cobertura de los beneficios medioambientales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interés y apoyo moderado por parte del gobierno y de privados en el uso e implementación de VEs.</li> <li>- Baja reducción de los impuestos a los VEs, insumos y repuestos; Se mantienen los impuestos a los paneles solares y la generación fotovoltaica.</li> <li>- Equipos de emergencia en proceso de capacitación para asistir a usuarios en caso de accidente.</li> <li>- Interés por parte de los usuarios, en el uso y promoción de la movilidad eléctrica.</li> <li>- Cobertura de los beneficios medioambientales.</li> </ul>	<b>Conservador<sup>189</sup></b>

<sup>189</sup> El escenario conservador presume que los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> se mantienen para la “Recarga a través de la red eléctrica instalada” y que existirá una reducción 3% de las emisiones para la “Recarga a través de una estación solar fotovoltaica”.

Escenario	Recarga a través de la red eléctrica	Recarga a través de una estación solar fotovoltaica	Categoría
<b>Escenario N° 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escaso o nulo interés gubernamental y de privados en el uso e implementación de VEs.</li> <li>- Restricciones aduaneras a la importación de VEs.</li> <li>- Aumento de los precios de generación de energía eléctrica.</li> <li>- Se mantienen los impuestos a los insumos y repuestos.</li> <li>- Escasa disponibilidad de servicios de mantenimiento.</li> <li>- Alta competencia por parte de comercializadores de vehículos de combustión interna.</li> <li>- Equipos de emergencia en proceso de capacitación y adquisición de elementos para asistir a usuarios en caso de accidente.</li> <li>- Escaso interés por parte de los potenciales usuarios de los VEs.</li> <li>- Baja cobertura de los beneficios medioambientales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo interés del gobierno y de privados en el uso e implementación de VEs.</li> <li>- Restricciones aduaneras a la importación de VEs.</li> <li>- Se mantienen los impuestos a los insumos y repuestos.</li> <li>- Se mantienen los impuestos a los paneles solares y la generación fotovoltaica.</li> <li>- Escasa disponibilidad de servicios de mantenimiento.</li> <li>- Alta competencia por parte de comercializadores de vehículos de combustión interna.</li> <li>- Equipos de emergencia en proceso de capacitación y adquisición de elementos para asistir a usuarios en caso de accidente.</li> <li>- Reducido interés</li> </ul>	<b>Pesimista</b> <sup>190</sup>

<sup>190</sup> El escenario pesimista presume un aumento del 5% en las emisiones de CO<sub>2</sub> para la “Recarga a través de la red eléctrica instalada” y un aumento de 3% de las emisiones para la “Recarga a través de una estación solar fotovoltaica”.

Escenario	Recarga a través de la red eléctrica	Recarga a través de una estación solar fotovoltaica	Categoría
		por parte de los potenciales usuarios de los VEs. - Nula cobertura de los beneficios medioambientales.	

**Tabla 63:** Modelización de los escenarios; fuente, Roberts C., (2020).

### 3.2.6. Medición y modelización de la incertidumbre.

Las decisiones deben tomarse calculando la rentabilidad y la probabilidad de ocurrencia de los hechos, estableciendo estrategias para una acertada toma de decisiones. La incertidumbre existe siempre que puede suceder en el futuro más de una situación posible de la que realmente ocurrirá.

En este contexto, el concepto de probabilidad ocupa un lugar importante en el proceso de toma de decisiones, independiente de que el problema se plantee en un proyecto, por el gobierno o simplemente en nuestra vida cotidiana. En algunas situaciones de toma de decisiones no habrá información o ésta será incompleta, y por lo tanto, las decisiones se tomarán en condiciones de incertidumbre. En estos casos es donde la probabilidad entra en el proceso, representando el papel sustituto de la certeza.

El control de la incertidumbre en la toma de decisiones se puede hacer a través de la modelización de escenarios. Dada su incertidumbre y la falta de un esquema de distribución de probabilidad, se utilizaron dos modelos de decisión, el criterio Hurwitz y el criterio Laplace.

- a. **Criterio Hurwitz:** Este criterio nos permite obtener un promedio entre las acciones más optimistas y más pesimistas en virtud de un índice de

optimismo, que se define en relación al entorno de la situación estudiada.

**V (a<sub>i</sub>, j) Beneficios**

$$\text{Max } a_i \{ \text{Max }_j V(a_i, j) + (1 - \alpha) \text{Min }_j V(a_i, j) \}$$

**Ecuación 68**

Donde

*V* = Valor económico.

*i* = 1, ..., m.

*j* = 1, ..., n.

*a* = Acciones posibles.

= Estados futuros.

= Índice de optimismo; si = 1, el criterio es optimista; = 0, el criterio es pesimista.

La siguiente tabla muestra la matriz de beneficios (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>) para un VE, para la comparación de los escenarios establecidos, con un =0,35; debido a que para todas las tecnologías del estudio, se presume que a futuro aumentarán las emisiones de CO<sub>2</sub> en la generación de energía para la recarga de las baterías.

Matriz de beneficios <sup>191</sup>		Escenario		
		1 Optimista	2 Conservador	3 Pesimista
Recarga a través de la red eléctrica	a <sub>1</sub>	0,096*0,92	0,096	0,096*1,05
Recarga a través de una estación solar fotovoltaica	a <sub>2</sub>	0,008*0,9	0,008*0,97	0,008*1,03

**Tabla 64:** Matriz de beneficios (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>), criterio Hurwitz; fuente, Roberts C., (2020).

Donde

- a<sub>1</sub> : VE con recarga a través de la red eléctrica.
- a<sub>2</sub> : VE con recarga a través de paneles solares fotovoltaicos.
- 1 : Escenario optimista.
- 2 : Escenario conservador.
- 3 : Escenario pesimista.

La tabla siguiente muestra los resultados de la aplicación del criterio de decisión bajo incertidumbre “Hurwitz” para las situaciones establecidas, en comparación con los diferentes escenarios definidos previamente.

a <sub>1</sub>	$0,35 * (0,096 * 1,05) + (1 - 0,35) * (0,096 * 0,92) = \mathbf{0,0927}$
a <sub>2</sub>	$0,35 * (0,008 * 1,03) + (1 - 0,35) * (0,008 * 0,90) = \mathbf{0,0076}$

**Tabla 65:** Criterio Hurwitz aplicado a condiciones (tipo de recarga) establecidas; fuente, Roberts C., (2020).

**Interpretación de resultados.** Desde una perspectiva de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el modelo más apropiado es a<sub>2</sub>, que corresponde a la recarga de baterías de un VE, mediante la *recarga solar fotovoltaica*, ya que es la opción que maximiza los beneficios (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>) en

<sup>191</sup> Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/km).

los 3 escenarios propuestos.

- b. Criterio Laplace:** El criterio de Laplace se basa en el principio de razón insuficiente; dado que no se conoce la distribución de probabilidad, todos los escenarios tienen la misma probabilidad.

$$\left[ \frac{1}{n} \right] = \text{Probabilidad de ocurrencia, } n = 3 \text{ escenarios.}$$

$$\text{Max } a_i \left| \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V(a_i, \theta_j) \right|$$

**Ecuación 69**

La siguiente tabla muestra la matriz de beneficios (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>) para un VE, en relación con los escenarios establecidos, conforme a la presunción de futuras fluctuaciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> en la generación de energía para la recarga de las baterías, para todas las tecnologías del estudio.

Matriz de beneficios <sup>192</sup>		Escenario		
		1 Optimista	2 Conservador	3 Pesimista
Recarga a través de la red eléctrica	a <sub>1</sub>	0,096*0,92	0,096	0,096*1,05
Recarga a través de una estación solar fotovoltaica	a <sub>2</sub>	0,008*0,9	0,008*0,97	0,008*1,03

**Tabla 66:** Matriz de beneficios (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>), criterio Laplace; fuente, Roberts C., (2020).

La tabla siguiente muestra los resultados de la aplicación del criterio de

<sup>192</sup> Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/km).

decisión bajo incertidumbre “*Laplace*” para las situaciones establecidas, en comparación con los diferentes escenarios previamente definidos.

<b>a<sub>1</sub></b>	$1/3 * (0,096 * 0,92 + 0,096 + 0,096 * 1,05) = \mathbf{0,095}$
<b>a<sub>2</sub></b>	$1/3 * (0,008 * 0,9 + 0,008 * 0,97 + 0,008 * 1,03) = \mathbf{0,0077}$

**Tabla 67:** Criterio Laplace aplicado a condiciones (tipo de recarga) establecidas; fuente, Roberts C., (2020).

**Interpretación de resultados.** Desde la perspectiva de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el modelo más apropiado es **a<sub>2</sub>**, que corresponde a la recarga de baterías de un VE mediante *paneles solares fotovoltaicos*, ya que es la opción que maximiza los beneficios (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>) en los 3 escenarios propuestos.

- c. Validación de la incertidumbre:** Los resultados obtenidos en los criterios de decisión bajo incertidumbre (Hurwitz y Laplace), validan que el modelo más apropiado es el **a<sub>2</sub>**, que corresponde a la recarga de baterías mediante el uso de *paneles solares fotovoltaicos*, ya que es la opción que maximiza los beneficios (menos emisiones de CO<sub>2</sub>) en los 3 escenarios propuestos.

### 3.2.7. Interpretación de resultados.

Al considerar de manera separada los resultados de un análisis desde la mirada económica, relacionado con la recarga del sistema de baterías de un VE, versus el uso del mismo vehículo con motor a combustión interna, se determinó que la mejor opción es el *vehículo con recarga eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos, con baterías de ácido-plomo*.

Por otra parte, al modelar escenarios posibles de ocurrencia, al amparo de dos criterios (Hurwitz y Laplace) se obtuvo que la mejor solución, desde el punto

de vista de las emisiones de CO<sub>2</sub> (menor impacto medioambiental) corresponde a la recarga de baterías de un VE mediante la *recarga solar fotovoltaica*.

### 3.2.8. Extrapolación.

Los resultados obtenidos previamente, involucran un vehículo arquetipo, lo que no producirá un impacto significativo, por lo que éstos deben necesariamente extrapolarse a una flota de VEs, mediante un proceso como la “*Gestión de flota de vehículos eléctricos*” (GEOTAB, 2019), lo que posibilita un control de los medios y la verificación medioambiental de éstos, junto con los puntos que a continuación se indican.

- a. **Optimización de la autonomía de cada VE:** Obtención de los datos que permitan conocer los rendimientos de cada VE y la información de los kWh por cada recorrido, permitiendo comparar la eficiencia de cada vehículo y ajustar su uso para una mayor optimización. Esta base de datos se relaciona directamente con la forma de conducir, y que varía en función de cada persona, teniendo en cuenta el frenado, la aceleración y las velocidades que se desarrollan, y que contribuyen a un aumento o disminución de la autonomía.
- b. **Informe sobre recargas:** Los datos relativos a cada recarga de energía, es uno de los mayores desafíos a los que deben hacer frente los gestores de flotas de VEs. Actualmente se puede obtener esta información a través de los proveedores de estaciones de recarga y para el caso de recargas domiciliarias, de las facturas de electricidad, lo que en principio, si bien es útil no es suficiente, toda vez que la información que se necesita es la contabilización de los kWh correspondientes a la recarga de cada VE, en lugar del consumo total, tal y como ocurre para el caso de la factura de



electricidad. Otro dato importante es la localización geográfica donde se hayan realizado las recargas, para posibilitar disminuir una eventual sobrecarga de la red eléctrica y, a la vez, optimizar las operaciones, reduciendo así la saturación de la red. Junto con lo anterior, los registros de recarga revelarán los patrones de los usuarios de los diferentes VEs, estableciendo una rutina, que permitirá optimizarla eventualmente.

- c. **Información sobre el estado de la recarga en tiempo real:** Si bien la obtención de datos durante el proceso de uso de un VE no se ha llevado a cabo, el investigador considera que debe ser contemplado como un trabajo futuro, dada la importancia de contar con información adicional, para optimizar las capacidades operativas de una flota, en especial sobre el estado de la reserva de energía en tiempo real, promoviendo el cumplimiento de las rutinas de recarga. Así, será posible fijar reglas para abastecer de energía las baterías cada vez que estén por debajo del estado necesario para cumplir las misiones que se tengan previstas. Esta práctica puede ayudar a minimizar el tiempo de inactividad de vehículos asociados a la necesidad de recarga y a la vez, se obtendrá una visión sobre la autonomía de cada VE, lo que permite reaccionar al momento ante situaciones que puedan surgir y responder con un vehículo que sí disponga del nivel adecuado de energía de reserva.

### **3.3. Elección del sistema y su configuración.**

El proceso de toma de decisiones es complejo, dado que significa encontrar una respuesta apropiada para resolver una situación problemática, donde además de los múltiples datos que se deben procesar, se presentarán sucesos imprevistos (Cartes R., 2015). En la búsqueda de un método de comparación de configuraciones y sistemas, es necesario disponer de una matriz de

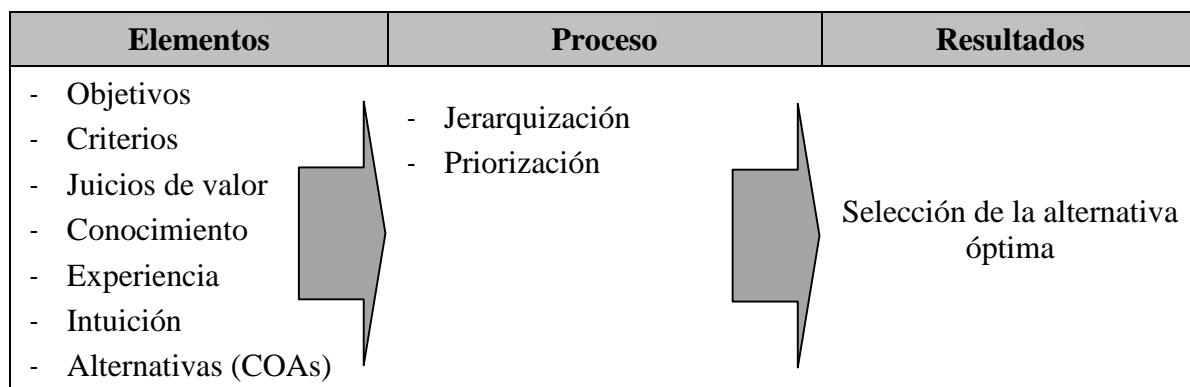
evaluación, la cual permite seleccionar la opción más adecuada conforme a los parámetros que ésta defina. En este contexto, para elegir el tipo de sistema de almacenamiento de energía (baterías), se utilizó la matriz de decisión que más adelante se indica, la cual combina aspectos medioambientales, factores económicos y de rendimiento.

A efectos de lo indicado anteriormente, se cuenta con métodos de comparación cuantitativos y cualitativos, los que para su comprensión, se detallan a continuación.

- **Métodos cuantitativos (criterios objetivos).** Son aquellos que capturan una realidad estática y objetiva, basado en las relaciones entre variables cuantificadas, tales como variables económicas y dimensionales.
- **Métodos cualitativos (criterios subjetivos).** Son aquellos que analizan las relaciones entre variables que otorgan información sobre juicios, actitudes o deseos. Pueden originarse a partir de encuestas, observación, entrevistas o técnicas proyectivas. Aportan información sobre aspectos no contemplados cuantitativamente, por lo que se considera complementaria. Enriquecen y matizan la información cuantitativa, pudiendo adquirir la capacidad de cuantificación si se les asigna un valor para indicar mayor o menor grado del atributo en el objeto.

Dichos métodos de comparación multicriterio (Contreras E., et al., 2008) posibilitan la toma de decisiones bajo el esquema que se señala.

### Toma de decisiones



**Tabla 68:** Esquema de toma de decisiones; fuente, Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos, (2008).

Los métodos multicriterio se fundamentan a partir del proceso decisorio que requiere de la aplicación de métodos de comparación, para apoyar al tomador de decisiones, de tal manera que sus decisiones sean plenamente consistentes con algún marco de racionalidad adoptado.

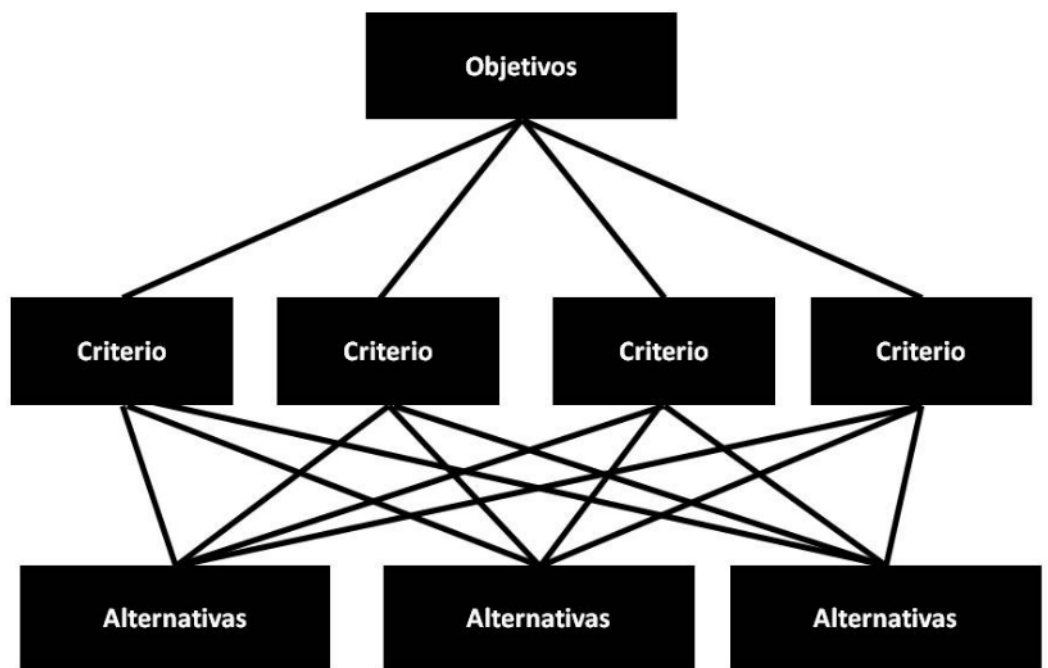
#### 3.3.1. Matriz de evaluación.

Para enfrentar exitosamente los sesgos y prejuicios, junto a un nivel de incertidumbre, característica de escenarios variables y condiciones con dificultad de comparación y, de esa forma, al enfrentarnos a situaciones con diferentes posibilidades de solución, es necesario contar con una “*Matriz de evaluación*” que proponga una solución con fundamentos y que permita la toma de decisiones (Cartes R., 2015).

La matriz de evaluación desarrollada en la presente tesis, basada en un método Jerárquico-Analítico (Contreras E., et al., 2008), asigna una puntuación a los diferentes criterios de evaluación, priorizándolos en función de su nivel de importancia. En este sentido, la variable de 1er. Nivel con la menor incidencia en la matriz es el criterio “*Económico*” y por otra parte, la variable dominante es el criterio “*Medioambiental*”, debido a que la reducción de emisiones de

CO<sub>2</sub> es lo que se ha considerado más importante, a efectos de esta investigación.

- a. **Proceso de jerarquización:** Se utilizó el método matemático basado en procesos psicológicos desarrolla por Thomas L. Saaty (1980), el cual contiene 3 niveles, a saber; Objetivo, Criterios y Alternativas, tal y como señala el gráfico siguiente.



**Gráfico 41:** Niveles del Método Jerárquico Analítico (AHP); fuente, Contreras E., et al., (2008).

Para lo anterior, se debe tener presente que las decisiones de gran nivel no pueden tomarse de manera aislada, debido a la presencia de sesgos personales o intereses particulares, por lo que la concurrencia de grupos interdisciplinarios que aportan su experiencia y visión para abordar la complejidad de los nuevos problemas de decisión, puede llegar a un resultado óptimo o cercano a éste, donde los errores individuales se anulan entre sí, lo que es considerado como la “*Sabiduría de la multitud*” (Surowiecki J., 2004). Este método de Jerarquía Analítica tiene ventajas y

desventajas, las cuales se detallan en la tabla siguiente.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es simple.</li> <li>- Es flexible.</li> <li>- Es de fácil e intuitiva comprensión.</li> <li>- Se puede integrar con otras metodologías multicriterio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Responde a un axioma restrictivo derivado de la teoría de las elecciones racionales.</li> <li>- En algunos casos se observan inconsistencias y carencia de robustez en los resultados, junto con eventual contradicción en los juicios.</li> <li>- Es un mecanismo compensatorio.</li> </ul>

**Tabla 69:** Ventajas y desventajas del método Jerárquico Analítico; fuente, Surowiecki J., (2004).

En consideración a que pudiesen existir sesgos o prejuicios en la comparación subjetiva para el cálculo de la importancia relativa de los atributos en una metodología multicriterio (Tudela A., et al., 2004), se debe utilizar un método de Jerarquía Analítica, que posibilite la obtención de funciones de utilidad dependientes de los atributos que describen el proceso de decisión. Este método de jerarquía analítica, (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) posee 3 principios rectores:

- Construcción de las jerarquías.
- Establecimiento de prioridades.
- Consistencia lógica.

**b. Desarrollo:** Para llevar a cabo lo indicado en el punto anterior, se debieron seguir los siguientes pasos:

1) Conceptualización: Aunque a menudo se supone que los “*Expertos*” son profesionales o científicos calificados y/o haber alcanzado un alto estatus, se puede establecer que un “*Experto*” es una persona con conocimientos específicos y experiencia en una materia determinada,

por lo que su aporte es relevante (Mullen P. M., 2003).

- 2) Definir al grupo de expertos: Para ello se seleccionaron a cuatro personas, con las siguientes características profesionales y competencias:
  - Dos Oficiales de Ejército, ambos Ingenieros Politécnicos.
  - Un Oficial de Ejército, Ingeniero de Transporte.
  - Un Oficial de Ejército, especialista en Material de Guerra.
- 3) Selección de los criterios: Se trata de factores importantes que ayudan a la toma de decisión. Estos factores se mencionan a continuación, y se han decidido mediante la opinión de los “*Expertos*” en relación con las perspectivas del usuario sobre los VEs (Houssein Kanj, 2019):
  - Criterio de 1er. nivel, “*Aspectos económicos*”, con subcriterios de 2do. nivel “*Precio*” y “*Costo Anual Equivalente*”.
  - Criterio de 1er. nivel, “*Desempeño*”, con subcriterios de 2do. nivel “*Vida útil del sistema*” y “*Relación peso-potencia*”.
  - Criterio de 1er. nivel, “*Impacto medioambiental*”.
- 4) Definir indicadores, basados en los criterios, subcriterios y alternativas.
- 5) Construcción de prioridades.
- 6) Cálculo de las ponderaciones.
- 7) Comprobar consistencia.
- 8) Estandarización de indicadores.
- 9) Cálculo de índices.

10) Establecer ranking.

11) Análisis de sensibilidad.

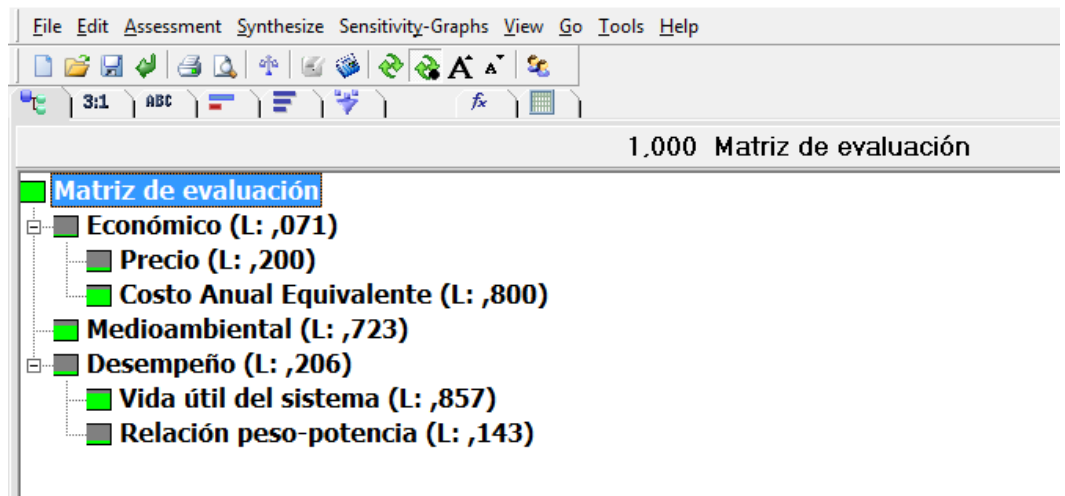
c. **Construcción de la matriz de evaluación:** Esta actividad, al amparo de los pasos detallados en el apartado precedente, corresponde a un método multicriterio (MC) que contempla lo siguiente:

- Las perspectivas de análisis no necesariamente se reducen a términos económicos.
- Las variables se expresan en diferentes dimensiones y escalas.
- No necesariamente se obtiene una puntuación global de las alternativas bajo análisis.

Para el desarrollo de la “*Matriz de evaluación*” se utilizó el software *Expert Choice*, el cual es una herramienta que está diseñada para ayudar a la toma de decisiones, sintetizando datos, experiencia, intuición, recursos limitados y objetivos. Para ello, la matriz de evaluación resultante se expone a continuación.

1er. nivel		2do. nivel		Sub total ponderado
Criterio	Ponderación	Criterio	Ponderación	
Económico	7,1%	Precio	20%	1,42%
		Costo Anual Equivalente	80%	5,68%
Desempeño	20,6%	Vida útil del sistema	85,7%	17,65%
		Relación peso-potencia	14,3%	2,95%
Medio ambiental	72,3%			72,3%
<b>Total</b>	<b>100%</b>			<b>100%</b>

**Tabla 70:** Matriz de evaluación; fuente, Roberts C., (2020).



**Imagen 143:** Captura de pantalla del software *Expert Choice* para la elaboración de la matriz de evaluación Jerárquico Analítica; fuente, Roberts C., (2020).

### 3.3.2. Desarrollo de los conceptos.

#### a. Criterio de 1er. nivel “Económico”: 7,1%

- 1) Sub criterio de 2do. nivel “Precio”: 20% (1,42% ponderado).  
consideraremos que el precio más bajo del sistema es mejor que un precio más alto, de acuerdo con la siguiente fórmula de comparación.

$$VAC \text{ comparado} = \frac{VAC \text{ más bajo de todos los modelos}}{VAC \text{ del modelo "x"}} \quad 0,20$$

Para estos efectos, se utiliza el Valor Actualizado de Costes (VAC).

Condición	Sistema de carga	VAC	Resultados	
Baterías de ácido-plomo	Red eléctrica	USD 120.630 109.773 €	0,995	19,9%
	Paneles solares	USD 120.075 109.268 €	1	20%
Baterías de iones de Litio	Red eléctrica	USD 124.457 113.256 €	0,965	19,3%



Condición	Sistema de carga	VAC	Resultados	
	Paneles solares	USD 123.902 112.751 €	0,969	19,4%
Batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> ).	Red eléctrica	USD 122.994 111.925 €	0,976	19,5%
	Paneles solares	USD 122.439 111.420 €	0,980	19,6%

**Tabla 71:** Matriz de precios, valores en dólares de los Estados Unidos de América y su equivalencia en Euros; fuente, Roberts C., (2020).

Luego se pondera en el criterio de **1er. nivel “Económico”**.

- 2) **Sub criterio de 2do. nivel “Costo Anual Equivalente”: 80% (5,68% ponderado).** Consideraremos el Costo Anual Equivalente comparado, para las tres configuraciones de baterías, mediante la “Carga en la red eléctrica” y la “Carga mediante paneles solares fotovoltaicos”, el CAE más bajo es el que mejor desempeño tiene, según la siguiente fórmula de comparación y tabla de datos.

$$CAE \text{ comparado} = \frac{\text{Menor CAE de todos los modelos}}{CAE \text{ del modelo "x"}} \quad 0,8$$

Condición	Sistema de carga	CAE	Resultados	
Baterías de ácido-plomo	Red eléctrica	USD 10.244 9.322 €	0,995	79,63%
	Paneles solares	USD 10.197 9.216 €	1	80%
Baterías de iones de Litio	Red eléctrica	USD 10.569 9.618 €	0,964	77,18%
	Paneles solares	USD 10.522 9.575 €	0,969	77,53%
Batería de fosfato de hierro-litio	Red eléctrica	USD 10.445 9.505 €	0,976	78,1%

Condición	Sistema de carga	CAE	Resultados	
	Paneles solares	USD 10.398 9.462 €	0,98	78,45%

**Tabla 72:** Matriz CAE comparado, valores en dólares de los Estados Unidos de América y su equivalencia en Euros; fuente, Roberts C., (2020).

Luego se pondera en el criterio de **1er. nivel “Económico”**.

**b. Criterio de 1er. nivel “Desempeño”: 20,6%**

- 1) **Sub criterio de 2do. nivel “Vida útil del sistema”: 85,7% (17,5% ponderado).** Consideraremos que una Vida Útil más prolongada del sistema de almacenamiento de energía (baterías) medida en años, es mejor que menor Vida Útil, de acuerdo con la siguiente fórmula de comparación.

$$\text{Vida útil de las baterías} = \frac{\text{Vida útil baterías del modelo "x"}}{\text{Mayor vida útil de todas las baterías}} = 0,857$$

Condición	Sistema de carga	Vida útil de las baterías	Resultados	
Baterías de ácido-plomo	Red eléctrica	4 años (3 reemplazos en 12 años)	0,66	57,13%
	Paneles solares			
Baterías de iones de Litio	Red eléctrica	3 años (4 reemplazos en 12 años)	0,5	42,9%
	Paneles solares			
Batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> )	Red eléctrica	6 años (2 reemplazos en 12 años)	1	85,7%
	Paneles solares			

**Tabla 73:** Matriz de vida útil del sistema de baterías; fuente, Roberts C., (2020).

Luego se pondera en el criterio de **1er. nivel “Desempeño”**.

- 2) **Sub criterio de 2do. nivel “Relación peso-potencia”: 14,3%**

(**2,95% ponderado**). Consideraremos que una mayor relación de peso-potencia del sistema es mejor que una menor relación de peso-potencia, de acuerdo con la siguiente fórmula de comparación.

$$\text{Relación peso – potencia} = \frac{\text{Relación peso – potencia del modelo "x"}}{\text{Mayor relación peso – potencia de todos los sistemas}} \quad \mathbf{0,143}$$

Condición	Sistema de carga	Relación peso-potencia	Resultados	
Baterías de ácido-plomo	Red eléctrica	0,023	0,958	13,7%
	Paneles solares			
Baterías de iones de Litio	Red eléctrica	0,024	1	14,3%
	Paneles solares			
Batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> )	Red eléctrica	0,024	1	14,3%
	Paneles solares			

**Tabla 74:** Matriz de Relación peso-potencia; fuente, Roberts C., (2020).

Luego se pondera en el criterio de **1er. nivel “Desempeño”**.

- c. **Criterio de 1er. nivel “Medio ambiental”:** **72,3%**. consideraremos que el criterio de 1er. nivel “Medioambiental”, corresponde a una emisión de CO<sub>2</sub> más baja por cada sistema es mejor que las emisiones de CO<sub>2</sub> más altas, de acuerdo con la fórmula de comparación.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \frac{\text{Menores emisiones de CO}_2 \text{ de todos los modelos}}{\text{Emisiones de CO}_2 \text{ del modelo "x"}} \quad \mathbf{0,723}$$

Esta evaluación cuantifica el CO<sub>2</sub> emitido durante el proceso de fabricación y el transporte de cada batería, más el producido por la operación del VE en las rutas establecidas, por 12 años de uso (3.000 km x 36 meses). Se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la operación del VE, considerando la recarga de la batería en la red eléctrica y la recarga mediante paneles solares fotovoltaicos, para las diferentes

configuraciones de baterías.

**1) VE configuración en serie/paralelo del sistema de baterías de ácido-plomo.**

Sistema de carga	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Resultados	
Red eléctrica	42.429,6 kg de CO <sub>2</sub>	0,104	7,52%
Paneles solares	4.413,6 kg de CO <sub>2</sub>	1	72,3%

**2) VE configuración en serie/paralelo del sistema de baterías de iones de Litio.**

Sistema de carga	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Resultados	
Red eléctrica	41.823,5 kg de CO <sub>2</sub>	0,091	6,58%
Paneles solares	3.807,46 kg de CO <sub>2</sub>	1	72,3%

**3) VE con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>).**

Sistema de carga	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Resultados	
Red eléctrica	41.628,9 kg de CO <sub>2</sub>	0,086	6,27%
Paneles solares	3.612,9 kg de CO <sub>2</sub>	1	72,3%

### 3.3.3. Resultados.

La aplicación de la matriz de evaluación propuesta, permite obtener los resultados finales que a continuación se indican en la tabla siguiente.

		Concepto					
		Económico 7,1%		Medio ambiental 72,3%	Desempeño 20,6%		Total
Tipo y configuración	Sistema de carga	Precio	CAE		Vida útil	Relación peso potencia	
En serie/paralelo, baterías de ácido-plomo	Red eléctrica	19,9%	79,63%	7,52%	57,13%	13,7%	27,13%
	Paneles solares	20%	80%	72,3%	57,13%	13,7%	73,96%
En serie/paralelo, baterías de iones de Litio	Red eléctrica	19,3%	77,18%	6,58%	42,9%	14,3%	23,39%
	Paneles solares	19,4%	77,53%	72,3%	42,9%	14,3%	70,94%
Batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> )	Red eléctrica	19,5%	78,1%	6,27%	85,7%	14,3%	32,06%
	Paneles solares	19,6%	78,45%	72,3%	85,7%	14,3%	79,83%

**Tabla 75:** Resultados de la matriz de evaluación; fuente, Roberts C., (2020).

### 3.3.4. Interpretación de los resultados.

El resumen de las observaciones, datos y aplicación de una matriz de evaluación, bajo parámetros previamente establecidos y que permiten la toma de decisiones, ha posibilitado (Selltiz C., et al., 1970) proporcionar respuestas a las interrogantes de la investigación. Esta interpretación es un aspecto fundamental de la presente tesis, ya que vincula diferentes variables en la búsqueda de la solución óptima, a una problemática previamente establecida. En esta etapa del proceso, se concurre hacia la realización de la toma de decisiones, para lo cual, usando la combinación de parámetros indicada en la matriz de evaluación, el modelo de configuración más conveniente corresponde

*al Sistema de almacenamiento de energía, con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>), mediante recarga a través de paneles solares fotovoltaicos.*

### **3.3.5. Extensión hacia vehículos de carácter civil.**

Es menester destacar además, que el método de modificación de vehículos militares de transporte de tropas (SCI a VE) es totalmente extrapolable a vehículos de uso civil, en especial a vehículos de emergencia, tales como ambulancias y aquellos utilizados en rescate; esto es posible dado que prácticamente utilizan los mismos sistemas y su configuración es similar, requiriendo las adaptaciones propias para cada modelo; asimismo (Giraldo M., et al., 2014) el mantenimiento en los vehículos de uso civil, será menos complejo, dado que no se verán afectados por un uso intensivo, así como tampoco son utilizados a plena capacidad, por lo que requerirán intervenciones de manera menos frecuente, aunque en síntesis su mantenimiento es el mismo, pero se deberá tener en consideración que al ser su empleo en la vía pública, serán sometidos a la normativa vigente en materia de inspección de vehículos, lo que hasta el momento no ha sido regulado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile.

### **3.4. Discusión.**

La interpretación de los resultados concluye en un antecedente que podemos apreciar de manera intuitiva. Esto es que el menor impacto medio ambiental en la operación de un vehículo eléctrico se logra con el uso de un VE que recargue sus baterías mediante paneles solares fotovoltaicos; esto desde la perspectiva de los riesgos que pueden producirse y la incertidumbre que se vincula con ellos. No obstante, principalmente por el precio y disponibilidad, y desde una perspectiva económica, las baterías de ácido-plomo son las adecuadas, lo que es paradójico, dado que éstas son altamente contaminantes en el momento de

ser desechadas.

Asimismo, mediante la aplicación de técnicas de selección, obtenemos un antecedente que también la sociedad puede apreciar de manera intuitiva, esto es que los menores efectos medioambientales en la operación de un medio de transporte, desde la perspectiva económica y de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se logra con el uso de un vehículo eléctrico que recargue sus baterías mediante paneles solares fotovoltaicos. En atención a que la presente tesis ha transcurrido en el contexto de los vehículos eléctricos de uso civil hacia el uso militar, respondiendo a las interrogantes y objetivos que se han planteado, el autor de esta investigación considera que es viable la movilidad eléctrica para los vehículos de transporte de tropas, no solamente desde una óptica que busca optimizar los recursos financieros, sino de la mitigación de los efectos negativos que se producen por el uso de medios dotados de motores de combustión interna, lo que puede impactar positivamente en la imagen institucional.

No obstante la conclusión que plantea el autor, debe ser analizada y consensuada por un grupo de “*Expertos*”, que revisen los planteamientos, resultados y proposición, de manera de que podamos contar con una opinión multidisciplinaria y heurística (Eco U., 1977), bajo un método claramente definido, como es el caso del método DELPHI.

## **CAPÍTULO IV    Aplicación del método DELPHI**

Considerando la “*Sabiduría de la multitud*”, la precisión del grupo es mayor que la individual (Surowiecki J., 2004), toda vez que de manera unitaria se puede contar con sesgos que influyan en apreciaciones particulares, lo que puede ser subsanada por un análisis de múltiples expertos o conocedores de la materia y, de esa forma, los errores o sesgos se anulan entre sí.

En este ámbito, la resolución a problemas implica desarrollar e implementar técnicas e instrumentos que posibiliten la satisfacción de éstas nuevas demandas. Estas técnicas deben contemplarse (Day G.S., et al., 2001) como procesos de tres etapas, siendo la primera de ellas la de *resolver si será oportuno invertir en la investigación y desarrollo o simplemente mantener el proceso en su estado original*. La etapa siguiente es *invertir en una nueva tecnología, para desarrollar, mejorar o adquirir nuevas capacidades*, suponiendo que la organización se enfrentará a la tercera etapa, la del *uso, mantenimiento y soporte de esta nueva capacidad*.

Algunas organizaciones no participarán de la primera etapa, la de investigación y desarrollo, rechazando la inversión en nuevas tecnologías, dado un nivel de confort, resistencia al riesgo o simplemente por confiar en organizaciones afines, que usen estas tecnologías y que cuenten con experiencias relativas a ello, ya sea por el desarrollo y el “*Ensayo y error*”, toda vez que los prototipos o modelos iniciales no necesariamente cumplen las expectativas previstas por todos los usuarios.

No obstante, en el caso de que se supere la segunda etapa, al implementar una nueva tecnología, será necesario impactar positivamente en los eventuales usuarios, dado que la resistencia al cambio será una variable a considerar, junto con la capacitación, empleo, sostenibilidad y finalmente su mantenimiento, factores que determinarán el éxito de un proyecto en sí.



#### 4.1. Resolución de problemas, basados en entornos grupales.

Con una mirada estratégica, la creatividad de los comandantes (en todos los niveles de mando) es una condición clave para desarrollar soluciones eficientes a diferentes problemas. Al margen de ello, los grupos de personas pueden ser más creativos y acertados que los individuos, pero, aunque el trabajo en grupo tiene sus ventajas, solucionar problemas en grupo tiene riesgos potenciales. Uno de estos es el “*Pensamiento de grupo*”, efecto psicológico común en las personas que trabajan en equipo para tomar decisiones, constituyéndose en una barrera para la creatividad, que combina hábitos, temores y prejuicios, y que se definen como:

- **Hábito:** Renuencia a cambiar las formas aceptadas.
- **Temor:** Agitación y ansiedad causada por la desconfianza e inquietud. Resistencia a desechar lo antiguo para adoptar lo nuevo, bajo la presión de ser concebido como torpe por recomendar un cambio de escenario o modelo.
- **Prejuicio:** Opinión preconcebida sin una base racional o con conocimiento escaso.

El “*Pensamiento en grupo*” se refiere a un modo de análisis consistente por parte de los integrantes de éste. Sucede cuando los integrantes, al esforzarse por llegar a un acuerdo, anulan su motivación para evaluar de manera realista diferentes cursos de acción. Los expertos adoptan una decisión colectiva y la aceptan de manera grupal, sin existir discusión o desafío para la solución seleccionada.

#### **4.2. El consenso entre los encuestados.**

La concepción común de un objetivo de la aplicación del método DELPHI es lograr consenso entre los expertos, producto de la iteración entre las posturas de cada uno de ellos, todo de manera anónima. Para obtener el consenso de opinión más confiable de un grupo de expertos, se utilizan una serie de cuestionarios diseñados para producir asentimiento grupal (Mullen P.M., 2003), a través de la opinión informada de personas con dominio específico en el campo en estudio.

#### **4.3. Desarrollo del método.**

El método DELPHI tiene como objetivo reducir al máximo las distintas posibilidades predictivas o pronósticos, simplificando el resultado de un proceso complejo mediante la opinión de un grupo de expertos, derivando en una posible toma de decisión (Reguant-Álvarez M., et al., 2016). Para su aplicación se requieren las siguientes 4 fases.

- a.** Identificación de objetivos.
- b.** Selección de expertos.
- c.** Cuestionarios iterativos.
- d.** Resultados.

Otros estudios (Mullen P.M., 2003) indican que no necesariamente la aplicación de un método DELPHI logrará (y en algunos casos no lo busca) un consenso entre los expertos, dado que existieron observaciones donde los encuestados defienden sus posiciones y argumentos, por lo que eventualmente el estudio se puede centrar en la determinación del grado de polarización de los encuestados más que en el asentimiento de ellos. Por tal razón, en caso de no

contar con un consenso entre los encuestados, el presente estudio preservará las opiniones y juicios de cada uno de ellos.

#### **4.3.1 Identificación de objetivos.**

La primera fase de un análisis DELPHI es la identificación de los objetivos de éste, los que para que exista una continuidad del proceso deben estar previamente formulados, ya que orientan las acciones y contienen las variables del estudio, junto con las dimensiones que deben explorarse para su logro. En consecuencia, los objetivos de la aplicación del método DELPHI para el presente estudio, son los que se indican a continuación.

- a. Determinar si existe consenso entre los encuestados (expertos), respecto delo propuesto por el presente estudio.
- b. Determinar si los expertos señalan observaciones o críticas respecto de lo propuesto por el estudio o la metodología aplicada para ello.
- c. Evidenciar sugerencias o proposiciones de los expertos, con el propósito de mejorar el estudio.

#### **4.3.2 Selección de expertos.**

Para lograr resultados adecuados, dado que se puede tener prejuicios en determinados grupos de personas y que a la vez, diferentes personas tienen formas muy desiguales de calificar su propia experiencia, el método DELPHI no se puede confinar a “*Expertos*” en materias específicas, sino que dicha formulación debe incluir a distintos expertos, que permitan representar un amplio espectro de intereses (Mullen P.M., 2003). En este sentido, además de incluir a individuos con conocimiento relevante y experiencia en el tema en particular, se incorporarán personas que sin contar con los conocimientos

formales para ser considerados “*Expertos*”, tienen familiaridad con la problemática en estudio, relativa a los vehículos militares.

Para la aplicación del método DELPHI, debemos seguir las recomendaciones que a continuación se indican.

- El director del proceso, en este caso el Doctorando, debe incentivar a los miembros para que expresen objeciones o dudas fundadas respecto de las materias de evaluación.
- La presentación de la problemática, debe abstraerse de expresar preferencias acerca de la o las soluciones potenciales.
- El director del proceso debe asignar a un miembro del grupo el papel de “*Experto revisor*” del proceso, para examinar el proceso de decisión del grupo, a modo de control.
- Después de alcanzar un consenso preliminar, el grupo debe reconsiderar las soluciones previamente discurridas.

Para los efectos de la selección de los *Expertos*, es necesario definir y determinar el grupo de ellos. El diccionario de la Real Academia Española define “*Experto*” como una persona “*Práctica o experimentada en algo, especializada o experimentada en algo*”, entendiéndose que éstos “*Expertos*”, deben contar con competencias profesionales en temas específicos, los que podrían ser considerados significativamente mejores que las competencias de los “*No expertos*”, quienes son “*Conocedores informados*”, pero no cuentan con los conocimientos formales específicos, pero poseen experiencias que pueden ser muy útiles para dimensionar elementos prácticos.

Es por ello que, con el propósito de contar con un amplio espectro de visiones de la materia y de la problemática en estudio, se estimó válido contar con “*Expertos*” con conocimientos formales y “*Expertos*” con conocimientos prácticos.

Al amparo de lo anterior y para determinar (Rodríguez J.M., et al., 2010) y confeccionar el listado de expertos, se tomaron las siguientes reflexiones:

- Trayectoria profesional relacionada con la carrera militar.
- Experiencia o conocimiento relativos a vehículos militares.
- Experiencia en la toma de decisiones, proyectos y/o temas prácticos asociados a transporte.
- Pensamiento integrador y con proyección medio ambiental.
- Evidenciarse imaginación, creatividad y pensamiento crítico.
- Interés demostrado por participar en el presente estudio.

En base a lo anterior y tras obtener el consentimiento de los individuos para participar en la valoración grupal anónima, se debe determinar el “*Coficiente de conocimiento*” ( $K_c$ ) de cada experto. Este coeficiente de conocimiento se genera sobre la base de una autoevaluación presentada a los candidatos a “*Expertos*”, siendo esta evaluación una escala creciente del 1 al 10, que incluye apreciación de su experiencia, su labor profesional y el conocimiento general que posee sobre las temáticas a valorar. Seguidamente y de la misma manera, se realiza el cálculo del coeficiente de argumentación ( $K_a$ ), obtenido de la media de los puntos a la respuesta del grado de influencia asociada a su intuición basada en sus conocimientos y experiencias profesionales.

Finalmente se materializa el cálculo de la competencia a nivel de codificación de cada panelista como “*Experto*” en el problema mediante la fórmula.

$$K = \frac{K_c + K_a}{2}$$

**Ecuación 70**

El panel de “*Expertos*” se detalla en el **Anexo N.º 2**, citándose en un principio a 13 individuos, resultando partícipes solamente 11 (dos se restaron por problemas de agenda y de salud respectivamente), los cuales fueron contactados de manera individual y no saben que otra persona se encuentra participando, reduciendo el sesgo en la encuesta y la eventual contaminación de la misma. Para todos estos efectos, se realizaron los siguientes pasos:

- a. **Determinar el coeficiente de conocimiento  $K_c$ .** Correspondiente a la autoevaluación para el grupo de “*Expertos*”, con respuestas en un nivel creciente de 1 a 10:

**Pregunta N° 1.** *¿Considera Ud. que conoce de vehículos militares de transporte de tropas?*

**Pregunta N° 2.** *¿Considera Ud. que conoce los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (baterías)?*

**Pregunta N° 3.** *¿Considera Ud. que conoce los sistemas alternativos de generación de energía eléctrica?*

**Pregunta N° 4.** *¿Considera Ud. que tiene conocimiento sobre vehículos eléctricos?*

- b. Determinación del coeficiente de argumentación  $K_a$ .** Correspondiente a la autoevaluación para el grupo de “*Expertos*”, con respuestas en un nivel creciente de 1 a 10:

**Pregunta N° 1.** *¿Cree Ud. que existe una correlación entre el uso de vehículos motorizados y la contaminación ambiental?*

**Pregunta N° 2.** *¿Cree Ud. que Chile fomenta la comercialización y uso de vehículos eléctricos?*

**Pregunta N° 3.** *¿Cree Ud. que se debe fomentar el uso y explotación de vehículos eléctricos en Chile?*

**Pregunta N° 4.** *¿Cree Ud. que existen riesgos en el uso de vehículos eléctricos?*

**Pregunta N° 5.** *¿Tiene Ud. experiencia en liderazgo de equipos y gestión de personas?*

**Pregunta N° 6.** *¿Ha participado Ud. en proyectos sociales o medioambientales?*

- c. Elaboración de la tabla de coeficiente de competencias  $K$ .** Incorpora los resultados de la autoevaluación de los “*Expertos*”, como se detalla en la tabla siguiente.

N.º	“Coeficiente de conocimiento” $K_c$ ; número de pregunta				“Coeficiente de argumentación” $K_a$ ; número de pregunta						$K_c$	$K_a$	$K$
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6			
1	7	7	9	5	10	7	10	8	10	1	7,40	7,67	7,53
2	3	1	1	1	10	3	8	8	8	1	4,40	6,33	5,37
3	9	6	5	4	7	5	9	4	8	6	6,00	6,50	6,25
4	7	6	5	6	9	7	9	2	9	7	6,70	7,17	6,93
5	9	6	6	4	6	3	5	9	10	10	6,80	7,17	6,98

N.º	“Coeficiente de conocimiento” $K_c$ ; número de pregunta				“Coeficiente de argumentación” $K_a$ ; número de pregunta						$K_c$	$K_a$	$K$
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6			
6	4	5	4	4	7	2	10	2	7	2	4,70	5,00	4,85
7	9	8	9	5	10	5	10	5	10	9	8,00	8,17	8,08
8	9	9	10	4	10	5	10	1	9	6	7,30	6,83	7,07
9	8	6	6	6	9	2	8	1	10	8	6,50	6,33	6,42
10	8	10	10	10	10	5	10	8	10	10	9,50	8,83	9,17
11	7	5	4	6	9	6	10	8	9	9	5,50	8,50	7,00

**Tabla 76:** Coeficiente de competencias de los expertos según resultados de la guía de autoevaluación aplicada; fuente, Roberts C., (2020).

Los expertos obtuvieron los valores de los coeficientes calculados ( $K_c$ ,  $K_a$  y  $K$ ) que oscilan entre los valores  $K_c$  (4,40 y 9,50);  $K_a$  (5,00 y 8,83) y  $K$  (4,85 y 9,17). Se considera que los valores obtenidos son suficientes para los coeficientes de conocimiento y de argumentación. Por consiguiente, el grado de pericia es apropiado para los 11 miembros que conformaron el panel y su participación se considera consistente.

### 4.3.3 Cuestionarios iterativos.

En la tabla anterior, se incluye el cálculo de la competencia a nivel de codificación de cada uno de los *expertos* que forman el panel; se puso de manifiesto el patrón que contiene los rangos de respuesta de los Expertos, determinándose que cuentan con las competencias suficientes para participar en el presente estudio.

Para la continuidad del proceso, y a partir de los objetivos planteados fue aplicado el método DELPHI ajustado a la investigación, para lo cual, de manera separada se les presentó a los Expertos un resumen con carácter prospectivo de los resultados obtenidos por el presente estudio (Rodríguez J.M., et al., 2010), de manera que éstos puedan evaluarlos y emitir un juicio al respecto, teniendo una valoración holística de la proposición de solución a la



problemática planteada. Para ello, este resumen expuso de manera sucinta los antecedentes, desarrollo y resultados obtenidos, entregándoseles un cuestionario que se expone en el **Anexo N.º 2**, el cual otorga de manera adicional unas líneas para que los evaluadores manifiesten opiniones y/u observaciones.

#### 4.3.4 Resultados.

a. **Primera iteración.** Las respuestas se encuentran en una escala creciente del 1 al 10, con la siguiente categoría de “*Consenso*”.

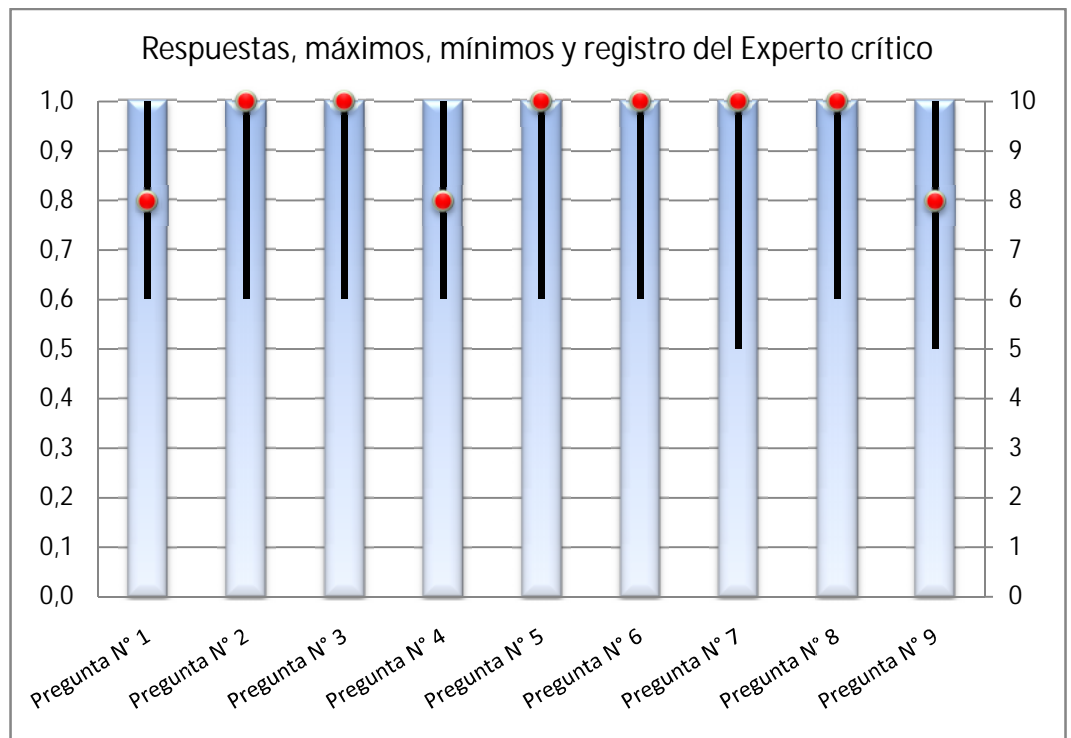
Puntuación de la respuesta (promedio)	Calificación	Criterio
Entre 1 y 3	<i>No hay consenso</i>	Los “ <i>Expertos</i> ” discrepan de la propuesta. Se debe(n) realizar una(s) iteración(es)
Superior a 3 y hasta 5	<i>Hay un bajo consenso</i>	Los “ <i>Expertos</i> ” no concuerdan con la propuesta, existe una baja aprobación de ésta. Se debe(n) realizar una(s) iteración(es)
Superior a 5 y hasta 7	<i>Consenso moderado</i>	Los “ <i>Expertos</i> ” concuerdan parcialmente con la propuesta. Se puede(n) realizar una(s) iteración(es)
Superior a 7 y hasta 9	<i>Consenso</i>	Para los “ <i>Expertos</i> ”, la propuesta satisface los requerimientos. Iteración(es) opcional(es)
Superior a 9	<i>Consenso total</i>	Para los “ <i>Expertos</i> ”, la propuesta satisface totalmente los requerimientos. No requiere iteración.

**Tabla 77:** Criterio de calificación de respuestas; fuente, Roberts C., (2020).

Aplicado el método DELPHI con los “*Expertos*” seleccionados, éstos entregaron los siguientes resultados.

Experto	Pregunta								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	10	10	10	10	10	5	9	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	9	10	8	7	8	10	9	10	9
4	9	9	10	10	10	10	9	10	10
5	9	9	9	10	10	9	9	8	10
6	10	10	10	10	10	10	7	10	10
77	8	9	9	10	9	9	8	9	9
8	6	6	6	6	6	6	5	6	5
9	8	9	9	8	7	9	9	10	9
10	10	9	9	8	10	10	10	10	9
<b>Media</b>	<b>8,90</b>	<b>9,10</b>	<b>9,00</b>	<b>8,90</b>	<b>9,00</b>	<b>9,30</b>	<b>8,10</b>	<b>9,20</b>	<b>9,10</b>
11	8	10	10	8	10	10	10	10	8

**Tabla 78:** Respuestas de los “*Expertos*” a las preguntas realizadas; fuente, Roberts C., (2020).



**Gráfico 42:** Gráfico de notas máximas y mínimas en las respuestas de los Expertos, junto al experto revisor del proceso, asociado a la aplicación del método DELPHI sobre los resultados de la tesis; fuente, Roberts C., (2020).

Asimismo, los expertos manifestaron las siguientes observaciones y/o sugerencias.

Experto	Observaciones y/o comentarios adicionales
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 4</u>: <i>Es suficiente.</i></li> <li>- <u>Pregunta 5</u>: <i>Sí.</i></li> <li>- <u>Pregunta 6</u>: <i>Sí.</i></li> <li>- <u>Pregunta 7</u>: <i>Faltan muchas regulaciones.</i></li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 4</u>: <i>Es suficiente.</i></li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 5</u>: <i>Siempre es bueno profundizar un tema, sobre todo con el avance tecnológico al día de hoy.</i></li> <li>- <u>Pregunta 9</u>: <i>De todas maneras, es ventajoso, debido a que reduce las emisiones de los gases.</i></li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 1</u>: <i>Tengo algunas dudas con el orden de las preguntas en la Hipótesis y Objetivo, pero en general, buen planteamiento.</i></li> <li>- <u>Pregunta 2</u>: <i>Son suficientes, sin embargo se podría haber sido más explicativo.</i></li> <li>- <u>Pregunta 3</u>: <i>Se estima que es del todo necesario.</i></li> <li>- <u>Pregunta 4</u>: <i>Se estima que el estudio presenta una buena relación entre su historia y su estado actual.</i></li> <li>- <u>Pregunta 5</u>: <i>Se estima que es suficiente y concordante.</i></li> <li>- <u>Pregunta 6</u>: <i>De acuerdo a las opciones tecnológicas actuales, es el vehículo apropiado.</i></li> <li>- <u>Pregunta 7</u>: <i>Existe variada información, para lo señalado es apropiado y suficiente.</i></li> <li>- <u>Pregunta 8</u>: <i>A través del estudio, se demuestra que la propuesta es funcional y satisfactoria.</i></li> <li>- <u>Pregunta 9</u>: <i>El estudio lo demuestra, pero habría que pedir la opinión de las personas.</i></li> </ul>
5	No realizó comentarios.
6	No realizó comentarios.
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 6</u>: <i>La selección es adecuada, es un vehículo que ha servido por muchos años, mostrando resistencia y durabilidad, es justo darle una segunda oportunidad.</i></li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 4</u>: <i>Día a día hay nuevos estudios y adelantos, por lo tanto puede profundizarse más en un tiempo muy lejano.</i></li> </ul>

Experto	Observaciones y/o comentarios adicionales
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 5</u>: Al igual que la respuesta anterior, está bien por el momento, pero en el futuro puede mejorarse.</li> <li>- <u>Pregunta 7</u>: Falta mucho por hacer respecto a la contaminación atmosférica por parte de Chile sobretodo y demás países.</li> <li>- <u>Pregunta 9</u>: Económicamente por el momento es menos ventajoso que el sistema común.</li> </ul>
<b>9</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 1</u>: Se encuentran mencionados los antecedentes que permiten entender la importancia medioambiental para dar el paso que se requiere para el efecto.</li> <li>- <u>Pregunta 2</u>: Se encuentran enunciados los antecedentes básicos necesarios para comenzar con el estudio, independiente de los futuros antecedentes que se puedan aportar dado lo rápido con que nuevos aportes puedan ayudar al estudio.</li> <li>- <u>Pregunta 3</u>: Es recomendable que se tenga noción del máximo de antecedentes que puedan aportar al conocimiento de lo recomendable que llega a ser el cambio a un nuevo sistema de movimiento.</li> <li>- <u>Pregunta 4</u>: Independiente de la historia que se tiene del estado de los VE, es recomendable tener presente los permanentes cambio que puedan tener aquellos países que cuentan con esta tecnología, con la finalidad de optimizar el prototipo a diseñar.</li> <li>- <u>Pregunta 5</u>: Se encuentran enunciados en el estudio los diferentes tipos de almacenamiento y sistemas de recarga que ayudan para una mejor idea de solución, considerándose la cantidad de análisis disponible en el estudio, lo que hace que la información sea suficiente y concordante.</li> <li>- <u>Pregunta 6</u>: Dados los antecedentes descritos en el estudio, las características, perfiles de uso y específicamente su vida útil remanente del vehículo AIL Storm M240, hace que sea una muy buena opción para el prototipo de vehículo militar multifuncional.</li> <li>- <u>Pregunta 7</u>: Las materias de contaminación atmosférica descritas a nivel mundial regional y nacional, permiten tener un apropiado y suficiente marco regulatorio.</li> <li>- <u>Pregunta 8</u>: Dada la gran cantidad de información acerca de los distintos sistemas, componentes, beneficios del diseño de conversión del vehículo SCI a VE, como también del uso del sistema de almacenamiento de energía y configuración, dadas las particulares condiciones atmosféricas y climatológicas de la zona norte nacional, hace que la propuesta del Doctorando sea muy funcional y satisface los requerimientos enunciados en el estudio.</li> </ul>

Experto	Observaciones y/o comentarios adicionales
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 9</u>: <i>Los análisis costo-beneficio y costo eficiencia enunciados, junto con el beneficio que el proyecto permitirá para el apoyo que la institución entrega a la sociedad nacional, hace que esta iniciativa de inversión sea muy ventajosa para los intereses nacionales.</i></li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Revisor del proceso</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Pregunta 1</u>: <i>Entiendo que mantener el escenario actual incluye medir la “Huella de carbono”.</i></li> <li>- <u>Pregunta 4</u>: <i>Ahondaría si han existido esfuerzos por las Fuerzas Armadas en el uso de VEs para usos civiles.</i></li> <li>- <u>Pregunta 7</u>: <i>Estudios de vehículo arquetipo se realiza sobre bases legales vigentes.</i></li> <li>- <u>Pregunta 9</u>: <i>Desde el punto de vista social, habría incluido la medición de la “Huella de carbono” para cuantificar aporte de VE convertido.</i></li> </ul>

**Tabla 79:** Observaciones u opiniones planteadas por los “*Expertos*”; fuente, Roberts C., (2020).

Análisis de las observaciones y/o comentarios adicionales. Al amparo de las observaciones declaradas por los Expertos, se evidencia en ellos una adhesión al planteamiento de la tesis, conclusiones y resultados, con reflexiones particulares relativas a las políticas públicas relacionadas con materias medioambientales, la conciencia social en materia de vínculos contaminantes y la infraestructura, tecnología y capacitación que permita sostener un medio de transporte de estas características.

Asimismo, de manera paralela se contactó y solicitó el análisis de los resultados por parte de un Oficial retirado de la Marina Nacional Francesa (*Marine Nationale*). Este experto revisó la propuesta y entregó las observaciones y/o recomendaciones que se detallan en el punto siguiente.

- b.** Análisis, observaciones y recomendaciones entregadas por el Oficial (R) de la Marina Nacional Francesa.

1) El encuestado entregó las observaciones y/o recomendaciones relativas a las preguntas formuladas en el test, entregándose una repuesta respecto de aquellas que así lo requieren, como se detalla a continuación.

a) *¿Chile se comprometió con las reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la parte militar y civil?*

**Respuesta:** Sí, a inicios del año 2020, en el marco de la Asamblea General de las Naciones Unidas, realizada en Nueva York, Chile anunció los alcances de la Contribución Nacional Tentativa (INDC, por sus siglas en inglés) del país en materia de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, comprometiéndose a una reducción de un 30% para el año 2030. Esta reducción de emisiones se basa en un conjunto de medidas de mitigación específicas y concretas por sector, que incluyen, entre otros, instrumentos como la Agenda Nacional de Energía, los Impuestos Verdes a emisiones de CO<sub>2</sub>, el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, la Estrategia Nacional de Construcción Sostenible y las metas comprometidas para el sector forestal, a través del manejo sostenible y recuperación de 100.000 hectáreas de bosque, que representará capturas y reducción de GEI en alrededor de 600.000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente anuales. Por lo anterior, Chile no especifica si la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> aplica a las actividades militares.

b) *¿Cuál es el gasto de la armada para transporte? ¿En litros, toneladas?*

**Respuesta:** No es posible entregar dicha información, toda vez que afecta materias vinculadas con la seguridad militar.

- c) *¿La infraestructura eléctrica depende de la autonomía eléctrica solar o no?*

**Respuesta:** La rigidez de la infraestructura eléctrica solamente posibilita la recarga de medios eléctricos en lugares donde se cuente con ello (urbano). Para el uso fuera de las ciudades se puede disponer de las alternativas que señala el estudio, a saber; contra con baterías de respaldo y/o recarga a través de una estación solar desplegable. Por tanto, podemos concluir que un VE de uso militar, que cuente con las alternativas señaladas precedentemente, puede contar con una autonomía extendida sobre la que su sistema de almacenamiento le entregue, dependiendo del sistema de respaldo que se le asigne.

- d) *Buena impresión que se vio todo a nivel histórico.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

- e) *Límite que se interesa solo a un vehículo. Debería enfocarse a nivel vehículo o a escala base o batallón para particularizar el estudio para que el Estado Mayor pueda visualizar su acción.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación, pero se hace presente que se enfoca en un solo vehículo, cuyos resultados son extrapolables a unidades militares que cuenten con dichos medios en diferentes cantidades, lo que puede ser observado a nivel creciente (cantidad de vehículos), como una Sección (30

soldados), una Compañía (3 secciones) o un Batallón (3 compañías).

- f) *Precisar cuál es el número de vehículos de este tipo a nivel nacional, explicar ¿porqué se uso este vehículo específicamente vehículo más popular? ¿vehículo listo para cambiar?*

**Respuesta:** en cuanto a la cantidad de vehículos de ese modelo disponibles, no es posible acceder a la entrega de dicha información, toda vez que afecta materias vinculadas con la seguridad militar. En cuanto a la elección del mismo, ésta se basa en la disponibilidad de un vehículo utilizado como transporte de tropas, con su vida útil cercana a su término, por lo que su enajenación y desvinculación del servicio no impacte en las actividades consideradas como de entrenamiento y ayuda a la comunidad.

- g) *Si el estudio lo demuestra, sería bueno, pero hay que cifrar para formar nuevos mecánicos gastos indirectos de formación, homologación y política interna.*

**Respuesta:** se concuerda con la observación, la formación de mecánicos e infraestructura apropiada para el desarrollo de este tipo de proyectos es fundamental, no obstante, aunque se requiere de recursos para ello, los beneficios medioambientales balancean dichos gastos y en definitiva producen una mejora en las condiciones para la sociedad.

- h) *El estudio debería estar más profundo en escala más grande, la parte económica más detallada, lo que ganamos y lo que per-*



*demos misión que no se puede hacer con el vehículo eléctrico propuesto.*

**Respuesta:** La proposición de modificación de un SCI a VE incorpora datos extrapolables a vehículos de las mismas características y/o a otros modelos de diseño similar (peso, dimensiones y uso), por lo que dichos resultados pueden ser modelados para unidades militares de diferentes dimensiones, que cuenten con dichos medios de transporte.

2) Observaciones adicionales respecto de la propuesta, incluyendo respuestas a éstas:

a) *Si la tesis llega a manos de un militar, ¿Cuál sería su opinión? ¿Cuál sería el rol de la tesis?*

**Respuesta:** La presente tesis fue presentada de manera individual a un grupo de “*Expertos*”, entre los que se cuentan 10 militares (activos o en condición de retiro) que por su experiencia, conocimientos y aptitudes, analizaron la propuesta al amparo de la metodología DELPHI, logrando consenso en los resultados, lo que considera ésta como aceptable. No obstante, a futuro se considera presentar la propuesta a los organismos competentes, como una alternativa viable para atenuar en parte, los efectos nocivos de las actividades de transporte.

b) *¿Se puede dimensionar dependiente el estudio de los escenarios con misiones más complejas?; como el número de km, velocidades y a nivel estratégico, su furtividad cuando va en operación de inteligencia.*

**Respuesta:** El dimensionamiento para este estudio se realiza en base a condiciones asimilables a “*Tiempo de paz*”. Su empleo en la guerra<sup>193</sup> es de vehículo de enlace, transporte, comando y reconocimiento, donde recorrerá distancias que dependan de la misión que deba cumplir, por lo que su autonomía se verá afectada directamente por las condiciones impuestas y los medios de recarga con que cuente, lo que es similar a la autonomía que pueda lograr un SCI bajo situaciones comparables. Por otra parte, un VE es notoriamente más silencioso que un SCI, por lo que su uso furtivo, para misiones basadas en reconocimiento, lo posicionan como un vehículo ideal.

c) *¿Son vehículos parecidos a los vehículos civiles?*

**Respuesta:** Los vehículos tienen características exclusivamente militares; su comercialización solamente se realizó con Fuerzas Armadas de diferentes países. No obstante, el vehículo utiliza una plataforma de un reconocido vehículo civil, con las modificaciones que le permiten cumplir las misiones que se le asignan.

d) *Entonces ¿cómo defines el nuevo escenario?*

**Respuesta:** La tesis define el “*Nuevo escenario*” como el cambio en la idea y percepción de las personas, en el sentido de que “*Mantener las prácticas actuales, dado que ellas satisfacen las necesidades y no generan un impacto inmediato*” y, por otra parte, atenuar el “*Negativismo individual o colectivo, que se resiste a la implementación de nuevas ideas, vaticinando el desastre o escaso éxito que ello puede ocasionar*”; todo esto, median-

---

<sup>193</sup> Guerra; “Continuación de la política por otros medios”, Karl von Clausewitz (1780-1831).

te el uso y explotación de los VE, en resumen, es romper las barreras que se oponen a la implementación de nuevas tecnologías, que impliquen beneficios sociales, como lo son el uso de medios alternativos o la transformación (o reconversión) de los activos de transporte, con una perspectiva medioambiental tendente a atenuar el aumento de los niveles de Gases de Efecto Invernadero, en especial el CO<sub>2</sub>.

- e) *¿Cuál sería tu deseo o tu objetivo si algún General de la Ejército leyera tu tesis? ¿Podría tomar decisiones?*

**Respuesta:** Al igual que todo estamento, ya sea público o privado, la toma de decisiones se materializa mediante la evaluación de múltiples factores, ya sean económicos, de oportunidad, sociales y estratégicos en el caso de las Fuerzas Armadas, por ello, la decisión no es de un solo hombre, sino que es de manera colegiada, por lo que eventualmente esta tesis puede ser presentada a una Comisión que la analice desde varias perspectivas, ya sea para una implementación global o a través de una muestra representativa o prototipo, de manera que se verifiquen las condiciones e impacto de este tipo de tecnologías, tanto en la perspectiva económica, punto de vista táctico/estratégico y una mirada medioambiental.

- f) *Entonces ¿sería solo cambiar los motores y guardar los chasis?*

**Respuesta:** Desde una mirada parcial, cambiar los motores de los SCI, transformándolos en VE es solamente un instrumento, lo que busca la tesis es diferente, ya que se motiva por determinar el impacto de los VEs en una sociedad que aún no cree to-

talmente en ellos, que depende de los combustibles fósiles y que aún no considera seriamente la huella que dejamos en el medioambiente, por ello, desde una perspectiva holística, la tesis va más allá de solamente reemplazar los motores.

**g)** *¿Considera a escala ciudad, región o país?*

**Respuesta:** El estudio se centró en una mirada focalizada a un vehículo determinado, el cual, dadas sus características de empleo, cantidad y disponibilidad territorial, puede ser utilizado como modelo extrapolable, ya sea por ciudades o a nivel general.

**h)** *Argumentos para generalizar la idea...economía 1, ecología 2*

**Respuesta:** Para la toma de decisiones en el presente estudio, se diseñó una matriz de evaluación, cuyos conceptos y ponderaciones se basaron en la metodología de un proceso jerárquico-analítico, para lo cual se utilizó el software *Expert Choice*, que implicó 3 criterios de evaluación con las siguientes ponderaciones; “Económico” (7,1%), “Desempeño” (20,6%) y “Medio ambiental” (72,3%), por lo que la variable dominante (por amplio margen) es el impacto medioambiental.

**c. Análisis de consenso.** Realizada la encuesta basada en el método DELPHI, se observó un alto nivel de consenso entre los Expertos, incluso con el *experto revisor* del proceso, lo que se verifica en la tabla siguiente, la cual proviene de los resultados promediados de cada una de las preguntas realizadas.

Experto	Pregunta								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Media</b>	8,90	9,10	9,00	8,90	9,00	9,30	8,10	9,20	9,10
11	8	10	10	8	10	10	10	10	8

**Tabla 80:** Extracto del resultado de la aplicación del método DELPHI, resultado promediado de las preguntas a Expertos del proceso y el Experto revisor del mismo; fuente, Roberts C., (2020).

Por consiguiente, dado que seis preguntas (N.ºs 1, 3, 4, 5 y 7) se categorizan como “*Consenso*” (Nota superior a 7 y hasta 9) y el resto de estas preguntas (N.ºs 2, 6, 8 y 9) se categorizan como “*Consenso total*”, se estima que los Expertos coinciden en la pertinencia y ajuste del presente estudio, lo que implica no realizar una nueva iteración. No obstante, se observan leves diferencias con la evaluación del analista declarado como *experto revisor* del proceso, por lo que se le solicitó una reevaluación, conociendo en esta oportunidad las respuestas de los otros participantes (anónimas), de manera que eventualmente modifique o persevere con sus respuestas previas.

- d. Iteración del Experto revisor del proceso.** De conformidad con lo indicado en el párrafo precedente, el experto revisor del proceso realizó una revisión iterativa de sus respuestas previas, conociendo en esta oportunidad (de manera anónima), las respuestas de los otros 10 participantes. Los resultados obtenidos con la reevaluación se han incluido en la tabla siguiente, junto a las observaciones que se indican.

Experto	Pregunta								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Revisor del proceso	8	10	10	8	10	10	10	10	8

**Tabla 81:** Revisión iterada por parte del “*Experto revisor*” del proceso; fuente, Roberts C., (2020).

Observaciones del “*Experto revisor*” del proceso, respecto de cada ítem, así como sus comentarios a las repuestas respecto de aquellas que así lo requieren, como se indica en los puntos siguientes.

1. : *Dentro de la evaluación incluiría medición de huella de carbono para ambas alternativas.*

**Respuesta:** El desarrollo de la tesis incorpora la estimación del aporte de CO<sub>2</sub> de un vehículo arquetipo SCI, a través de la metodología indicada en el **apartado 3.8.3 “Beneficios medioambientales”** de la presente tesis, que indica un contribución de **56,92 kg** de CO<sub>2</sub> por cada 150 km recorridos y, de manera teórica, para 100 km recorridos a través del Modelo de Emisiones de Vehículos IVE. Por otra parte, el mismo **apartado 3.8.3** señala que las emisiones de CO<sub>2</sub> de un vehículo eléctrico cargado mediante energía proveniente de la red eléctrica, serán de **14,4 kg** por 150 km recorridos y, el mismo vehículo cargado mediante energía solar fotovoltaica, será de **1,15 kg** de CO<sub>2</sub> por cada 150 km recorridos.

2. : *Son los necesarios.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

3. : *Es necesario para esta evaluación.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

4. : *Profundizar en los esfuerzos previos de las Fuerzas Armadas en el uso de los VEs.*

**Respuesta:** El desarrollo de la tesis ha permitido visualizar los

esfuerzos que han realizado las Fuerzas Armadas de diferentes países, para la implementación de medios alternativos de combustibles para los vehículos de sus parques móviles. Principalmente por contar con un mayor espectro de posibilidades en caso de ser requerido, no así del uso y explotación de vehículos eléctricos, dado que su penetración en los ejércitos es bastante reducida, en especial para los medios de transporte de tropas, toda vez que sus costes de adquisición y la infraestructura de sostenimiento, a la fecha se hace prohibitiva. Sin embargo, se exponen las soluciones que ha presentado la industria para abastecer a las Fuerzas Armadas de VEs, aunque por el momento no han logrado una gran aceptación, dadas condiciones rígidas, como el precio, la autonomía y la rigidez de los sistemas de recarga.

5. : *Es suficiente.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

6. : *Es apropiado, considerando su uso polivalente y antigüedad.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

7. : *Es suficiente para este estudio.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

8. : *La propuesta es la correcta para lo que busca el estudio.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

9. : *Si bien la evaluación privada podría ir por mantener el escenario*

*actual, un análisis social da vuelta la balanza.*

**Respuesta:** Se concuerda con la observación.

- e. **Consenso.** Finalmente, considerando que el grupo de expertos llega a un consenso respecto de la tesis y el experto revisor del proceso, además de tener consenso, replica sus evaluaciones, se estima que la propuesta es consistente y suficiente, enmarcándose en los límites establecidos y logrando los objetivos propuestos.

#### **4.4. Conclusiones de la aplicación del método DELPHI.**

En consideración a la aplicación del método DELPHI a la presente propuesta, se hace necesario tener en presente que el investigador estima que fue oportuna y del todo necesaria, ya que posibilitó una visión crítica multidisciplinaria, evidenciando eventuales falacias, errores de forma o de fondo y, lo más importante, observaciones y recomendaciones de personas consideradas “*Expertos*” dentro de un área de conocimiento o en la práctica del mismo.

#### **4.5. Discusión.**

Se ha llegado a determinar que la “*Sabiduría de la multitud*” es una técnica al combinar información en grupos, que termina en decisiones (Surowiecki J., 2004) “*Son a menudo mejores que las que podrían haber sido tomadas por un solo miembro del grupo*”. Por ello, los resultados de la aplicación del método, fueron recopilados, tabulados y clasificados, junto con una comparación neutral de éstos, de manera iterativa, lo que posibilitó determinar un nivel de “*Consenso*” y “*Consenso total*” dentro de los encuestados. Todo esto se traduce en una condición satisfactoria respecto de los resultados de la presente tesis, haciendo ésta válida, oportuna y apropiada y sus resultados ajustados a los objetivos propuestos, los cuales se estiman logrados.



## **CAPÍTULO V Conclusiones y líneas futuras de investigación**

El presente estudio, cuya premisa es que *“La movilidad eléctrica en vehículos militares es viable, impactando positivamente en aspectos medioambientales”*, lo que se genera un efecto benéfico en el entorno, ha analizado aspectos relacionados con el *“Análisis de viabilidad de la electro movilidad para el caso de vehículos militares de transporte”*, buscando responder preguntas que parecen sencillas, pero que conllevaron un profuso análisis, dilucidando si *¿Es posible atenuar los efectos contaminantes de los vehículos militares mediante la movilidad eléctrica?*, cuya respuesta fundada es Sí. Como se ha visto durante el desarrollo de la tesis, el uso de vehículos de combustión interna genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, en contraposición a los vehículos eléctricos, los cuales tienen prestaciones similares, con un impacto medioambiental reducido.

En este sentido, el estudio investigó los antecedentes históricos de los vehículos eléctricos a nivel mundial, centrándolos en los usos que en Chile se les da a éstos, y que básicamente están destinados al transporte público. Por otra parte, dicha tecnología puede, y en un futuro debe ser empleada en todos los ámbitos, incluso en materia de la Defensa Nacional.

Además, la presente tesis estableció objetivos secundarios, los cuales fueron respondidos en la medida que la investigación se desarrollaba, tales como el *“Calcular las emisiones contaminantes de un vehículo militar arquetipo”*, la *“Investigación, evaluación y proposición de modificación de un vehículo militar”*, *“Determinar los beneficios inherentes a la movilidad eléctrica, asociada a la modificación del vehículo arquetipo”* y finalmente, dado el conocimiento adquirido, intentar que *“la proposición sea heurística o escalable”* con el propósito de que en un futuro se complemente, mejore o eventualmente se implemente, siempre con la premisa de la optimización del transporte y la mejora en la calidad medioambiental.

Por otro lado, el estudio generó una propuesta para extender la vida útil de un activo (vehículo militar), lo que si bien no supone un bajo coste, su revitalización impacta positivamente en el medioambiente, aportando significativamente en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Finalmente, los resultados obtenidos se verificaron con un panel de expertos mediante la aplicación del método DELPHI, el cual posibilita un análisis consensuado y lógico respecto de la proposición de la tesis, otorgando una mirada holística y reducida de sesgos que influyan en apreciaciones particulares y cuya mirada de conjunto se basa en la “*Sabiduría de la multitud*” (Surowiecki J., 2004).

### **5.1. Conclusiones.**

A nivel mundial, las emisiones de CO<sub>2</sub> han sufrido un aumento progresivo, debido, entre otros, al uso de combustibles fósiles asociados con actividades humanas, principalmente el transporte y la calefacción. En este sentido, la generación de CO<sub>2</sub> también involucra a las Fuerzas Armadas, ya que en su mayoría utilizan vehículos de combustión interna (SCI), que tienen una vida prolongada y una multiplicidad de usos, no necesariamente vinculados al entrenamiento militar.

Con el propósito de contribuir a la descontaminación y al mismo tiempo extender la vida útil de algunos vehículos militares, el presente estudio revela las mejoras que se pueden implementar en un vehículo militar arquetípico, el VE AIL Storm, y evalúa configuraciones diferentes de movilidad eléctrica (VE), considerando el uso de baterías de ácido-plomo, de iones de Litio y de fosfato hierro-litio, que se pueden recargar a través de la red eléctrica normal o a través de una planta solar desplegable.

Por otro lado, un factor dominante fue el análisis del impacto ambiental y

económico del uso de baterías de Litio (en diferentes configuraciones) frente a las baterías estándar de ácido-plomo, para la posible movilidad eléctrica del vehículo arquetípico, para el cual se utilizó una matriz de evaluación, cuyos resultados indican que el modelo “*VE con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>)*”, ofrece el mejor rendimiento desde el punto de vista medioambiental, en el “*Modo de recarga a través de paneles solares fotovoltaicos*”, que tendría un impacto estimado en el medioambiente de 3.613 kg de CO<sub>2</sub> durante los 12 años de su vida de servicio.

Por otra parte, y teniendo en cuenta las capacidades tácticas del vehículo, el estudio plantea la posibilidad de implementar una planta solar fotovoltaica desplegable para la recarga en campo de los VEs AIL Storm, dadas las extraordinarias condiciones de radiación solar y la disponibilidad de la misma en la zona norte de Chile, que es uno de los sectores de uso regular de este tipo de vehículo.

Asimismo, analizadas las regulaciones indicadas en el presente capítulo, se estima que la transformación de un vehículo militar de SCI a VE, dado que no existirán emisiones contaminantes, implica respetar el marco medioambiental dispuesto, por lo que desde ese punto de vista, la proposición es viable y plausible.

Finalmente, es necesario señalar que el precio más alto de las baterías de Litio, hoy en día es una variable importante a considerar, pero se estima que si en el futuro se reducen sus costes, aumentará el interés en su uso, lo que podría contribuir a la descontaminación del medioambiente, mediante el uso de energías renovables en los sistemas de propulsión de los vehículos militares.

Consolidando el estudio, es muy relevante señalar que se aplicó a los

resultados de éste, la metodología DELPHI, que permitió a través de la interacción de Expertos en materias vinculadas con la tesis, evaluar las condiciones y consistencia de la misma, logrando evidenciar un consenso en los resultados y cumplimiento de los objetivos, producto de una iteración de preguntas contrastadas con un Experto revisor del proceso. A juicio del Doctorando, esta metodología resultó muy interesante para el desarrollo de la investigación, toda vez que implicó contactar, hacer partícipes, explicar y solicitar aportes y observaciones a un grupo de expertos, los cuales y sin saberlo de manera explícita, también estaban preocupados por el impacto medioambiental, pero no habían participado de este tipo de encuestas. Su contribución fue muy alta y asimismo, demostraron interés, dedicación y un importante nivel de satisfacción, de acuerdo a lo que ellos mismos indicaron.

## **5.2. Líneas futuras de investigación.**

Basado en las conclusiones y en el desarrollo mismo de la presente tesis, el doctorando propone que las siguientes actividades sean desarrolladas en el futuro:

- a.** Promover la investigación y el desarrollo de tecnologías para la fabricación o el ensamblaje de baterías basadas en el litio en el mercado chileno, dada la disponibilidad del mineral en este país, lo que reduciría sus costes y generaría fuentes de empleo, haciendo que la movilidad eléctrica sea más atractiva, económica y a la vez sostenible.
- b.** Promover el desarrollo de tecnologías dirigidas a la optimización de los sistemas de almacenamiento de energía para la movilidad eléctrica, junto con motores eléctricos que mejoren la recuperación de carga a través de los procesos mecánicos del VE.

- c.** Promover el soporte logístico y técnico asociado a los VEs, en especial la disponibilidad de componentes, repuestos, personal capacitado y talleres con la experiencia suficiente, lo que puede generar un mayor incentivo para los eventuales usuarios de este tipo de medios de transporte.
- d.** Profundizar el desarrollo de una estación de recarga solar desplegable, lo que aumentaría la disponibilidad de VEs.
- e.** Promover la investigación sobre movilidad eléctrica y el uso de sistemas eficientes para cargar y almacenar energía, junto con un sistema de control de flota.
- f.** Promover franquicias e incentivos gubernamentales para la adquisición y/o explotación de VEs de uso personal y comercial, en atención a que éstos generan un menor impacto medioambiental, lo que a futuro se traduce en beneficios sociales.
- g.** Extrapolar resultados para una flota o grupos de vehículos más grandes, tanto de carácter militar como vehículos civiles, lo que posibilitará una visión macro de los resultados.

## Anexo N.º 1: Cálculos y resultados numéricos

A continuación se exponen los cálculos y resultados numéricos que se vinculan a los puntos respectivos del desarrollo de la presente tesis:

- Ciclo de Carnot

### Ecuación 4

$$e = \frac{w}{2.273^\circ K} = \frac{2.273^\circ K - 291^\circ K}{2.273^\circ K} = 1 - \frac{291^\circ K}{2.273^\circ K} = 0,8719$$

- Efectos de la temperatura ambiental en los paneles solares

### Ecuación 18

$$T_c = 18^\circ C + 10kWh \cdot 0,578 \cdot \frac{43 - 20}{1,5} = 106,62^\circ C$$

- El vehículo de gasolina arquetipo

### Ecuación 27

$$25 \left( \frac{m}{s} \right) = \frac{\pi \cdot 0,6475 \cdot 0,789 \cdot r_d \cdot 2.500 \text{ RPM}}{60} \quad r_d = 0,3738$$

- Costes del uso del vehículo (SCI)

### Ecuación 28

$$P_{full} = T_{cap} \cdot P_l = 77 \text{ litros} \cdot \frac{USD 1,2}{litro} = USD 92,4$$

### Ecuación 29

$$E_{usefull} = T_{cap} \cdot E_l \cdot \eta_{engine} = 77 \cdot 9,63 \cdot \frac{17,5}{100} = 129,76 \text{ kWh}$$

### Ecuación 30

$$P_{km} = \frac{P_{full}}{D_{range}} = \frac{USD 92,4}{487,14 \text{ km}} = 0,189 \frac{USD}{km}$$

- Consumo de combustible en 150 km:

**Ecuación 31**

$$Ct = \frac{150}{6,36} 10\% + \frac{150}{7,2} 30\% + \frac{150}{5,88} 60\% = 23,91 \quad 24 \text{ litros}$$

- Fuerza de rozamiento:

**Ecuación 32**

$$F_a(SCI) = 0,6 \cdot 2.312 \text{ Kg} \cdot 0,99 = 1.373,33 \text{ kg} \quad 1.373 \text{ kg}.$$

- Resistencia al movimiento del vehículo.

**Ecuación 34**

$$P_r(CV) = \frac{0,02 \cdot 2.312,36 \cdot 90}{270} = 15,42$$

- Resistencia al movimiento del vehículo.  
Resistencia a la pendiente del camino.

**Ecuación 38**

$$P_p(CV) = 24,66 \cdot \frac{90}{270} = 8,22$$

- Resistencia al movimiento del vehículo.  
Resistencia aerodinámica.

**Ecuación 46**

$$P_a(CV) = \frac{0,035 \cdot 0,85 \cdot 1,89 \cdot 1,88 \cdot 90^3}{3.510} = 21,95$$

- Resistencia al movimiento del vehículo.  
Resistencia total al movimiento

**Ecuación 48**

$$R_T(kgf) = 2.312,36 \cdot (0,02 + 0,0106) + 0,035 \cdot 0,85 \cdot 1,89 \cdot 1,88 \cdot \frac{90^2}{3,6^2} = 136,83 \text{ kgf}$$

**Ecuación 49**

$$P_T(CV) = P_r + P_p + P_a = \frac{R_T \cdot 90}{270} = 45,61 CV$$

- Relación peso-potencia

**Tabla 52**

Vehículo arquetipo / Configuración	Potencia	Peso	Relación peso-potencia
SCI	174 hp*0,7	2.312,36 kg	<b>0,053</b>
VE en configuración en serie/paralelo de baterías de ácido-plomo	58 hp*0,8	1.760 kg -430 kg -52,36 kg + 500 kg + 240 kg 2.017,64 kg	<b>0,023</b>
VE en configuración en serie/paralelo de baterías de iones de Litio	58 hp*0,8	1.760 kg -430 kg -52,36 kg + 500 kg + 168 kg 1.945,64 kg	<b>0,024</b>
VE con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO <sub>4</sub> )	58 hp*0,8	1.760 kg -430 kg -52,36 kg + 500 kg + 150 kg 1.927,64 kg	<b>0,024</b>

- Desarrollo de los conceptos  
Criterio de 1er. Nivel “Medioambiental”

**VE configuración en serie/paralelo del sistema de baterías de ácido-plomo**

Sistema de recarga	Emisiones de CO <sub>2</sub>
<b>Red eléctrica</b>	<p><b><u>Fabricación:</u></b></p> <p>1,33 [kg CO<sub>2</sub>/kg]*240 kg*3 957,6 kg de CO<sub>2</sub> +</p> <p><b><u>Uso:</u></b></p> <p>0,096 [kg CO<sub>2</sub>/km]*432.000 km 41.472 kg de CO<sub>2</sub> = 42.429,6 kg de CO<sub>2</sub></p>



Sistema de recarga	Emisiones de CO <sub>2</sub>
Paneles solares	<u>Fabricación:</u> $1,33 \text{ [kg CO}_2\text{/kg]} * 240 \text{ kg} * 3$ $957,6 \text{ kg de CO}_2$ +
	<u>Uso:</u> $0,008 \text{ [kg CO}_2\text{/km]} * 432.000 \text{ km}$ $3.456 \text{ kg de CO}_2$ = $4.413,6 \text{ kg de CO}_2$

- Desarrollo de los conceptos  
Criterio de 1er. Nivel “Medioambiental”

### VE configuración en serie/paralelo del sistema de baterías de iones de Litio

Sistema de recarga	Emisiones de CO <sub>2</sub>
Red eléctrica	<u>Fabricación:</u> $0,523 \text{ [kg CO}_2\text{/kg]} * 168 \text{ kg} * 4$ $351,46 \text{ kg de CO}_2$ +
	<u>Uso:</u> $0,096 \text{ [kg CO}_2\text{/km]} * 432.000 \text{ km}$ $41.472 \text{ kg de CO}_2$ = $41.823,5 \text{ kg de CO}_2$
Paneles solares	<u>Fabricación:</u> $0,523 \text{ [kg CO}_2\text{/kg]} * 168 \text{ kg} * 4$ $351,46 \text{ kg de CO}_2$ +
	<u>Uso:</u> $0,008 \text{ [kg CO}_2\text{/km]} * 432.000 \text{ km}$ $3.456 \text{ kg de CO}_2$ = $3.807,46 \text{ kg de CO}_2$

- Desarrollo de los conceptos  
Criterio de 1er. Nivel “Medioambiental”

**VE con batería de fosfato de hierro-litio (LiFePO<sub>4</sub>)**

Sistema de recarga	Emisiones de CO <sub>2</sub>
<b>Red eléctrica</b>	<p><b><u>Fabricación:</u></b></p> <p>0,523 [kg CO<sub>2</sub>/kg]*150 kg*2 156,9 kg de CO<sub>2</sub> +</p> <p><b><u>Uso:</u></b></p> <p>0,096 [kg CO<sub>2</sub>/km]*432.000 km 41.472 kg de CO<sub>2</sub> = 41.628,9 kg de CO<sub>2</sub></p>
<b>Paneles solares</b>	<p><b><u>Fabricación:</u></b></p> <p>0,523 [kg CO<sub>2</sub>/kg]*150 kg*2 156,9 kg de CO<sub>2</sub> +</p> <p><b><u>Uso:</u></b></p> <p>0,008 [kg CO<sub>2</sub>/km]*432.000 km 3.456 kg de CO<sub>2</sub> = 3.612,9 kg de CO<sub>2</sub></p>

## **Anexo N.º 2: Listado de expertos para aplicación del método DELPHI**

Teniendo presente el anonimato de las personas que integran el panel de “*Expertos*” seleccionados, a continuación se lista las características de cada uno de ellos, sin mencionar su nombre, los cuales se mantendrán bajo reserva en poder del Doctorando:

- 1) Mayor del Ejército de Chile (R)<sup>194</sup>, Oficial de Infantería, Ingeniero Mecánico, especialista en Operaciones de Comando (Fuerzas Especiales) y participaciones en Misiones de Paz en Bosnia y Haití.
- 2) Mayor del Ejército de Chile, Oficial de Transporte, Ingeniero de Transporte, especialista en transporte militar.
- 3) Capitán del Ejército de Chile, Oficial de Material de Guerra, participó en Misiones de Paz en Haití.
- 4) Teniente Coronel del Ejército de Chile (R), Oficial de Caballería Blindada, especialista en Estado Mayor, Logística e Inteligencia.
- 5) Coronel del Ejército de Chile (R), Oficial de Artillería, especialista en Estado Mayor y Logística, fue Agregado Militar en el Salvador.
- 6) Suboficial de Carabineros de Chile, Carabinero y conductor policial.
- 7) Suboficial Mayor del Ejército de Chile (R), especialista en Artillería, instructor y conductor de vehículos militares.
- 8) Suboficial del Ejército de Chile (R), especialista en transporte y conductor de vehículos militares.
- 9) Coronel del Ejército de Chile (R), Oficial de Infantería, especialista en Estado

---

<sup>194</sup> La condición (R) acompañando al grado jerárquico militar de los individuos, implica que se encuentra “*Retirado del Ejército*”.

Mayor, Logística y participaciones en Misiones de Paz.

10) Mayor del Ejército de Chile, Ingeniero Politécnico.

11) Ingeniero de transporte (Civil - chileno).

Dado que se requiere contar con un medio de contraste en el grupo, de manera arbitraria y sin que él conozca de ello, se designó al Experto N.º 11 con el papel de “*Experto revisor del proceso*”, para examinar la decisión del grupo.

Asimismo, se contó con el apoyo de un Oficial retirado de la Marina de Guerra Francesa, quien aportó una perspectiva neutral, crítica y acertada, con su visión y experiencia de las Fuerzas Armadas Europeas, respecto de la problemática que plantea la tesis, el desarrollo de éstas, sus resultados y conclusiones, resultando un valioso aporte a ésta.

### **Anexo N.º 3: Cuestionario del método DELPHI**

Un resumen del presente estudio, además del conjunto de preguntas que a continuación se indican, fueron remitidas a los “*Expertos*”, con el propósito de que sean respondidas por éstos, considerando una escala creciente del 1 al 10, y dándoseles la oportunidad de manifestar opiniones y/o sugerencias al respecto:

- Pregunta N.º 1.** Considerando los planteamientos del estudio, ¿Estima Ud. que la “*Hipótesis, justificación, objetivos y metodología*” son los apropiados para entender la problemática ambiental que se señala?
- Pregunta N.º 2.** ¿Estima Ud. que los “*Antecedentes de la tesis*” son suficientes para generar la base de estudio?
- Pregunta N.º 3.** De acuerdo a lo que indica el estudio, ¿Es del caso tener una visión sobre los vehículos, plantas motrices y transmisión de movimiento, considerando que éste se enfoca en los VEs?
- Pregunta N.º 4.** Considerando que el estudio presenta una reseña histórica y el estado actual de los VEs, ¿Estima Ud. que esta información es suficiente o necesita ser profundizada?
- Pregunta N.º 5.** Teniendo presente que el estudio se refiere al almacenamiento de la energía en los VEs y los sistemas de recarga de baterías, ¿considera Ud. que su contenido es suficiente y concordante?
- Pregunta N.º 6.** En atención a que el presente estudio detalla las características, capacidades y aporte contaminante de un vehículo de transporte de tropas, ¿Estima Ud. que el vehículo arquetipo seleccionado es el apropiado?

- Pregunta N° 7.** Considerando la problemática de contaminación atmosférica, producto del uso de vehículos motorizados y fuentes fijas, ¿Estima Ud. que el marco regulatorio global y local en materia medio ambiental es apropiado y suficiente?
- Pregunta N° 8.** Respecto del “*Diseño de conversión del vehículo (de SCI a VE)*”, junto con la “*Elección del sistema y su configuración*” ¿Cree Ud. que la propuesta es funcional y que satisface los requerimientos?
- Pregunta N° 9.** Desde una perspectiva económica, ¿Cree Ud. que lo propuesto por el presente estudio justifica que el impacto de la movilidad eléctrica es ventajoso?

## Anexo N.º 4: Tabla de acrónimos

AEMA	: Agencia Europea de Medio Ambiente.
AIL	: Automotive Industries Limited.
AMC	: American Motor Company.
BEV	: Battery Electric Vehicle, “ <i>Vehículo eléctrico de batería enchufable</i> ”, (por sus siglas en inglés).
BSS	: Battery Switch Station, “Estación de cambio de batería”, (por sus siglas en inglés).
CA	: Corriente Alterna.
CAE	: Costo Anual Equivalente.
CC	: Corriente Continua.
CCA	: Cold Cranking Amps, “Amperes de arranque en frío”, (por sus siglas en inglés).
CE	: Comunidad Europea.
CELIMIN	: Centro de Investigaciones Avanzadas del Litio y Minerales Industriales.
CH <sub>4</sub>	: Metano.
CIL	: Centro de Innovación del Litio.
CLP	: Peso chileno (moneda de curso legal en Chile).
CMNUCC	: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
CNE	: Comisión Nacional de Energía de Chile.
CO	: Monóxido de carbono.
CO <sub>2</sub>	: Dióxido de carbono.
CO <sub>2</sub> -eq	: Dióxido de carbono equivalente.
COA	: Course Of Action; “ <i>Curso de acción</i> ” (por sus siglas en inglés).
CORFO	: Corporación de Fomento de la Producción.
CSP-TES	: Concentrated Solar Power - Thermal Energy Storage, “ <i>Potencia solar concentrada - Almacenamiento de energía termal</i> ”, (por sus siglas en inglés).
DNI	: Direct Normal Irradiance, “ <i>Irradiancia normal directa</i> ”, (por

	sus siglas en inglés).
EBAE	: European Business Awards for the Environment, “ <i>Premios empresariales europeos para el medio ambiente</i> ”, (por sus siglas en inglés).
ENAP	: Empresa Nacional del Petróleo.
ENEL	: Empresa Nacional de Electricidad.
ERNC	: Energías Renovables No Convencionales.
ERP	: Enterprise Resource Planning, “ <i>Planificación de recursos empresariales</i> ”, (por sus siglas en inglés).
EVs	: Electric vehicles; “ <i>Vehículos Eléctricos</i> ”, (por sus siglas en inglés).
FAs	: Fuerzas Armadas.
FCEV	: Fuel Cell Electric Vehicle, “ <i>Vehículo eléctrico de celda de combustible</i> ”, (por sus siglas en inglés).
FCFS	: First Come, First Serve, “ <i>El primero en llegar, el primero que se atiende</i> ”, (por sus siglas en inglés).
GEI	: Gases de efecto invernadero.
GHI	: Global Horizontal Irradiance, “ <i>Irradiancia global horizontal</i> ”, (por sus siglas en inglés).
GLP	: Gas Licuado del petróleo.
GNC	: Gas Natural Comprimido.
HEV	: Hybrid Electric Vehicle, “ <i>Vehículo híbrido eléctrico</i> ”, (por sus siglas en inglés).
HC	: Hidrocarburos.
HF	: Fluoruro de hidrógeno.
HFC	: Hidrofluorocarbonos.
HVO	: Hydrotreated Vegetable Oil, “ <i>Hidrobiodiesel</i> ”, (por sus siglas en inglés).
ICE	: Internal Combustion Engine; “ <i>Motor de combustión interna</i> ”, (por sus siglas en inglés).
INE	: Instituto Nacional de Estadísticas (Chile).
IW LiME	: International Workshop of Lithium, industrial Minerals and



	Energy.
KERS	: Kinetic Energy Recovery System, “ <i>Sistema de recuperación de energía cinética</i> ”, (por sus siglas en inglés).
LiFePO <sub>4</sub>	: Litio, Fósforo y Hierro.
MDN	: Ministerio de Defensa (Chile).
MINSAL	: Ministerio de Salud (Chile).
MOOTW	: Military Operations Other Than War; “ <i>Operaciones militares diferentes a la guerra</i> ” (por sus siglas en inglés).
MSNM	: Metros Sobre el Nivel del Mar.
MTEP	: Millones de Toneladas de Equivalente de petróleo.
MTBF	: Mean Time Between Failures, “ <i>Tiempo promedio que demora en volver a fallar un componente</i> ” (por sus siglas en inglés).
MTTR	: Mean Time To Repair, “ <i>Tiempo promedio que demora efectuar una reparación de un activo o componente</i> ” (por sus siglas en inglés).
MTT	: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.
N <sub>2</sub> O	: Óxido nitroso.
NCA	: Níquel, Cobalto y Aluminio.
NCM	: Níquel, Cobalto y Manganeseo.
Ni-MH	: Batería de hidruro de níquel-metal.
NMM	: Nivel Medio del Mar.
NO <sub>x</sub>	: Óxidos de Nitrógeno, tales como el Óxido de Nitrógeno (NO) y el Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).
OCDE	: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
OMC	: Organización Mundial de Comercio.
OMS	: Organización Mundial de la Salud.
ONU	: Organización de las Naciones Unidas.
OPEP	: Organización de Países Exportadores de petróleo.
OTAN	: Organización del Tratado del Atlántico Norte.
PBV	: Peso Bruto del Vehículo.
PHEV	: Plug-in Hybrid Electric Vehicle, “ <i>Vehículo híbrido-eléctrico</i> ”

	: <i>enchufable</i> ”, (por sus siglas en inglés).
PFC	: Perfluorocarbonos.
RpM	: Revoluciones por Minuto.
SBE19	: Sustainable Buil, Urban Plannig, Global Problems and local policies.
SCI	: Sistema de Combustión Interna.
SERNAGEOMIN	: Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile).
SF <sub>6</sub>	: Hexafluoruro de azufre.
SO <sub>2</sub>	: Dióxido de azufre.
SUV	: Sport Utility Vehicle, “ <i>Vehículo deportivo utilitario</i> ”, (por sus siglas en inglés).
TCO	: Total Cost Ownership, “ <i>Coste total de propiedad del activo</i> ”, (por sus siglas en inglés).
TIR	: Tasa Interna de Retorno.
TTW	: Tank-To-Wheel, desde el “ <i>depósito de combustible a la rueda</i> ”, (por sus siglas en inglés).
UE	: Unión Europea.
USD	: United States Dolar (Dólar de los Estados Unidos de América).
USGS	: United States Geological Survey, “ <i>Servicio geológico de los Estados Unidos</i> ”, (por sus siglas en inglés).
VAC	: Valor Actualizado de Costes.
VAN	: Valor Actualizado Neto.
VE	: Vehículo Eléctrico.
VT	: Valor social del Tiempo.
VST	: Valor Subjetivo del Tiempo.
VRLA	: Valve Regulated Lead Acid battery, “ <i>Batería de ácido-plomo regulado por válvula</i> ”, (por sus siglas en inglés).
VUR	: Vida Útil Remanente.
WTT	: Well-To-Tank, en materia de combustibles, desde el “pozo al depósito de combustible”, (por sus siglas en inglés).
WTW	: Well-To-Wheels, en materia de combustibles, “ <i>del pozo a las ruedas</i> ”, (por sus siglas en inglés).

## Referencias

### Referencias bibliográficas

- [1] ACEA – European Automobile Manufacturers Association, (2019), “*Making the transition to zero-emission mobility 2019; Progress report enabling factors for alternatively-powered cars in the EU*”.
- [2] Acosta F., (2005), “*¿Sabes realmente qué es un paradigma?*”, Universidad Politécnica CUJAE, Cuba, Revista Iberoamericana de Educación ISSN 1681-5653.
- [3] Aguirre F., (2009), “*Análisis aerodinámico del vehículo para la competencia Eco-Shell*”, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- [4] Allende S., (2019), “*Modelling and Energy Analysis of Solar Charging Facility for Electric Vehicles in Chile*”, Renewable Energy and Sustainable Development.
- [5] Almeida E., Gómez J.P., Serra de Arruda F. (2016), “*Análisis de la introducción del vehículo eléctrico en las flotas de transporte de carga leve: estudio de caso de la empresa brasilera Correios*”, XII Congreso de Ingeniería del Transporte, 7, 8 y 9 de Junio, Valencia (España), Editorial Universitat Politècnica de València.
- [6] Amine K., (2016), “*Advanced Energy Storage Systems for Enabling Electrification of Vehicles*”.
- [7] Anenber S., Miller J., Henze D., Minjares R., (2018), “*A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015*”, International Council on Clean Transportation (ICCT).

- [8] Altomonte H., Márquez M., (2000), “*Seminario regional CEPAL/Banco Mundial, sobre estudios estratégicos nacionales sobre cambio climático, situación energética de América Latina y el Caribe*”, CEPAL.
- [9] AOP, “Asociación Española de Operadores de Productos Petroleros”, (2016), “*Combustibles de automoción, Revisión y análisis comparativo de diferentes opciones*”.
- [10] Asociación Nacional Automotriz de Chile, (2018), “*Anuario Automotriz*”.
- [11] Automotive Industries Ltd., (1994), “*AIL Storm M240 Factory Service Manual*”.
- [12] Avseth P., Bjørlykke K., Faleide J., Gabrielsen P., Gabrielsen R., Hanken N., Hellevang H., Høeg K., Jahren J., Johansen E., Knarud R., Landrø M., Mondol N., Nagy J., Nielsen J., Rivenæs J., Rønnevik H., Sørhaug P., (2015), “*Petroleum Geoscience; From Sedimentary Environments to Rock Physics*”, Springer, Germany.
- [13] Bais N.K., (2018), “*Electro Mobility with Li-Ion Battery for Future Vehicles*”.
- [14] Ballou R.H., (2004), “*Logística, administración de la cadena de suministros*”, Quinta Edición, Pearson Educación, México.
- [15] Banco Interamericano de Desarrollo, (2016), “*Necesidades de Energía para América Latina y el Caribe al 2040*”.
- [16] Bergier J., Thomas B., (1971), “*La guerra secreta del petróleo*”, Plaza & Janes editores, España.
- [17] Bhatti A.R., Salam Z., Bin Abdul Aziz M.J., Yee K.P., Ashique R.H., (2016),

- “Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review”*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 54 (2016).
- [18] Bildirici M.E., (2017), *“The effects of militarization on biofuel consumption and CO<sub>2</sub> emission”*, Journal of Cleaner Production.
- [19] Bland R., Gao W., Noffsinger J., Siccardo G., (2020), *“Charging electric-vehicle fleets: How to seize the emerging opportunity”*, Mc Kinsey & Company.
- [20] Bolívar C., Ortega R., (2016), *“Estrategia Militar, razonamiento estratégico, liderazgo, escenario, Oficial de Estado Mayor”*, ACAGUE, Chile.
- [21] Bloomberg New Energy Outlook, (2018), *“BNEF’s annual long-term economic analysis of the world’s power sector out to 2050”*.
- [22] Boyom C., Callens S., Cherfi S., (2016), *“Cultures of sustainability according to Ulrich Beck scheme: territorial strategies for electro mobility”*, Journal of Innovation Economics & Management.
- [23] Braga M.H., Goodenough G., (2018), *“High Voltage All-Solid State Rechargeable Battery”*, 5<sup>th</sup> International Workshop on Lithium, Industrial Minerals and Energy, Santiago, Chile.
- [24] Bronowsky J., (1979), *“El ascenso del hombre”*, Fondo Educativo Americano.
- [25] Bruckmann M. (2012), *“Recursos naturales y la geopolítica de la integración sudamericana”*, Instituto de Altos Estudios Nacionales, Universidad de Postgrado del Estado, México.
- [26] Caballero M., (2011), *“Análisis de emisiones de vehículos livianos según*

*ciclos de conducción específicos para la Región Metropolitana*”, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica.

- [27] Caicedo F., (2005), *“Implementación de estrategias de disminución de demoras en aparcamientos”*, Actas del XII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- [28] Calduch R., Davara F., (2011), *“Programa de vehículos militares de transporte terrestre: Menos dependencia y más competencia”*, Instituto de Análisis Estratégico Internacional, Universidad Complutense de Madrid.
- [29] Calisaya D., Cisternas L., Rahimpour S., Kraslawsky A., (2018), *“The capability of national suppliers to meet the future demand for lithium”*, Universidad de Antofagasta.
- [30] Cámara Nacional de Comercio Automotriz (CAVEM), (2017), *“Anuario automotor”*.
- [31] Cantor B., Grant P., Johnston C., (2008), *“Automotive engineering: lightweight, functional, and novel materials”*, CRC Press.
- [32] Cartes R., (2015), *“Serious Games, una alternativa para la capacitación y entrenamiento en la toma de decisiones”*, Academia Politécnica Militar (ACAPOMIL), Ejército de Chile.
- [33] Comisión para la Cooperación Ambiental (C.C.A.) de América del Norte, (2015), *“Manejo ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte: directrices técnicas”*.
- [34] Comisión Europea, (2010), Comunicación de la Comisión al Parlamento

Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo, “*Estrategia europea sobre vehículos limpios y energéticamente eficientes*”.

- [35] Contestabile M., Offer G., Slade R., Jaegar F., (2011), Battery electric vehicles, hydrogen fuel cells and biofuels. Which will be the winner?, Imperial College Centre for Energy Policy and Technology, UK.
- [36] Contreras E., (2004), “*Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica*”, ONU-CEPAL, Chile.
- [37] Contreras E., Pacheco J., (2008), “*Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*”, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).
- [38] Correa G., Mathé L., Moshen E., Muñoz P., (2014), “*Dimensionamiento y Modelado de un Vehículo Eléctrico Propulsado por Pilas de Combustible. Análisis Económico y de Factibilidad*”, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina.
- [39] Cortés-Carmona M., (2018), “*Storage with batteries and their contribution to the variable renewable energies integration*”, Universidad de Antofagasta, Chile.
- [40] Corvalán R., Osses M., Urrutia C., (2003), “*Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes móviles en zonas urbanas de las regiones Metropolitana; V; VI; VIII y IX*”.
- [41] Crespo O.M., (2018) “*Research trends in Lithium ion based batteries a technological approach*”, CIDETEC Energy Storage, 5<sup>th</sup> International Workshop on Lithium, Industrial Minerals and Energy, Santiago, Chile.

- [42] Darabi Z., Ferdowsi M., (2011), “*Aggregated Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Electricity Demand Profile*”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 2, no. 4, Oct. 2011.
- [43] Desormeaux D., (2018), “*Lithium Market Outlook*”, 5<sup>th</sup> International Workshop on Lithium, Industrial Minerals and Energy, Santiago, Chile.
- [44] Day G.S., Shoemaker P., Gunter R., (2001), “*Wharton on managing emerging technologies*”.
- [45] Eco, U., (1977), “*Como se hace una tesis*”, *Técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura*.
- [46] Egede P., Dettmer T., Herrmann C., Kara S., (2015), “*Life Cycle Assessment of Electric Vehicles – A Framework to Consider Influencing Factors*”, Germany.
- [47] Ejército de Chile, (2009), “*Manual de conducción de vehículos livianos de campaña todo terreno*”.
- [48] Ejército de Chile, (2017), “*Manual ETHOS del Ejército de Chile*”.
- [49] Ejército de Chile, (2016), “*Proceso de las operaciones (Planificación, preparación, ejecución y evaluación)*”.
- [50] Enthoven A., (1963), “*Economic Analysis in the Department of Defense*”, The American Economic Review.
- [51] European Federation for Transport and Environment AISBL, (2020), “*How many charge points will Europe and its Member States needs in the 2020s*”, Belgium.
- [52] Fernández A., (2018), “*Ruta de descarbonización del sector transporte: La*



*electro-movilidad*”.

- [53] Ferreiro A., Bailon E., González L., (2005), “*Diagnóstico In-Situ del parque automotor*”, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- [54] Figueroa A., (2018), “*Caracterización de la demanda por vehículos eléctricos en Santiago, Chile*”, Universidad de Chile.
- [55] GEOTAB, (2019), “*La Evolución de la movilidad: Todo lo que necesita saber sobre la adopción y gestión de flotas de vehículos eléctricos*”.
- [56] GEOTAB, (2018), “*Infraestructura pública para vehículos eléctricos en España: ¿cuál es su situación?*”.
- [57] Geraldo Costa J., (2019), “*Mass introduction of electric passenger vehicles in Brazil: impact assessment on energy use, climate mitigation and on charging infrastructure needs for several case studies*”, Universidade de Lisboa, Portugal.
- [58] Gil S., Prieto R. (2013), “*Los autos eléctricos: ¿hacia un transporte más sustentable?*”, Petrotecnia.
- [59] Giraldo M., Paredes D., Castillo M., (2014), “*Estudio de costos de mantenimiento en helicópteros militares mediante la aplicación del costeo abc*”, Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, Bogotá, Colombia.
- [60] Girard A., Ordoñez J., Roberts C., Simon F., (2019), “*Solar electricity production and taxi electrical vehicle conversion in Chile*”, Journal of Cleaner Production, Volume 210,10 de Febrero de 2019.

- [61] Gobierno de Chile, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, (1994), Ley 19.300, sobre “*Bases Generales del medio ambiente*”.
- [62] Gobierno de Chile, Ministerio de Desarrollo y Planificación (MIDEPLAN), (1998), “*Preparación y presentación de proyectos de inversión*”.
- [63] Gobierno de Chile, Ministerio de Desarrollo y Planificación (MIDEPLAN), (2007), “*Precios para la evaluación social de proyectos*”.
- [64] Gobierno de Chile, Ministerio de Desarrollo y Planificación (MIDEPLAN), (2010), “*Actualización metodológica MODEM–MODEC*”.
- [65] Gobierno de Chile, Ministerio de Defensa Nacional (MDN), (2010), “*Libro de la Defensa Nacional*”.
- [66] Gobierno de Chile, Ministerio de Defensa Nacional (MDN), (2017), “*Libro de la Defensa Nacional*”.
- [67] Gobierno de Chile, Ministerio de Defensa Nacional (MDN), (2018), “*Chile, 13 años en la Misión de las Naciones Unidas para la estabilización de Haití*”.
- [68] Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, Comisión Nacional de Energía (CNE), (2016), “*Balances anuales de energía en Chile*”.
- [69] Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, Comisión Nacional de Energía (CNE), (2016), “*Informe de proyecciones de precios de combustibles 2016-2031; para fijación de precios de nudo abril de 2016*”.
- [70] Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, (2017), “*Ruta Energética 2018-2022: Liderando la modernización con sello ciudadano*”.
- [71] Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, (2017), “*Estrategia de Electro*”.

*movilidad de Chile, Un camino para los vehículos eléctricos”.*

- [72] Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, (2018), *“Guía de buenas prácticas en movilidad eléctrica”*.
- [73] Gobierno de Chile, Ministerio de Salud (MINSAL), (2011), *“Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) del material particulado en la salud humana”*.
- [74] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (1983), Decreto 279, que *“Aprueba el reglamento para el control de la emisión de contaminantes de vehículos motorizados de combustión interna”*.
- [75] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (1991), Decreto 211, que *“Regula emisiones de vehículos motorizados”*.
- [76] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (1993), Decreto 82, que *“Establece las normas de emisión a vehículos y motores que indica”*.
- [77] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (1994), Decreto 55, que *“Establece las normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados”*.
- [78] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (1994), Decreto 54, que *“Establece las normas de emisión aplicables a vehículos motorizados medianos”*.
- [79] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (1994), Decreto 4, que establece *“Normas de emisión de*

*contaminantes aplicables a los vehículos motorizados”.*

- [80] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (2002), Decreto 130, que emite “*Normas de emisión de CO, HCT, HCNM, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado para motores de buses de locomoción colectiva de la ciudad de Santiago*”.
- [81] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (2003), Decreto 113, que “*Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)*”.
- [82] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (2006), Decreto 149, que “*Establece norma de emisión de NO, HC y CO para el control del NO<sub>x</sub> en vehículos en uso, de encendido por chispa (Ciclo Otto), que cumplen con las normas de emisión establecidas en el DS. N°211 de 1991 y DS. N°54, de 1994*”.
- [83] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (2010), Secretaría de Planificación de Transporte, “*ESTRAUS - Modelo de equilibrio Oferta - Demanda para redes multimodales de transporte urbano con múltiples clases de usuarios*”.
- [84] Gobierno de Chile, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MINTRATEL), (2011), Decreto 60, que “*Establece especificaciones de calidad de combustibles*”.
- [85] Gobierno de Chile, Ministerio de Salud (MINSAL), (2016), “*Plan de descontaminación atmosférica de la comuna de Temuco y Padre las Casas*”.
- [86] Gobierno de Chile Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones;

Subsecretaría de Transportes, (2017), Decreto 145, que “*Establece requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos eléctricos que indica*”.

- [87] Gobierno de Chile Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaría de Transportes, (2017), “*Estrategia Nacional de Electro movilidad*”.
- [88] Gobierno de Chile, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, (2018), Ley 21.088 “*Modifica la Ley de Tránsito para incorporar disposiciones sobre convivencia de los distintos medios de transporte*”.
- [89] Gobierno de Chile, Ministerio de Hacienda, (2018), “*Reglas, instrucciones y procedimientos para los Procesos de Inversión Pública (PIP)*”.
- [90] Gobierno de Chile, Ministerior del Medio Ambiente, (2019), “*Guía de calidad del aire y educación ambiental*”.
- [91] González-Prida D., (2017), “*Sobre la modernización de los vehículos blindados y su relación con el coste de ciclo de vida*”, Universidad de Sevilla, España.
- [92] Grinstein D., (1960), “*Tracción Diésel-Eléctrica*”, Editorial Alsina, Argentina.
- [93] Hammond G., Jones C., (2008), “*Inventory of Carbon & Energy*”, University of Bath, UK.
- [94] Hertzke P., Müller N., Schaufuss P., Schenk S., Wu T., (2019), “*Expanding electric vehicle adoption despite early growing pains*”, McKinsey Center for Future Mobility.
- [95] Hertzke P., Müller N., Schenk S., Wu T., (2018), “*The global electric-vehicle*

*market is amped up and on the rise*”, McKinsey Center for Future Mobility.

- [96] Horn B., Wyczynski M., (2003), “*Paras Versus the Reich: Canada's Paratroopers at War, 1942-1945*”.
- [97] Houssein Kanj, (2019), “*Overcoming barriers of electric vehicle charging technology adoption*”, Lappeenranta-Lahti University of Technology, LUT School of Engineering Science, Finland.
- [98] Ibarra S., (2013), “*Identificación de posibles mejoras a la estimación de emisiones de vehículos en comunas de Santiago*”, Universidad de Chile.
- [99] Illescas I., Jeffrey M., (2017), “*Recharging of electric cars by solar photovoltaics. Electric Vehicles: Prospects and Challenges*”, Edinburgh Napier University, Edinburgh, Scotland, UK.
- [100] International Energy Agency (IEA), (2009), “*Cities, Towns & Renewable Energy*”.
- [101] IRENA (2020), “*Electricity Storage Valuation Framework: Assessing system value and ensuring project viability*”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [102] IVE Model, (2008), “*Manual del Usuario del Modelo IVE, Versión 2.0*”.
- [103] Jackson R., (2017), “*Focus on negative emissions*”, Environmental Research Letters.
- [104] Jones B., (2004), “*Military vehicles, mobility, electrical systems, future power storage*”, Cranfield University, UK.
- [105] Kukreja B., Cheng A., (2018), “*Life Cycle Analysis of Electric Vehicles*

*Quantifying the Impact*”, City of Vancouver, Canada.

- [106] Knorr S., Macêdo S., Geim M., (2019), “*Policy instruments to promote electric mobility in Brazil*”, Universidade de Brasília – UnB.
- [107] Kurucz A., (2014), “*Modelado del sistema de almacenamiento de energía y del controlador del motor para un vehículo eléctrico TESUR*”, Universidad de Almería.
- [108] Lorentzen E., Haugneland P., Bu C., Hauge E., (2017), “*Charging infrastructure experiences in Norway - the worlds most advanced EV market*”. Norway.
- [109] López J.B., (2013), “*La sostenibilidad como eje de la cultura empresarial de las marcas: el caso de los “e-car”/Sustainability as core focus of brand business culture: the case of e-car*”.
- [110] Lugner P., (2006), “*Vehicle System Dynamics*”, International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility.
- [111] Madrid L., (2003), “*Modelación de emisiones de contaminantes atmosféricos de vehículos a micro escala: desarrollo actual y ventajas de su aplicación en Chile*”.
- [112] Mancilla S., (2009), “*La crisis energética en Chile*”, RiL Editores.
- [113] Martínez K., Aliaga F. (2015), “*Revisión de modelos energéticos*”, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana.
- [114] Mayol M., (2012), “*Modeling of the manufacturing process of lithium-ion batteries for electric or hybrid vehicles*”, Universidad de Chile, Facultad de

Ciencias Físicas y Matemáticas.

- [115] Mena R., Escobar R., Lorca A., Negrete-Pincetic M., Olivares D., (2019), “*The impact of concentrated solar power in electric power systems: A Chilean case study*”, Applied Energy 235.
- [116] Michaelides E., (2012) “*Alternative Energy Sources*”, Springer, Germany.
- [117] Milieu Consulting SPRL for Transport & Environment, (2020), “*Phasing-out sales of internal combustion engine vehicles*”, Belgium.
- [118] Molina A., Falvey M., Rondanelli R., (2017), “*A solar radiation database for Chile*”, Nature.
- [119] Moore M.L., Moore W.M., (1977), U.S. Patent No. 4,031,704, Washington, DC: U.S. Patent and Trade mark Office.
- [120] Morrison A., (2006), “*Los trolebuses de Santiago de Chile*”.
- [121] Moreno J., Marciszack M., Saad G., Fernández E., Fernández J., (2017), “*Modelando Escenarios desde el Modelo de Negocios Empleando Patronos*”.
- [122] Mullen P.M., (2003), “*Delphi: myths and reality*”, Journal of health organization and management, Health Services Management Centre, University of Birmingham, Birmingham, UK.
- [123] Muneer T., (2004), “*Solar Radiation and Daylight Models*”, Napier University, Edinburgh.
- [124] Muneer T., Mohan K., Aisling D. (2017), “*Electric Vehicles: Prospects and Challenges*”, Elsevier Inc.



- [125] NATO, (2015), “Smart energy capable logistician”, Hungary.
- [126] Neil M., Fenton N., Forey S., Harris R., (2000), “*Using Bayesian Belief Networks to Predict the Reliability of Military Vehicles*”.
- [127] Nordelöf A., Romare M., Tivander J., (2019), “*Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel*”, University of Technology, Sweden.
- [128] Organización de las Naciones Unidas (ONU), Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), (2012), “*Elementos conceptuales y aplicaciones de microeconomía para la evaluación de proyectos*”.
- [129] Organización de las Naciones Unidas - ONU, (2007), “*La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI*”.
- [130] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - OCDE, (2018), “*Effective Carbon Rates 2018, Pricing Carbon Emissions Through Taxes and Emissions Trading*”.
- [131] Olmedo J., (2016), “*Gestión de las energías renovables no convencionales de generación intermitente*”.
- [132] Ortega P., (2010), “*Ciencias militares*”, ACAGUE, Chile.
- [133] Ortega P., (2019), “*Estrategia militar, sorpresa & engaño*”, Memorial del Ejército de Chile, N.º 503.
- [134] Ortúzar R., (2008), “*Una propuesta metodológica para la estimación del coste*”.

*del ciclo de vida en inversiones militares*”, Universidad de Granada, España.

- [135] Osses M., (2003), “*Modelo de Emisiones de Vehículos – MODEM*”, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile.
- [136] Osses M., Rojas D., (2003), “*Determinación experimental de ciclos de conducción de vehículos livianos para la ciudad de Santiago*”, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile.
- [137] Paredes L.A., (2019), “*Electro movilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental*”, Revista Técnica Energía, jul 2019, Vol.16.
- [138] Paúl A., (2015), “*Política & Fuerzas Armadas*”, editorial El Roble, Santiago, Chile.
- [139] Patrick D., Patrick S., Fardo S., Richardson R., (2006), “*Energy Conservation Guidebook*”, Second Edition.
- [140] Pereira R., Llerena P., Omar R., Queiróz W.D., Silveira J.L. (2018), “*Estudio técnico del uso de energía solar y biogás en vehículos eléctricos en Ilhabela-Brasil*”, Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología.
- [141] Perez Y., Kempton W., Petit M, (2014), “*Public policy for electric vehicles and for vehicle to gridpower*”, Revue D'économie Industrielle, France.
- [142] Pimentel D., (2008), “*Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*”.
- [143] Project Management Institute (PMI) Inc., (2013), “*Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos*” (Guía del PMBOK®) – Quinta edición.

- [144] Quiñónez M., (2010), “*Criterios para la selección de un motor y controles eléctricos como prevención de riesgos en la industria*”, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- [145] Reguant-Álvarez M., Torrado-Fonseca M., (2016), “*El método Delphi*”, REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació, Universitat de Barcelona, Institut de Ciències de l'Educació, España.
- [146] Renck M., Saracho O., (2016), “*Writing for Publication; Transitions and Tools that Support Scholars' Success*”, Springer, Switzerland.
- [147] Rezaee S., Farjah E., Khorramdel B., (2013), “*Probabilistic Analysis of Plug-In Electric Vehicles Impact on Electrical Grid Through Homes and Parking Lots*”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 4, no. 4, Oct. 2013.
- [148] Rodríguez F., (2019), “*Diseño de una metodología para el reemplazo o eventual prolongación de la vida útil del activo bélico blindado institucional*”, Academia Militar Politécnica, Ejército de Chile.
- [149] Rodríguez J.M., Aldana L., Villalobos N., (2010), “*Delphi method to identify the science priorities and the technological innovation*”, Revista Cubana de Medicina Militar, v.39, Ciudad de la Habana, Cuba.
- [150] Salameh Z., (2015), “*The Impact of Electric Vehicles on Utilities*”, Lifetime IEEE Senior Member Department of Electrical and Computer Engineering, University of Massachusetts–Lowell, USA, International Journal of Power and Renewable Energy Systems (IJPRES) Volume 2 Issue 2, 2015.
- [151] Sami I., Ullah Z., Salman K., Hussain I., Ali S.M., Khan B., Mehmood C.A.,

- Farid U., (2019), “*A Bidirectional Interactive Electric Vehicles, Operation Modes: Vehicle-to-Grid (V2G) and Grid-to-Vehicle (G2V) Variations within Smart Grid*”, Abbottabad, Pakistan.
- [152] Saber A.Y., Venayagamoorthy G.K., (2011), “*Plug-in Vehicles and Renewable Energy Sources for Cost and Emission Reductions*”, Bangladesh, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, No. 4, April 2011.
- [153] Sandoval E., Díaz S. (2016) “*Procesos de toma de decisiones y adaptación al cambio climático*”, Ambiente & Sociedad, São Paulo, Brasil.
- [154] Sandén, Björn (2014), “*Future energy supply and the competitiveness of electric vehicles, Systems perspectives on electromobility*”, Chalmers University of Technology, Göteborg, Suecia.
- [155] Scott M., Hopkins D., Stephenson J., (2014), “*Understanding sustainable mobility: The potential of electric vehicles*”, Centre for Sustainability, University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- [156] Selltiz C., Jahoda M., Deutsch M., Cook S.W., (1970), “*Métodos de investigación en las relaciones sociales*”, tercera edición.
- [157] Shekar Das H., Chee Wie Tan, Yatim A.H.M., (2017), “*Fuel cell hybrid electric vehicles: A review on power conditioning units and topologies*”, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Renewable and Sustainable Energy Review.
- [158] Shukla P.R., Subash Dhar, Minal Pathak, Kalyan Bhaskar, (2014) “*Electric Vehicle Scenarios and a Roadmap for India*”, Indian Institute of Management, Ahmedabad, India.

- [159] Sierra A., Meléndez L., Ramírez-Monroy A., Arroyo M., (2007), “*La química verde y el desarrollo sustentable*”, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, México.
- [160] Simon, François, (2017), “*Energy and Sustainability in Chile: Simulation Modelling of Low carbon Technologies and Energy in Buildings*”, Universidad de Granada.
- [161] Singhal A., Nijhawan P., (2019), “*A Review on Solar Wind for Possible Application in Electric Vehicle*”, Thapar Institute of Engineering and Technology, India, International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, volume 8, N.º 3.
- [162] Sumathi S., Ashok Kumar L., Surekha P., (2015) “*Solar PV and Wind Energy Conversion Systems*”, Springer, Switzerland.
- [163] Sunfire Gmbh, 2017, “*First commercial plant for the production of Blue Crude planned in Norway*”.
- [164] Surowieck J., (2004), “*The wisdom of crowds*”, Anchor Books, New York, USA.
- [165] Tapia D., (2012), “*Evaluación energética del sistema Pantone en motores de combustión interna de potencias entre 0,5 y 5 kW*”, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Ecuador.
- [166] Tatari O., Kucukvar M., Onat N.C., (2014), “*Towards Life Cycle Sustainability Assessment of Alternative Passenger Vehicles*”, University of Central Florida, USA; Istanbul Sehir University, Istanbul, Turkey.

- [167] Torres Sarmiento J.D., (2015), “*Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca–Ecuador*”.
- [168] Tudela A., Akiki N., (2004), “*Cálculo de los pesos de atributos ambientales a usar en el AHP basado en funciones de utilidad*”, Universidad de Concepción.
- [169] Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu - TOGG (2019), Product press release.
- [170] Unión Europea, (2009), Reglamento (CE) N.º 443/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 por el que se establecen “*Normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos ligeros*”.
- [171] Universidad Autónoma de Barcelona, (2006), “*Ventajas de la movilidad sostenible*”, España.
- [172] US Army, National Defense Center for Energy and Environment (NDCEE), (2010), “*Biodiesel use in tactical vehicles, through the Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP)*”.
- [173] Valenta M., (2013), “*Business case of electric vehicles for truck fleets*”, College of Business, Argosy University, Denver, USA.
- [174] Van Creveld M., (1991), “*La transformación de la guerra*”.
- [175] Videla A., (2016), “*Manual de motores eléctricos*”.
- [176] Vukosavic S., (2017), “*Power Electronics and Power Systems, Electrical Machines*”, Springer, Switzerland.
- [177] Walsh M., (2008), “*Tendencias globales en el control de la contaminación de*

*vehículos, situación a 2008*”.

- [178] Wegmann R., Döge V., Uwe Sauer D., (2018), “*Assessing the potential of an electric vehicle hybrid batteries system comprising solid-state lithium metal polymer high energy and lithium-ion high power batteries*”, *Journal of Energy Storage*, Volume 18.
- [179] Wilburn D.R., (2008), “*Material Use in the United States-Selected Case Studies for Cadmium, Cobalt, Lithium and Nickel in Rechargeable Batteries*”, *Scientific Investigations Report 2008–5141*.
- [180] Xiaosong Hu, Le Xu, Xianke Lin, Pecht M., (2020), “*Battery Lifetime Prognostics*”, Department of Automotive Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China.
- [181] Yeh S., D’haeseleer W., Leuwen K., Franklin J., Susulo Y., (2019), “*DTU International Energy Report 2019, Transforming Urban Mobility*”, Denmark.
- [182] Zhongchao T., (2014), “*Air Pollution and Greenhouse Gases; From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*”, Springer, Singapore.
- [183] Zícari J.N., (2015), “*Neoextractivismo en Sudamérica: El caso del litio*”.
- [184] Zweifel P., Praktiknjo A., Erdmann G., (2017), “*Energy Economics; Theory and Applications*”, Springer, Germany.

## Referencias de medios digitales consultados

- [1] [https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C\\_NoticiaNacional&cid=1476723114674&d=Touch&pagename=CorfoPortalPublico%2FC\\_NoticiaNacional%2FcorfoDetalleNoticiaNacionalWeb](https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C_NoticiaNacional&cid=1476723114674&d=Touch&pagename=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaNacional%2FcorfoDetalleNoticiaNacionalWeb) (Accesado en abril de 2018).
- [2] <https://ecolyma.cl/blog09/wp-content/uploads/2012/10/Equipos-carrera-solar-atacama-2012.pdf> (Accesado en junio de 2018).
- [3] [http://www.fach.cl/noticias/2014/octubre/28\\_ambiental/28\\_ambiental.html](http://www.fach.cl/noticias/2014/octubre/28_ambiental/28_ambiental.html) (Accesado en junio de 2018).
- [4] <https://www.slideshare.net/LaRutaSolar/revista-carrera-solar-atacama-2016> (Accesado en julio de 2018).
- [5] <https://laopinion.com/2018/08/04/3-razones-para-odiar-los-autos-electricos/> (Accesado en agosto de 2018).
- [6] <http://www.abb.cl/cawp/seitp202/2b2f7fe4105630308525815c00465fc1.aspx>. (Accesado en agosto de 2018).
- [7] <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/> (Accesado en agosto de 2018).
- [8] <http://www.emol.com/noticias/Autos/2018/08/14/916977/CEO-de-Lexus-explica-los-problemas-de-los-autos-electricos.html> (Accesado en agosto de 2018).
- [9] <https://www.auto.cl/nuevos/mitsubishi/i-miev/i-miev> (Accesado en agosto de 2018).



- [10] <https://www.tesla.com/blog/induction-versus-dc-brushless-motors> (Accesado en agosto de 2018).
- [11] <https://www.mecalux.cl/articulos-de-logistica/baterias-y-supercondensadores-en-sistemas-manutencion> (Accesado en septiembre de 2018).
- [12] <https://www.energias-renovables.com/panorama/los-costes-de-la-energia-solar-fotovoltaica-20180115> (Accesado en septiembre de 2018).
- [13] <https://www.energias-renovables.com/panorama/los-costes-de-la-energia-solar-fotovoltaica-20180115> (Accesado en septiembre de 2018).
- [14] <https://www.iarc.fr/> (Accesado en septiembre de 2018).
- [15] <https://curtisinstruments.com/products/series-motor-controllers/> (Accesado en octubre de 2018).
- [16] <http://www.defensa.cl/noticias/ministerio-defensa-inicia-preparacion-de-politica-medioambiental/> (Accesado en octubre de 2018).
- [17] <https://www.mtt.gob.cl/archivos/20065> (Accesado en octubre de 2018).
- [18] <https://www.lascondes.cl/noticias/las-condes-al-dia/detalle/248/municipio-lanza-plan-piloto-de-scooters-electricos> (Accesado en noviembre de 2018).
- [19] <https://www.armada.cl/armada/la-armada/politica-medioambiental-de-la-armada/2014-04-28/184900.html> (Accesado en noviembre de 2018).
- [20] [https://www.cnnchile.com/tecnologias/quieres-un-auto-electrico-este-es-el-escenario-en-chile\\_20180816](https://www.cnnchile.com/tecnologias/quieres-un-auto-electrico-este-es-el-escenario-en-chile_20180816) (Accesado en noviembre de 2018).
- [21] [https://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_302\\_configuraciones\\_de\\_baterias](https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_302_configuraciones_de_baterias)

- \_en\_serie\_y\_paralelo (Accesado en noviembre de 2018).
- [22] <https://www.irena.org/> (Accesado en noviembre de 2018).
- [23] <https://www.celimin.com/workshop-csst> (Accesado en noviembre de 2018).
- [24] <https://laopinion.com/2018/08/04/3-razones-para-odiar-los-autos-electricos/> (Accesado en noviembre de 2018).
- [25] <http://m.elmostrador.cl/noticias/mundo/2017/11/14/aumento-de-emisiones-mundiales-de-co2-durante-2017-causa-desazon-en-la-cumbre-del-clima-de-la-onu/> (Accesado en noviembre de 2018).
- [26] <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/chile-autos-electricos-futuro/498168/amp/> (Accesado en noviembre de 2018).
- [27] <https://qz.com/1341155/nine-countries-say-they-will-ban-internal-combustion-engines-none-have-a-law-to-do-so/> (Accesado en noviembre de 2018).
- [28] <https://thetimes.cl/noticia/7017/presentan-bus-electrico-que-recorrera-de-forma-gratuita-el-centro-de-antofagasta> (Accesado en noviembre de 2018).
- [29] [http://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/2018/electromovilidad/estrategia\\_electromovilidad-27dic.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/estrategia_electromovilidad-27dic.pdf) (Accesado en diciembre de 2018).
- [30] [www.ine.cl](http://www.ine.cl) (Accesado en diciembre de 2018).
- [31] <http://iopscience.iop.org/journal/1748-9326> (Accesado en diciembre de 2018).
- [32] <https://www.ejercito.cl/?HistoricoRevistas&publicacion=4> (Accesado en diciembre de 2018).
- [33] Mönch M., (2014), “Las huellas de la guerra”, (Foot prints of war), documental

de la Corporación de Radio y Televisión Española (Accesado en diciembre de 2018).

- [34] <https://www.eneldistribucion.cl/mapa-electrolinera> (Accesado en diciembre de 2018).
- [35] <https://www.eea.europa.eu/es> (Accesado en febrero de 2019).
- [36] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618334966> (Accesado en febrero de 2019).
- [37] <https://osha.europa.eu/es/safety-and-health-legislation/european-directives#:~:text=Una%20directiva%20es%20un%20acto,dentro%20de%20un%20plazo%20determinado> (Accesado en febrero de 2019).
- [38] <https://www.enel.cl/es/clientes/informacion-util/tarifas-y-reglamentos/tarifas.html> (Accesado en marzo de 2019).
- [39] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> (Accesado en marzo de 2019).
- [40] <https://unchronicle.un.org/es/article/la-promesa-de-la-energ-solar-estrategia-energ-tica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en> (Accesado en marzo de 2019).
- [41] <http://www.sectra.gob.cl/metodologias/estaus.htm> (Accesado en marzo de 2019).
- [42] <https://ww2.copec.cl/voltex> (Accesado en abril de 2019).
- [43] [https://www.youtube.com/watch?v=OPKY5UyW\\_NI](https://www.youtube.com/watch?v=OPKY5UyW_NI), documental de la cadena

internacional Deutsche Welle (DW), denominado “*Barcos olvidados, bombas de tiempo en el mar*”, (Accesado en abril de 2019).

- [44] <http://www.renovagen.com/> (Accesado en mayo de 2019).
- [45] <https://rpp.pe/economia/economia/buses-electricos-por-que-es-tan-dificil-su-ingreso-al-peru-noticia-1193784> (Accesado en mayo de 2019).
- [46] [https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-06-17&NewsID=429999&BodyID=0&PaginaId=44&strNameFile=autos\\_electricos\\_carabineros\\_lun.flv&iMoveScroll=401](https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-06-17&NewsID=429999&BodyID=0&PaginaId=44&strNameFile=autos_electricos_carabineros_lun.flv&iMoveScroll=401) (Accesado en junio de 2019).
- [47] <https://www.fidelmov.cl/acerca-de.html> (Accesado en junio de 2019).
- [48] <https://doi.org/10.1787/6db6413b-en> (Accesado en juniode2019).
- [49] <https://doi:10.1787/93d10cf7-en> (Accesado en junio de 2019).
- [50] [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com) (Accesado en julio de 2019).
- [51] <https://www.xataka.com/vehiculos/coche-electrico-vs-coche-hidrogeno-batalla-futuro-automovil> (Accesado en agosto de 2019).
- [52] <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/autos-electricos-40-sufrir-accidentes/797859/> (Accesado en agosto de 2019).
- [53] <https://www.xataka.com/automovil/manana-me-compro-coche-electrico-que-necesito-saber-donde-como-cargarlo> (Accesado en septiembre de 2019).
- [54] [www.electromaps.com](http://www.electromaps.com) (Accesado en septiembre de 2019).
- [55] <https://www.adslzone.net/2019/08/06/hyundai-primer-coche-electrico-paneles-solares-cuanto-carga-un-dia/> (Accesado en septiembre de 2019).

- [56] <https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2019/08/28/crece-parque-arriendo-vehiculos-santiago-lanzan-la-primer-flota-motos-electricas.html> (Accesado en septiembre de 2019).
- [57] <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/santiago-tiene-solo-250-autos-electricos/781498/> (Accesado en septiembre de 2019).
- [58] <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/donde-sale-ora-r1-coche-electrico-chino-que-quiere-arrasar-europa-su-precio> (Accesado en septiembre de 2019).
- [59] <https://www.eldinamo.cl/actualidad/2019/09/19/guerra-del-litio-bolivia-toma-la-delantera-y-se-prepara-para-exportar-baterias/> (Accesado en septiembre de 2019).
- [60] <https://ionity.eu/> (Accesado en septiembre de 2019).
- [61] <https://rpp.pe/economia/economia/gobierno-alista-bono-para-incentivar-la-compra-de-autos-electricos-noticia-1108573> (Accesado en septiembre de 2019).
- [62] <https://rpp.pe/economia/economia/buses-electricos-por-que-es-tan-dificil-su-ingreso-al-peru-noticia-1193784> (Accesado en septiembre de 2019).
- [63] <https://rpp.pe/mundo/latinoamerica/asi-es-el-primer-auto-electrico-fabricado-en-bolivia-noticia-1220918> (Accesado en Septiembre de 2019).
- [64] <https://www.eldinamo.cl/actualidad/2019/09/29/evo-morales-estreno-auto-electrico-hecho-en-bolivia-para-fomentar-la-industria-del-litio/> (Accesado en septiembre de 2019).

- [65] <https://www.motorpasion.com/mercedes/mercedes-benz-eqv-furgoneta-electrica> (Accesado en septiembre de 2019).
- [66] <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/auto-electrico-argentina/840616/> (Accesado en octubre de 2019).
- [67] <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/independencia-autos-100-electricos/843923/> (Accesado en octubre de 2019).
- [68] <https://www.radioagricultura.cl/nacional/2019/10/03/detalles-ineditos-del-nuevo-megaterminal-de-buses-que-tendra-sudamerica-en-pedro-aguirre-cerda.html> (Accesado en octubre de 2019).
- [69] <http://www.tranviahistorico.cl/breve-historia-del-tranvia/> (Accesado en octubre de 2019).
- [70] [https://cdn-pays.bnpparibas.com/wp-content/blogs.dir/91/files/2014/04/NdeP\\_ObservatorioCetelemAuto2014.pdf](https://cdn-pays.bnpparibas.com/wp-content/blogs.dir/91/files/2014/04/NdeP_ObservatorioCetelemAuto2014.pdf) (Accesado en octubre de 2019).
- [71] <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/gerente-ejecutivo-de-ylb-el-litio-impulsara-el-cambio-de-la-matriz-energetica-de> (Accesado en octubre de 2019).
- [72] <https://blog.notus.cl/modelamiento-matematico/> (Accesado en noviembre de 2019).
- [73] [www.notus.cl](http://www.notus.cl), Los principales errores en la implementación de algoritmos para la toma de decisiones (Accesado en noviembre de 2019).
- [74] <https://mundo.sputniknews.com/america-latina/201810121082688837-primer->

automovil-electrico-de-brasil-ahorra-miles-dolares/ (Accesado en noviembre de 2019).

- [75] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/ejercito-espanol-electrifica-uro-vamtac-4x4-electrico-autonomia-extendida/20191129181259031841.html> (Accesado en diciembre de 2019).
- [76] <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180920STO14027/reducir-las-emisiones-de-los-automoviles-nuevos-objetivos-de-co2> (Accesado en diciembre de 2019).
- [77] [https://www.flickr.com/photos/metropolis\\_pcm/16343273342](https://www.flickr.com/photos/metropolis_pcm/16343273342) (Accesado en diciembre de 2019).
- [78] <https://www.theyeshivaworld.com/news/headlines-breaking-stories/351489/two-jewish-protestors-beaten-and-detained.html> (Accesado en diciembre de 2019).
- [79] <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf> (Accesado en diciembre de 2019).
- [80] [https://www.greencarreports.com/news/1075678\\_ebay-watch-1980-computa-car--retro-urban-electric-car](https://www.greencarreports.com/news/1075678_ebay-watch-1980-computa-car--retro-urban-electric-car) (Accesado en diciembre de 2019)
- [81] <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-12-17&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=29&r=w> (Accesado en diciembre de 2019).
- [82] <https://www.lovejoy-inc.com>, (Accesado en diciembre de 2019).
- [83] <https://goelectricchile.com/catalogo-2/?make=hyundai&tipo=electrico> (Acce-

sado en diciembre de 2019).

- [84] <https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2019/12/30/no-chofer-100-electrico-primero-latinoamerica-minibus-debuta-chile.html> (Accesado en diciembre de 2019).
- [85] <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/primer-coche-electrico-turco-sera-suv-500-km-autonomia-parece-mercedes-benz-eqc> (Accesado en diciembre de 2019).
- [86] <https://nedis.es/es-es/product/energia/elektra-electrical> (Accesado en diciembre de 2019).
- [87] <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-aysen/auspiciosos-resultados-arrojo-plan-piloto-de-electromovilidad-en-coyhaique/2020-01-12/165742.html> (Accesado en enero de 2020).
- [88] <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20180223/47311039683/el-coche-electrico-una-historia-que-se-repite.html> (Accesado en enero de 2020).
- [89] <http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=7> (Accesado en enero de 2020).
- [90] <https://www.fiaformulae.com/> (Accesado en enero de 2020).
- [91] [https://ionity.eu/\\_Resources/Persistent/a7c7cece094e15da7bfc2864a74e62b51c8d829a/\\_20200116\\_IONITY\\_PRICING\\_EN\\_pdf](https://ionity.eu/_Resources/Persistent/a7c7cece094e15da7bfc2864a74e62b51c8d829a/_20200116_IONITY_PRICING_EN_pdf) (Accesado en enero de 2020).
- [92] <https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar->



- y-sus-componentes/que-regulador-solar-necesito\_1 (Accesado en enero de 2020).
- [93] <https://www.lugenergy.com/mennekes-coche-electrico/> (Accesado en enero de 2020).
- [94] <https://www.latercera.com/nacional/noticia/presentan-la-primera-ruta-electrica-nacional-unira-chile-desde-arica-punta-arenas-1-200-puntos-carga-autos-electricos/977508/> (Accesado en enero de 2020).
- [95] <https://www.electriccarpartscompany.com/warp-11-ev-dc-motor-72-156v-453a> (Accesado en enero de 2020).
- [96] <https://www.go-ev.com>, (Accesado en enero de 2020).
- [97] <https://www.te-mobility.com/> (Accesado en enero de 2020).
- [98] <https://rivian.com/> (Accesado en enero de 2020).
- [99] <https://www.latercera.com/tiempo-de-actuar/noticia/los-pros-contras-cargar-auto-electrico-domicilio/994879/> (Accesado en febrero de 2020).
- [100] <http://www.kaiyunmotors.com/index.php?lang=en> (Accesado en febrero de 2020).
- [101] <https://hipertextual.com/2020/01/primer-tren-solar-mundo> (Accesado en febrero de 2020).
- [102] <https://www.ridingsunbeams.org/> (Accesado en febrero de 2020).
- [103] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/asi-es-como-toyota-recicla-mas-90-baterias-coches-hibridos-europa/20200211185631033096.html>

(Accesado en febrero de 2020).

- [104] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1960> (Accesado en febrero de 2020).
- [105] <https://www.cne.cl/precio-medio-de-mercado-2/> (Accesado en febrero de 2020).
- [106] <https://www.ads-tec.de/energy-storage/industrial-infrastructure/mobile-high-power-charger/beschreibung.html> (Accesado en marzo de 2020).
- [107] <https://www.tesla.com/cybertruck> (Accesado en marzo de 2020).
- [108] <https://twenergy.com/sostenibilidad/movilidad-sostenible/e-diésel-combustible-sintetico/> (Accesado en marzo de 2020).
- [109] <https://www.sunfire.de/en/company/news/detail/first-commercial-plant-for-the-production-of-blue-crude-planned-in-norway> (Accesado en marzo de 2020).
- [110] <https://lautomobileancienne.com/> (Accesado en marzo de 2020).
- [111] <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/electric-cars/how-clean-are-electric-cars> (Accesado en marzo de 2020).
- [112] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/fastorcharge-red-recarga-rapida-ford-tesla/20200416121611034483.html> (Accesado en abril de 2020).
- [113] <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente#:~:text=Se%20miden%20de%20manera%20continua,y%20el%20plomo%2>

0(Pb) (Accesado en abril de 2020).

- [114] <https://es.motor1.com/news/419804/mercedes-190-electrico-clasico-1990/> (Accesado en mayo de 2020).
- [115] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/gobierno-frances-advierete-renault-puede-desaparecer-crisis/20200523134236035354.html> (Accesado en mayo de 2020).
- [116] <https://www.unitedexplanations.org/tag/tesla/> (Accesado en mayo de 2020).
- [117] <http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisicageneralcn/Resistenciarodadura.pdf> (Accesado en mayo de 2020).
- [118] <https://movilidadelectrica.com/que-impuestos-se-pagan-al-comprar-un-coche-electrico/> (Accesado en mayo de 2020).
- [119] <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Adherencia%20Superficial%2010.03.pdf> (Accesado en mayo de 2020).
- [120] <https://causadirecta.com/especial/calculo-de-velocidades/tablas/tabla-de-factores-de-rozamiento-del-pavimento-para-neumaticos-de-goma> (Accesado en mayo de 2020).
- [121] <https://aedive.es/> (Accesado en mayo de 2020).
- [122] <https://www.ganvam.es/afiliados/publicaciones-afiliados/boletines-estadisticos/> (Accesado en mayo de 2020).
- [123] <https://fiva.org/en/> (Accesado en mayo de 2020).
- [124] <https://www.baminfra.nl/nieuws/bam-neemt-s-werelds-eerste-elektrische-wals->

in-gebruik (Accesado en mayo de 2020).

[125] [www.acea.be](http://www.acea.be) (Accesado en mayo de 2020).

[126] <https://www.pngwing.com/es/free-png-pwaoc> (Accesado en mayo de 2020).

[127] [www.irizar.com](http://www.irizar.com) (Accesado en mayo de 2020).

[128] <http://carboncounter.com/> (Accesado en junio de 2020).

[129] [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/contam/atm/atm06.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/contam/atm/atm06.htm) (Accesado en junio de 2020).

[130] <http://nuestraesfera.cl/zoom/el-aire-sus-caracteristicas-y-funciones/> (Accesado en junio de 2020).

[131] <https://www.ugr.es/visitantes/agenda-cultural/debates-ods-una-llamada-accion-infraestructuras-como-catalizador-un-desarrollo-post-covid-favor-personas-planeta-prosperidad> (Accesado en junio de 2020).

[132] <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-metropolitana/2020/07/03/movil-siniestrado-ayer-villa-francia-fue-primer-bus-electrico-del-transantiago-quemado.shtml> (Accesado en julio de 2020).

[133] [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-espana-tendra-20-estaciones-servicio-para-hidrogeno-antes-2020-201703021822\\_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-espana-tendra-20-estaciones-servicio-para-hidrogeno-antes-2020-201703021822_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F) (Accesado en julio de 2020).

[134] <https://cars.svebas.com/the-henney-kilowatt/> (Accesado en julio de 2020).

[135] <https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/vigo/vigo/2017/04/22/estallido-baterias->

- bus-electrico-causo-incendio-parque-movil/0003\_201704V22C3991.htm (Accesado en julio de 2020).
- [136] <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-52057994> (Accesado en julio de 2020).
- [137] <https://www.pv-magazine-latam.com/2020/05/25/el-complejo-solar-cerro-dominador-en-chile-finaliza-el-hito-de-fusion-de-sales/> (Accesado en julio de 2020).
- [138] <https://www.electricvehiclesnews.com/History/historyV.htm> (Accesado en julio de 2020).
- [139] <https://www.actualidadmotor.com/hyundai-sonata-hybrid-cargara-baterias-techo-solar/> (Accesado en julio de 2020).
- [140] <https://www.industrytap.com/roll-array-photovoltaics-can-installed-nearly-anywhere/43762> (Accesado en julio de 2020).
- [141] <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/este-cargador-emergencia-para-coches-electricos-funciona-gasolina-promete-1-6-km-extra-minuto> (Accesado en julio de 2020).
- [142] <https://www.biobiochile.cl> (Accesado en agosto de 2020).
- [143] <https://e.anvas.info/e-es/item/4001191663360> (Accesado en agosto de 2020).
- [144] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/son-alternativas-china-suministro-tierras-raras-coches-electricos/20190530195526028010.html> (Accesado en Septiembre de 2020).
- [145] <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad->

economica/2020/09/22/las-tierras-raras-una-potencial-caja-de-ahorro-que-  
tiene-chile.shtml (Accesado en septiembre de 2020).

- [146] <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-metropolitana/2020/10/08/bomberos-de-nunoa-piden-al-mtt-tener-llaves-de-baterias-por-riesgos-en-incendios-de-buses-electricos.shtml> (Accesado en octubre de 2020).
- [147] <https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2020-10-20&SupplementId=0&BodyID=0&PaginaId=30&r=w> shtml (Accesado en octubre de 2020).
- [148] <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/importaciones-y-exportaciones/> (Accesado en febrero de 2021).