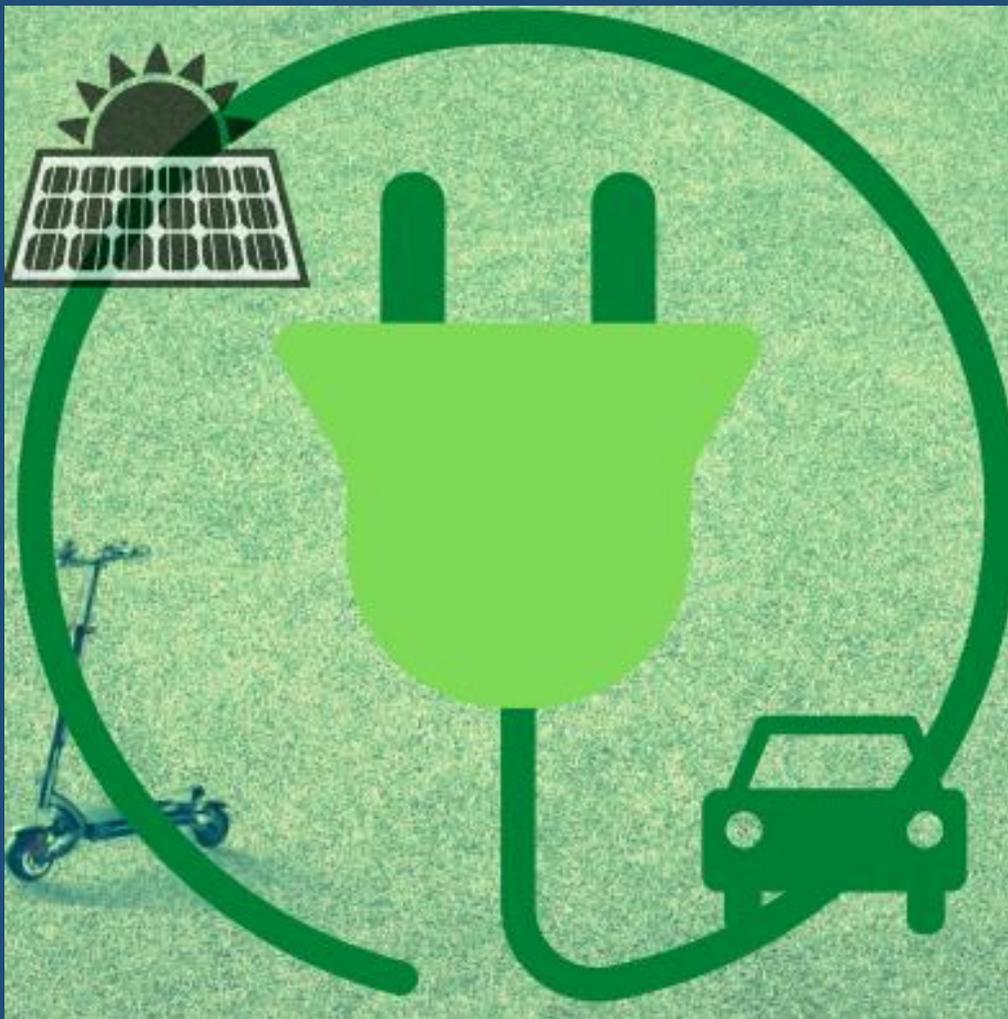




INSTITUTO DE INGENIEROS
C H I L E

Electromovilidad

Oportunidades para la Ingeniería Chilena



Comisión Electromovilidad - 2020

El Instituto de Ingenieros de Chile entrega este informe a la comunidad con el propósito de contribuir al desarrollo del país, aprovechando las oportunidades que ofrece la movilidad eléctrica, sabiendo que ella puede generar cambios positivos significativos en las condiciones ambientales, sociales y económicas bajo las cuales se desarrollará la nueva movilidad.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI)
Miembro de la Federación Mundial de Organización de Ingenieros (FMOI) (WFEO)
Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

PRESIDENTE

Luis Nario Matus

DIRECTORIO 2020

*Iván Álvarez Valdés
Elías Arze Cyr
Marcial Baeza Setz
Juan Carlos Barros Monge
Juan E. Cannobbio Salas
Silvana Cominetti Cotti-Cometti
Alex Chechilnitzky Zwicky
Raúl Demangel Castro
Andrés Fuentes Torres
Roberto Fuenzalida González
Javier García Monge
Rodrigo Gómez Alvarez
Cristian Hermansen Rebolledo
Carlos Mercado Herreros
Germán Millán Valdés
Rodrigo Muñoz Pereira
Ricardo Nanjarí Román
Luis Nario Matus
Ricardo Nicolau del Roure G.
Jorge Pedrals Gutiérrez
Humberto Peña Torrealba
Luis Pinilla Bañados
Daniela Pollak Aguiló
Miguel Ropert Dokmanovic
Mauricio Sarrazin Arellano
Alejandro Steiner Tichauer
Ximena Vargas Mesa
Luis Valenzuela Palomo
René Vásquez Canales
Jorge Yutronic Fernández*

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADEMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACION CHILENA DE SISMOLOGIA
E INGENIERIA ANTISISMICA, ACHISINA.
Presidente: Rodolfo Saragoni H.

ASOCIACION INTERAMERICANA DE
INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL -
CAPITULO CHILENO, **AIDIS**.
Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA
HIDRAULICA, **SOCHID**.
Presidente: José Vargas B.

SOCIEDAD CHILENA DE GEOTECNIA,
SOCHIGE.
Presidente: Gonzalo Montalva A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA DE
TRANSPORTE, **SOCHITRAN**.
Presidenta: Carolina Palma A.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER
Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN EN
INGENIERÍA, **SOCHEDI**.
Presidente: Mario Letelier S.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Economía Circular.
Presidente: Javier García M.

Inteligencia Artificial y el Big Data.
Presidente: Juan Carlos Barros M.

Ingenieros en la Historia Presente.
Presidente: Ricardo Nanjarí R.

Ingeniería y Ciencias de la Vida.
Presidente: Alejandro Steiner T.

*La Gestión y Calidad del Diseño de los
Proyectos de Ingeniería*
Presidente: Ricardo Nicolau del Roure G.
Prospectivas de la Ingeniería.
Presidente: Jorge Yutronic F.

Visión del Negocio del Cobre.
Presidente: Andrés Fuentes T.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois
Elías Arze Cyr
Marcial Baeza Setz
Juan Carlos Barros Monge
Bruno Behn Theune
Sergio Bitar Chacra
Mateo Budinich Diez
Juan Enrique Castro Cannobbio
Jorge Cauas Lama
Joaquín Cordua Sommer
Luis Court Mook
Alex Chechilnitzky Zwicky
Raúl Espinosa Wellmann
Álvaro Fischer Abeliuk
Roberto Fuenzalida González
Tristán Gálvez Escuti
Alejandro Gómez Arenal
Tomás Guendelman Bedrack
Diego Hernández Cabrera
Jaime Illanes Piedrabuena
Agustín León Tapia
Jorge López Bain
Jorge Mardones Acevedo
Carlos Mercado Herreros
Germán Millán Pérez
Guillermo Noguera Larraín
Luis Pinilla Bañados
Rodolfo Saragoni Huerta
Mauricio Sarrazin Arellano
Raúl Uribe Sawada
Luis Valenzuela Palomo
Solano Vega Vischi
Hans Weber Münnich
Andrés Weintraub Pohorille
Jorge Yutronic Fernández



INSTITUTO DE INGENIEROS
C H I L E

ELECTROMOVILIDAD

Oportunidades para la Ingeniería Chilena

Presidente: Javier García

Participantes: Juan Carlos Barros
Martin Fuenzalida
Cristian Hermansen
Ignacio Toro
Jorge Yutronic
Jean Paul Zalaquett

COMISIÓN ELECTROMOVILIDAD – 2020

Índice

1.	Introducción	4
2.	Electromovilidad, tendencias y cifras, mundiales y nacionales	5
	2.1 Vehículos Livianos	5
	2.2 Buses Urbanos	6
	2.3 Vehículos pequeños (2 y 3 ruedas).....	7
	2.4 Transporte de carga terrestre.	8
	2.5 Transporte ferroviario eléctrico.	9
	2.6 Transporte aéreo eléctrico.....	10
	2.7 Transporte marítimo eléctrico.	11
	2.8 Minería Eléctrica.	11
	2.9 Infraestructura de Carga Eléctrica (Alimentadores de energía).	12
3.	Desarrollos tecnológicos asociados a electromovilidad: Vehículos	14
4.	Logística, sistemas de carga, gestión de red eléctrica	16
	4.1 Consumo de energía y demanda punta.	16
5.	Beneficios económicos y ambientales de la movilidad eléctrica	17
	5.1 Beneficios ambientales.	17
	5.2 Beneficios económicos.....	18
6.	Externalidades del uso del automóvil	20
7.	Incentivos.....	21
	7.1 Contexto general.	21
	7.2 Regulación, incentivos, normas y leyes	22
	7.3 Políticas para la incorporación de la movilidad eléctrica y servicios afines.....	23
	7.3.1 Acciones propuestas para masificar la electromovilidad en Chile	23
	7.3.2 Otros incentivos no financieros.....	26
8.	Acciones propuestas para maximizar la creación de valor	27
9.	Oportunidades para el desarrollo del país y de la ingeniería	29
	9.1 La industria automotriz y su relevancia.....	29
	9.2 Tendencias de la industria de movilidad y servicios asociados.	30
	9.3 Cambios en la industria de electromovilidad y oportunidades	31
	9.4 Sistemas de almacenamiento de energía.....	32
	9.5 Gestión de la red eléctrica: Vehicle to Grid (V2G).....	34
10.	Conversión de vehículos	37
	10.1 Estrategia de electromovilidad de países desarrollados y de Chile.....	37
	10.2 Beneficios de los vehículos eléctricos	37
	10.3 Costos y limitaciones de la conversión.....	38
	10.4 Condiciones para favorecer el mercado de conversión de vehículos.....	39
11.	Tecnologías de Información y Movilidad Eléctrica.	40
	11.1 Escenarios posibles de movilidad.....	40
12.	Conclusiones y recomendaciones.	42
	12.1 Conclusiones	42
	12.2 Recomendaciones.	43

Gráficos

Gráfico 1. Ventas anuales de vehículos eléctricos en el mundo (miles de vehículos)	5
Gráfico 2. Número de cargadores eléctricos de autos livianos	13
Gráfico 3. Comparación de precio y autonomía por año de lanzamiento.....	14
Gráfico 4. Ingresos asociados a la industria del Automóvil. Estados Unidos de América.....	29
Gráfico 5. Desplazamientos de valor potenciales debidos a movilidad eléctrica en industria del automóvil.	30
Gráfico 6. Pilares de la movilidad eléctrica como industria independiente.	32
Gráfico 7. Efecto de carga nocturna sobre el perfil de demanda eléctrica.	35
Gráfico 8. Estados futuros de la movilidad según propiedad y control del vehículo.	41

Tablas

Tabla 1 Pasajeros-kilómetro transportados por año, países seleccionados.....	9
Tabla 2 Toneladas-kilómetro transportadas, países seleccionados.	10
Tabla 3 Inventario de Emisiones Región Metropolitana, sector transportes, 2014.	17
Tabla 4 Externalidades del uso de vehículos y medidas para su gestión.	20

Resumen Ejecutivo

La movilidad eléctrica está creciendo a tasas de dos dígitos a nivel mundial, aunque desde una base muy baja. Con todo, más de 5 millones de vehículos livianos circulaban en el mundo a fines de 2019. Chile ha tomado una posición de liderazgo en la región de América Latina con la flota de buses más grande después de China y un aumento consistente de vehículos eléctricos particulares.

Las perspectivas de movilidad eléctrica son prometedoras en las gamas de vehículos particulares y comerciales. En otras categorías de transporte terrestre y otros modos de transporte, la movilidad eléctrica aún debe superar barreras tecnológicas para lograr prestaciones que compitan con las soluciones actuales. En ese sentido, el peso y el costo de las baterías sigue constituyendo un impedimento para la aplicación de movilidad eléctrica en transporte de carga, marítimo o aéreo. El transporte ferroviario continúa siendo competitivo en grandes distancias, aunque los costos de inversión en infraestructura son una barrera para su adopción masiva, particularmente en países y regiones que carecen de las inversiones básicas o muestran un retraso comparados con países más avanzados, como el caso de Europa.

Las oportunidades que ofrece la movilidad eléctrica deben ser aprovechadas para promover un sector donde el país puede tener una posición de liderazgo. Es posible imaginar una industria que provea bienes y servicios asociados a la movilidad eléctrica gracias a la cual se puedan obtener beneficios económicos y sociales que se añadan a las ganancias ambientales directas que trae consigo la movilidad eléctrica.

Para ello, se requiere una acción decidida del Estado en la promoción de la movilidad eléctrica. Este impulso se da en dos dimensiones. La primera corresponde a la regulación adecuada que permita un desarrollo acelerado de esta nueva tecnología, aprovechando también los beneficios que las Tecnologías de Información pueden otorgar a la movilidad y que, al mismo tiempo, garantice elementos de seguridad y acceso para todos los usuarios. La segunda se relaciona con la provisión de incentivos adecuados para que los actores prefieran la movilidad eléctrica a la convencional (motor de combustión interna), junto con la expansión de la red de carga y las disposiciones que aseguren el suministro eléctrico en todas las circunstancias. En el caso de incentivos económicos (impuestos o subsidios), se espera que su diseño apunte a favorecer los beneficios de la movilidad eléctrica o a castigar las externalidades negativas de la movilidad tradicional que resuelve el nuevo paradigma tecnológico. En ese sentido, los criterios básicos para la aplicación de instrumentos económicos (adicionalidad, progresividad, minimización de efectos no deseados, duración óptima) aplican particularmente a la promoción de la movilidad eléctrica.

El Instituto de Ingenieros de Chile ve en la movilidad eléctrica una oportunidad para el desarrollo del país en general y de la ingeniería en particular. Para ello, el informe que se presenta a continuación entrega un conjunto de recomendaciones tanto al Estado como a los actores privados (industria, emprendimientos, entidades financieras, centros de formación) de modo que se pueda aprovechar lo más posible la introducción de la movilidad eléctrica. Los beneficios ambientales directos (reducción de contaminación atmosférica y de emisiones de gases de efecto invernadero) ya justifican la transición a la nueva movilidad. La posibilidad que sus beneficios vayan más allá de las ganancias directas dependerá de una regulación apropiada y de la voluntad de los diferentes actores de avanzar.

Las principales recomendaciones de este informe se resumen a continuación:

Adopción acelerada de movilidad eléctrica:

- Establecer metas de penetración, incentivos para la adquisición de vehículos eléctricos y facilitar la conversión de vehículos usados, de combustión interna, en eléctricos.
- Incluir la movilidad eléctrica en compras públicas e instituciones del Estado
- Velar por la formación de capacidades profesionales y técnicas, acorde con el desarrollo de la movilidad eléctrica, cuidando que el impacto en empleo en empresas que salen pueda ser absorbido en empresas emergentes.

Tecnología:

- Promover soluciones tecnológicas hechas en el país, en los nichos donde tales desarrollos aún son posibles, considerando toda la cadena de valor de la industria, particularmente en aquellas industrias donde Chile tiene liderazgo a nivel mundial (ej. minería).
- Promover la integración de movilidad eléctrica con tecnologías de información y la movilidad autónoma emergente para que los sistemas de transporte provean acceso a oportunidades de trabajo, educación, salud y entretenimiento a toda la población.
- Velar porque la disposición final de los vehículos o sus componentes cumplan requerimientos ambientales estrictos, incluyendo su reutilización o reciclaje (ej. segunda vida para baterías), de acuerdo al espíritu de la ley 20.290 (Ley REP).

Sistemas de carga y redes eléctricas

- Promover la instalación de una red de carga de vehículos que asegure la disponibilidad de cargadores de acuerdo al crecimiento del parque de vehículos, tanto en domicilios y edificios, lugares de trabajo, centros comerciales, estaciones de servicio y otras instalaciones con afluencia alta de vehículos.
- Asegurar la compatibilidad de la red eléctrica con la demanda adicional de la movilidad eléctrica (carga inteligente) incluyendo las condiciones técnicas, económicas y regulatorias que optimicen los requerimientos de carga y posibiliten el uso de vehículos eléctricos como respaldo de la red (V2G).

Financiamiento:

- Establecer mecanismos innovadores para la promoción de la movilidad eléctrica y el apoyo a empresas que ofrezcan soluciones asociadas, incluyendo compensaciones en zonas con contaminación atmosférica alta, premios a vehículos limpios y castigos a vehículos más contaminantes, mecanismos de reducción de riesgo para emprendimientos asociados a movilidad eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN

La movilidad eléctrica¹ ha estado creciendo, a nivel mundial, a tasas de dos dígitos desde comienzos de 2010. La razón principal de su impulso radica en sus ventajas ambientales. Los vehículos eléctricos (VE) no emiten gases ni partículas por tubo de escape, como sí lo hacen sus homólogos a combustión interna (ICE). Además, si la generación eléctrica se realiza con fuentes renovables, estos vehículos emiten muy pocos gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento del sistema climático. Por ello, varios países y regiones, incluyendo Europa, China, Japón, Estados Unidos entre los más importantes, tienen políticas proactivas que promueven una penetración mayor de esta tecnología en las flotas nacionales.

Sin embargo, persisten barreras para una difusión mayor. La principal la constituye la diferencia de precio entre un Vehículo Eléctrico y uno de Combustión Interna comparable (tamaño, prestación), de modo que un consumidor promedio no puede pagar el mayor valor del VE y continúa optando por un ICE. Con todo, los expertos auguran que a mediados de la década presente se alcanzará la paridad de precio, considerando el Costo Total de Operación². Esta paridad ya se observa en vehículos cuyo uso es intensivo, de modo que los menores costos de operación de los VE compensan el mayor costo de inversión. Tal es el caso de buses y taxis.

Más allá de la promoción de la movilidad eléctrica *per se*, realidad que ya está llegando, el Instituto de Ingenieros de Chile está interesado en que ella implique una oportunidad para el desarrollo de la ingeniería y del país. Es un hecho que la movilidad eléctrica se adoptará. La diferencia entre una adopción pasiva y una activa radica en las oportunidades de desarrollo que esta nueva tecnología puede brindar al país, considerando diferentes opciones en la cadena de valor de la industria y sus servicios asociados. Si bien, algunos procesos de alta complejidad tecnológica parecen estar fuera del potencial que Chile podría desarrollar para posicionarse en el mercado de vehículos eléctricos, existen oportunidades en ciertos nichos, como la conversión de vehículos ICE en eléctricos, la integración de sistemas, la carga inteligente, entre otros.

Se destaca que, como en Chile no existen fabricantes de automóviles ni una industria petrolera, hay posibilidades amplias de desarrollo para la movilidad eléctrica, pues no habrá oposición de las industrias incumbentes que son las perturbadas por esta nueva forma de concebir el transporte. Esa ventaja merece ser aprovechada para cosechar los mejores frutos de la nueva movilidad. Hay que considerar, sin embargo, que puede existir oposición por parte de otros actores dentro de la cadena de valor de la industria, que se vean afectados como, por ejemplo, navieras, empresas portuarias, distribuidoras de combustible y de vehículos, talleres mecánicos y de venta de repuestos, entre otros; mas pequeños que las principales industrias incumbentes pero numerosos.

El informe analiza los rasgos principales de la movilidad eléctrica en distintos medios de transporte, las ventajas que implica su adopción en términos ambientales y económicos, el aporte de otras tecnologías a la movilidad futura. Propone medidas y acciones que permitan aprovechar las oportunidades que la movilidad eléctrica ofrece a la ingeniería en particular y a Chile en general. Con ello, el Instituto de Ingenieros de Chile quiere aportar al progreso económico, social y ambiental del país, considerando opciones que surgen desde esta nueva tecnología.

¹ Este informe no considera la movilidad en base al hidrógeno, cuyo obstáculo principal radica en la falta del sistema logístico que permita la operación de vehículos con tecnología de celdas de combustible; mientras que los vehículos eléctricos ya son una realidad.

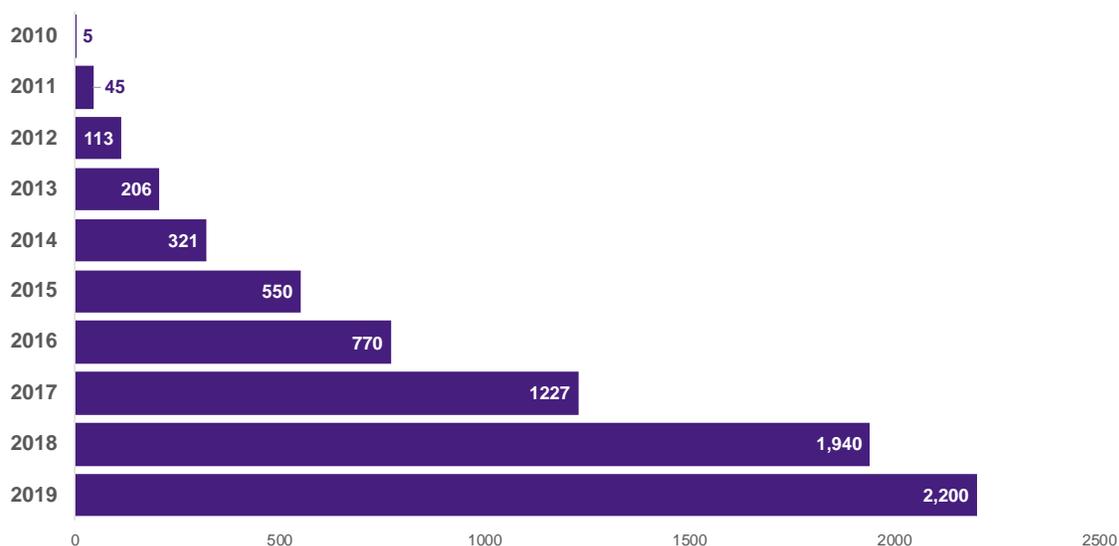
² Agencia Internacional de Energía, Global Electric Vehicle Outlook 2019, página 168.

2. ELECTROMOVILIDAD, TENDENCIAS Y CIFRAS, MUNDIALES Y NACIONALES³

2.1 Vehículos Livianos

El número de autos eléctricos de pasajeros, correspondientes a autos a batería (BEV) e híbridos conectables (PHEV), llegó a los 5,4 millones de unidades totales en 2018, un aumento del 63% respecto a 2017, cifra comparable con el crecimiento anual de 57% en 2017 y 60% en 2016⁴. El gráfico muestra las ventas anuales de vehículos eléctricos.

Gráfico 1. Ventas anuales de vehículos eléctricos en el mundo (miles de vehículos).



Fuente: Insideevs.com. Cifras proyectadas para 2019

China representó el 45% de la flota mundial de autos eléctricos, seguido de Europa con el 24% y Estados Unidos con 22%. Noruega fue, por lejos, el líder mundial en participación de autos eléctricos en sus calles con un 10% del total de autos en circulación. A pesar de la expansión del segmento en los últimos años, solo 5 países tuvieron una participación por sobre el 1% en 2018: Noruega (10%), Islandia (3,3%), Países Bajos (1,9%), Suecia (1,6%) y China (1,1%).

Las ventas globales de autos eléctricos fueron cercanas a los 2 millones de unidades en 2018. China se mantuvo como el mayor mercado de autos eléctricos con 1,1 millones de unidades vendidas, aumentando desde las 600 mil unidades vendidas en 2017. Este aumento es especialmente relevante, considerando la disminución de las ventas totales de autos de pasajeros en China respecto a 2017, resaltando el dinamismo de esta industria en el país oriental. En 2019, las ventas fueron de 2,78 millones de vehículos, 33% más que el año anterior⁵.

Nuevamente Europa, con 385 mil unidades vendidas, y Estados Unidos de Norteamérica, con 361 mil unidades vendidas, completaron el podio de los mayores mercados de autos eléctricos de

³ Salvo mención contraria, las cifras de ventas, crecimiento del parque e inventarios fueron obtenidas del Electric Vehicle Outlook 2019, de la Agencia Internacional de Energía.

⁴ Los autos híbridos demoraron 15 años en llegar al millón de vehículos mientras que los eléctricos, solamente 8.

⁵ Ver: <https://www.eskorpion.com/post/electromovilidad-bater%C3%ADas-y-litio-ojo-con-el-2020>

pasajeros. Notable fue el aumento anual del 82% de ventas en Estados Unidos, por encima de la tasa mundial, impulsado por la entrada al mercado del Tesla Modelo 3 (Marklines, 2019).

Según la Asociación Nacional Automotriz de Chile (Anac), durante 2018 se vendieron 197 autos eléctricos en el país, 44% más que en 2017, un 0,05% de las ventas de autos totales. En 2019, las ventas ascendieron a 302 unidades, siendo septiembre el mes más destacado con 51 ventas⁶. Ese mismo año, ingresaron 39 taxis eléctricos. Finalmente, a fines de 2019 se contabilizaban 143 puntos de carga, de los cuales el 37% era lento (menos de 22 kW); 35% semi-rápida (menos de 50 kW); 28% de carga rápida (menos de 100 kW) y existe un punto de carga ultra rápida (más de 100 kW).

En el escenario base de proyecciones de la Agencia Internacional de la Energía al 2030, se espera que el número de EV a nivel mundial llegue a 129 millones, más de 27 veces el número actual, con un crecimiento anual de 30%. Se espera que, en China, el 28% de los autos vendidos en 2030 sean eléctricos, seguidos por Europa con el 26% y Japón con el 21%, demostrando el crecimiento exponencial que se proyecta de este segmento⁷.

2.2 Buses Urbanos

La flota de buses eléctricos a nivel mundial aumentó en 2018 un 25% respecto al año anterior, llegando a 460 mil vehículos. China representa el 99% del mercado mundial de buses eléctricos con políticas públicas agresivas focalizadas en disminuir la contaminación ambiental.

La estrategia de China se condice con la visión de Mckinsey que pronostica competitividad económica para los buses urbanos comparados con buses a combustión interna antes de 2020 sin subsidio alguno, siendo el primer segmento de vehículos eléctricos en alcanzar este objetivo (McKinsey, 2019).

Chile es el segundo país mundial con más buses eléctricos después de China, con un total de 386 unidades que operan en la Red Metropolitana de Movilidad (ex Transantiago) y representa el 6% de la flota de buses de dicho sistema, en la ciudad de Santiago⁸.

América Latina y, en particular, Chile son grandes usuarios del transporte público y los habitantes en las grandes concentraciones urbanas dependen del sistema de buses. Por ejemplo, en Santiago hay más de 6.500 buses, una cifra que supera cualquiera de las flotas existentes en ciudades grandes de Europa o EEUU⁹.

Chile está desplegando buses eléctricos desde 2017 y operadores como Metbus han declarado que el Costo Total de Operación (TCO¹⁰) de un bus eléctrico es equivalente a uno diésel EURO VI (cifras TCO a 7-10 años)¹¹.

Lo anterior se explica por los siguientes factores:

⁶ http://www.electromov.cl/2020/01/16/informe-anac-302-vehiculos-enchufables-se-vendieron-en-chile-durante-2019/?utm_source=Newsletter+Grupo+Editorial+EDITEC&utm_campaign=64f1c5ca24-EMAIL_CAMPAIGN_2020_01_17_10_44&utm_medium=email&utm_term=0_24864427d2-64f1c5ca24-62649749

⁷ Es interesante notar los avances que muestran los principales fabricantes de vehículos que ya han lanzado sus modelos híbridos o eléctricos. Ver por ejemplo: <https://www.mercedes-benz.ca/en/eq-electric-cars>; <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/electric-vehicles-3646>, <https://www.nissanusa.com/vehicles/electric-cars/leaf/features/range-charging-battery.html>, <https://www.businessinsider.com/promises-carmakers-have-made-about-their-future-electric-vehicles-2020-1#general-motors-3>

⁸ Diario Financiero, 15 de octubre de 2019.

⁹ Ver por ejemplo: https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_bus_RATP

¹⁰ Corresponde al valor anualizado de todos los costos en que incurre el usuario por la posesión y uso del vehículo incluyendo costo financiero, amortización, seguros, permisos de circulación, impuestos, combustible, manutención, peajes, estacionamiento, etc.

¹¹ Ver por ejemplo: Oportunidades para el Desarrollo de la Movilidad Eléctrica en la Ciudad de Santiago; Centro Mario Molina; página 19 (en cooperación con Chilectra).

- Los costos de mantenimiento y energía son menores que los proyectados.
- El costo de energía se reduce aún más con recarga inteligente (permite menos inversiones, menos costos de potencia dentro y fuera de horario punta).
- Un bus diésel puede ser reemplazado por uno eléctrico, sin pérdida de capacidad operativa (los operadores del sistema de transporte público de Santiago lo confirman).

Un elemento importante del sistema Red (ex Transantiago) es el establecimiento de mecanismos que reducen las barreras para el financiamiento, mitigando el riesgo operativo, de contraparte y de crédito. Dado lo anterior, los buses eléctricos se están masificando en Chile, sin aumentar el costo del sistema.

Con todo, aún subsisten riesgos, por ejemplo, respecto a la vida útil de los buses, de las baterías que habitualmente están garantizadas a 7 años y respecto a la duración de los componentes electrónicos. Otro riesgo puede ser la captura de valor del fabricante con el suministro de repuestos electrónicos.

Aun cuando las políticas actuales han sido exitosas en acompañar un esfuerzo público-privado llevando a la incorporación acelerada de los buses eléctricos en Chile, se requiere un seguimiento para saber cómo evolucionan los riesgos y cómo se mitigan. Adicionalmente, es posible entregar incentivos no financieros para potenciar la introducción de buses eléctricos como, por ejemplo, mayor tiempo de concesión para flotas que incluyan un porcentaje importante de dichos buses¹².

2.3 Vehículos pequeños (2 y 3 ruedas)

En 2018 había en circulación 250 millones de vehículos eléctricos de 2 o 3 ruedas, equivalente a más del 25% de los 800 millones de vehículos motorizados de 2 ruedas a nivel mundial¹³. Este tipo de vehículos significa el 55% de la demanda eléctrica proveniente de VE.

El 99% de estos vehículos eléctricos pequeños se encontraba en China donde su autonomía de 50 km y velocidad máxima de 25 km/h los hizo ideales para circulación en ciudades densas, manteniendo precios competitivos (del orden de 400 USD) a las alternativas a gasolina¹⁴. Además, en China los vehículos eléctricos de 2 ruedas suelen estar exentos de registros vehiculares y están autorizados a transitar por ciclovías. Sin embargo, varias ciudades chinas han prohibido estos vehículos, preocupadas por la seguridad vial¹⁵.

En los países occidentales, los vehículos eléctricos pequeños han sido impulsados por operadores de arriendo de monopatines, a los que el usuario accede mediante aplicaciones en su celular y el cobro se da por tiempo de uso, sin lugares definidos de estacionamiento. Esta modalidad de negocio ha sido implementada en 130 ciudades de Estados Unidos y 30 en Europa; solamente en París existen 8 compañías que ofrecen este servicio y más de 5.500 unidades en circulación. Este sistema también ha irrumpido en Chile, donde destaca el caso de la municipalidad de Vitacura. Allí, en marzo de 2019, cuatro empresas estaban funcionando simultáneamente con una flota total de 800 monopatines. Además, en Chile existen varios importadores de vehículos eléctricos livianos.

¹² Ver por ejemplo: <http://lanacion.cl/2019/06/17/sistema-red-de-buses-nueva-licitacion-incorpora-estandares-de-calidad/>. El uso de buses eléctricos puede acceder a 7 años de operación vs. 5 de buses con tecnología diésel. El sistema Red publicó (octubre de 2019) una licitación de nueva flota por 2.000 unidades que previsiblemente podrán ser eléctricos.

¹³ Esta cifra se compara con los 5,4 millones de vehículos eléctricos livianos a fines de 2018. International Energy Agency, Global Electric Vehicle Outlook 2019, página 6

¹⁴ De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, considerando el costo total de posesión del vehículo, los de dos ruedas son comparables a sus homólogos ICE en países con impuestos altos a los combustibles y tasas de ocupación por sobre 4.500 km. anuales y con precio de batería de US 400/kWh, (cuando existe base de comparación). IEA, Global Electric Vehicle Outlook, 2019, página 165.

¹⁵ Ver por ejemplo: "How safe are electric scooters" en <https://www.bbc.com/news/uk-48106617>. Ver también: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/poweredtrowheelers_en

Las autoridades deben compatibilizar la popularidad que tienen estos medios de transporte, con las normas para vehículos motorizados (muchas de las cuales no cumple este tipo de vehículos), el uso correcto de la infraestructura pública de transporte y su distribución entre usuarios, incluyendo peatones y otros vehículos. La regulación en este aspecto está evolucionando rápidamente y se espera que una convivencia “racional” se pueda dar entre la movilidad de vehículos de dos (o tres) ruedas y otros usuarios de la infraestructura vial, que aproveche los beneficios de vehículos apropiados para distancias cortas y elimine sus potenciales inconvenientes, particularmente, los problemas de seguridad y accidentes asociados.

La alternativa eléctrica de dos o tres ruedas ofrece movilidad rápida, libre de congestión, para trayectos más largos que la caminata y que no exceden 4 o 5 kilómetros, ayudando a variar la oferta de transporte y mejorando las condiciones de circulación. De todos modos, se requiere una planificación adecuada del uso y de las preferencias respecto al espacio vial para que estas opciones se integren armoniosamente con otros modos de transporte. En particular, es conveniente limitar la velocidad máxima de estos vehículos cuando pueden competir con el espacio de los peatones.

2.4 Transporte de carga terrestre.

Las perspectivas para la electrificación del transporte de carga terrestre, de acuerdo al estado actual de la tecnología, no son prometedoras y las proyecciones indican que los vehículos de combustión interna serán la base de este tipo de transporte en, al menos, las próximas dos o tres décadas. Para sostener el desempeño de camiones que recorren entre 500 y 800 km por día sin necesidad de recarga, se necesitarían baterías cuyo peso limitaría enormemente la capacidad disponible del vehículo¹⁶. Adicionalmente, el costo de un paquete de baterías de ese tamaño sería comparable al costo actual de un camión de tonelaje mediano a alto, haciendo inviable la inversión. A menos que la ingeniería de baterías experimente cambios sustantivos en los años próximos, no es factible pensar en un cambio masivo de transporte de carga desde el motor de combustión interna a la propulsión por baterías, en las condiciones actuales. En la práctica, los modelos disponibles actualmente corresponden a híbridos que combinan motores eléctricos con celdas de hidrógeno.

En el mismo sentido, las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía, muestran que la participación de vehículos pesados en la movilidad eléctrica, en un escenario al 2030, sería menor al 1% de la flota total de vehículos eléctricos¹⁷.

Por el contrario, en el segmento de vehículos de reparto pequeños y medianos (de uso urbano y distribución a los puntos de comercio o “la última milla”), la alternativa eléctrica aparece no solo viable, sino que ya se observan soluciones recorriendo las calles de varias ciudades. Había 250.000 de estos vehículos en el mundo a fines de 2018. Aparte de las ventajas de menor contaminación atmosférica y acústica, muchas veces en centros urbanos ya saturados, los vehículos de reparto eléctrico se presentan en tamaños variados que pueden proveer soluciones a sectores de calles estrechas con multiplicidad de comercio de proximidad. En lugares donde se desea potenciar la actividad local, este tipo de vehículos contribuye al entramado que posibilita la renovación de barrios tradicionales. El uso de camiones para trayectos relativamente cortos y demandas de carga no muy alta se puede extender para servicios de aseo y usos fuera de ruta (confinados a lugares cerrados), en general. De hecho, los mayores desarrollos de vehículos de carga se han dado en estos segmentos mientras que vehículos pesados (más de 15 toneladas de carga) solo existen en

¹⁶ Ver, por ejemplo, Agencia de Sostenibilidad Energética, Estudio de Movilidad Eléctrica en Chile, página 76, tabla 9-13.

¹⁷ Agencia Internacional de Energía, Global EV Outlook 2018, figura ES2, página 12.

fase piloto. Adicionalmente, la mayor parte de los camiones eléctricos en circulación corresponden a conversión de vehículos originalmente a combustión interna¹⁸. Con todo, algunas empresas manufactureras de vehículos han anunciado el lanzamiento de modelos pesados a partir de 2019 en adelante (como los casos de Tesla y Daimler). Finalmente, algunos países como China, Noruega y ciertos estados dentro de EEUU tienen metas de participación de vehículos eléctricos en sus flotas que incluyen camiones.

Desde la perspectiva de ciudades altamente contaminadas, la incorporación de vehículos de reparto, camiones de servicio de aseo, limpieza de calles y otros servicios similares, todos ellos eléctricos, constituye una oportunidad que debería promoverse como una contribución a los esfuerzos por mejorar la calidad del aire¹⁹.

2.5 Transporte ferroviario eléctrico.

El transporte ferroviario, ya sea de pasajeros o de carga, es más eficiente²⁰ con respecto a los vehículos de combustibles fósiles. Si, además, se realiza con máquinas eléctricas contribuye a la sustentabilidad, en especial si la electricidad consumida es generada con fuentes renovables.

El transporte de pasajeros por ferrocarril de tracción eléctrica en trayectos interurbanos se debe focalizar en tramos de alta demanda de público, en especial trenes suburbanos de cercanía de grandes ciudades, con menores tiempos de viaje, menor consumo de energía por pasajero, contribuyendo a la eficiencia energética y a la sustentabilidad, mayor seguridad y evitando congestión al reemplazar buses en autopistas urbanas y carreteras interurbanas.

Si se comparan cifras de pasajeros por kilómetro transportados en un año de Chile con otros países, en millones de pasajeros por kilómetros al año y por cada mil habitantes al año, se tiene:

Tabla 1 Pasajeros-kilómetro transportados por año, países seleccionados

País	Pasajeros-kilómetros Millones por 1000 hab.	
Chile	0,8	43
Alemania	77,5	934
Japón	197,3	1.560
Elaboración en base a data.worldbank.org		

Otra ventaja de los trenes de cercanía es su carácter complementario con los sistemas de Metro de Santiago y regiones, facilitando el desplazamiento de la ciudadanía en forma segura.

De la comparación internacional, utilizando las últimas cifras disponibles del Banco Mundial, se puede concluir que existe una amplia brecha con los valores de transporte de pasajeros por ferrocarril interurbano de países desarrollados y por lo tanto una oportunidad de mercado de tener un transporte más sustentable y eficiente energéticamente.

Chile es un país abierto al mercado internacional por lo que, en el transporte de carga, el uso del tren descongestionaría el acceso a los puertos, tema crítico por la falta de espacio, disminuiría la congestión en carreteras, evitaría accidentes y reduciría el desgaste de las carreteras al reemplazar el uso de camiones de carga. Con todo, es importante destacar que el tren es más eficiente mientras más largos sean los trayectos.

¹⁸ AIE, op. cit., páginas 29 y 32.

¹⁹ Por ejemplo, el fabricante alemán Liebherr presentó el primer camión hormigonera eléctrico. Ver: https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20200401/primer-camion-hormigonera-electrico-futuro-obras-sin/479203000_0.html

²⁰ Se entiende eficiencia en este contexto a la relación energía consumida vs. pasajeros-kilómetros o toneladas-kilómetro transportados.

Un tren moderno puede reemplazar de 60 a 80 camiones de 30 toneladas, con una mayor eficiencia energética, menor huella de carbono de las exportaciones, menores costos del orden 2 a 4 veces el costo operativo de los camiones.

Además, tiene una mejor utilización de infraestructura, ya que, por ejemplo, en una vía de carretera se supone un tránsito de 600 camiones de 30 toneladas por hora, se tiene un total de 18.000 toneladas por hora transportadas²¹. Por otra parte, en el caso del ferrocarril, suponiendo 10 trenes por hora, de 70 carros de 70 toneladas cada uno, se tiene un transporte de 49.000 toneladas por hora, o sea, del orden de un 300% de mayor capacidad de transporte.

Si se comparan cifras de carga por ferrocarril transportadas en Chile con otros países en toneladas por kilómetro transportados en un año y por habitante, se tiene:

Tabla 2 Toneladas-kilómetro transportadas, países seleccionados.

CARGA País	Toneladas - Kilómetros	
	Millones	Por habitante
Chile	1.935	103
Alemania	70.614	851
Canada	540.141	14.598
USA	2.445.132	7.473
Elaboración en base a data.worldbank.org		

De la comparación internacional, utilizando las últimas cifras disponibles del Banco Mundial, se puede concluir que existe una amplia brecha con los valores de países desarrollados y por lo tanto una oportunidad de mercado de tener un transporte de carga más sustentable ambientalmente y más eficiente energéticamente²².

2.6 Transporte aéreo eléctrico.

El transporte aéreo con aviones eléctricos está en desarrollo experimental tanto con tecnologías con batería, híbridos o paneles fotovoltaicos.

Para las aerolíneas, un tema de discusión es la huella de carbono de los vuelos aéreos lo que ya muestra un efecto de disminución de viajes en avión, en algunos países desarrollados. Las aerolíneas están buscando soluciones del tipo de comprar compensaciones de carbono, acciones de reforestación, mayor eficiencia de combustible por pasajero-kilómetro, uso de biocombustibles, entre otras medidas de corto plazo para no perder mercado.

Para el caso de los aviones con motores eléctricos utilizando baterías, los problemas actuales son poca autonomía y aviones de tamaño pequeño que no reemplazarían a los aviones de recorridos medianos y de capacidad del orden de 200 pasajeros.

Se pueden mencionar como ejemplos los siguientes desarrollos experimentales de aviones con motores eléctricos.

- Alice de Eviation (Israel), para 9 pasajeros más 2 pilotos con 3 hélices de empuje, velocidad de 440 Km/hora, motores de 260 KW cada uno. Se espera en operación comercial el año 2022.

²¹ Considera tránsito por autopistas con más de una vía por sentido.

²² El Banco Mundial solo presenta estadísticas de transporte de carga y de pasajeros por modo de transporte en cada país, sin analizar las rentabilidades de los servicios o la sustitución entre modos, ni desde el punto de vista económico, ni ambiental ni social; ni de sustentabilidad en general.

- Avión noruego, para 20-25 pasajeros en vuelos cortos. Se espera en operación comercial el año 2025.
- Ampaire337, híbrido, para 7-9 pasajeros. Se espera en operación comercial el año 2021.
- Avión solar con paneles y baterías. Realizó vuelos de prueba en los años 2015-2016.
- Hidroavión de Harbour Air, en base a la modificación de un antiguo avión Beaver DHC-2 de 62 años, se transformó en un avión eléctrico con una autonomía de 160 Km, motor de 560 KW con una hélice, realizó primer vuelo de prueba comercial con 6 pasajeros en Vancouver, Canadá en diciembre de 2019.

El desarrollo de aviones con motores eléctricos está avanzando fuertemente en el segmento de aviones de menos de diez pasajeros en distancias cortas, especialmente en zonas de preocupación por el medio ambiente, pero existen desarrollos para aviones de mayor tamaño pudiendo a futuro tomar el mercado de distancias cortas para menos de 50 pasajeros. Finalmente, no se vislumbra en el corto plazo la posibilidad de aviones eléctricos para grandes distancias ni un número elevado de pasajeros.

2.7 Transporte marítimo eléctrico.

En transporte marítimo, las dificultades que actualmente tiene la electricidad para ser una tecnología competitiva radican en los altos costos de inversión que todavía no compensan los bajos costos de operación y mantenimiento actuales.

Algunos casos a mencionar en barcos de propulsión completamente eléctrica son pruebas de Tesla Ships en transporte de carga de 280 contenedores y el ferry Danfoss Edition que transporta 300 pasajeros y 80 autos en viajes de 1,15 millas.

Otro desarrollo es el barco de paseo X-Shore de Suecia, para cuatro pasajeros, con autonomía de 185 Km y velocidad máxima de 40 nudos, motor de 120 KW, con una autonomía de 2 horas a la velocidad de crucero de 25 nudos, con un costo del orden de 300.000 euros.

Para trabajos portuarios, un ejemplo de barco eléctrico es ZEN PRO 580, probado en puertos de Francia. Puede transportar 8 personas o empujar barcos de 20 toneladas, motor de 60 KW, autonomía máxima de 15 horas, velocidad máxima de 25 nudos. Sin embargo, la autonomía depende de la velocidad, a 3 nudos tiene autonomía de 13 horas, pero a 13 nudos tiene autonomía de 2 horas. Permite carga lenta de batería en 10 horas con una potencia de 3 KW y carga rápida con potencia de 50 KW en 40 minutos para el 80% de la carga. Tiene un costo del orden de 100.000 euros.

El desarrollo actual de barcos eléctricos es de unidades pequeñas para distancias cortas. Mientras no haya una reducción sustantiva del precio de las baterías, estos barcos no serán competitivos en el mercado.

2.8 Minería Eléctrica.

Aunque la minería no constituye un “modo de transporte” como los analizados en los párrafos anteriores, dada su importancia en la economía del país y las mayores exigencias ambientales sobre las actividades productivas a nivel mundial, una consideración sobre el impacto de la movilidad eléctrica en la minería y sus perspectivas se hace necesaria.

La minería está especialmente afectada por el cambio de paradigma, ya que históricamente la mayor parte de los transportes en una operación minera han sido propulsados por motores de combustión interna usando diésel. En una mina de tajo abierto el impacto negativo de las emisiones de estos vehículos tradicionales puede no ser significativo. Sin embargo, en una mina

subterránea, la ventilación puede llegar a representar entre el 25% y el 40% de los costos de energía eléctrica de la operación. Los motores de combustión interna emiten gases que contienen una serie de contaminantes como hidrocarburos sin quemar, monóxido de carbono, óxidos nitrosos y partículas de diésel sumado a la gran cantidad de calor producido. Todos estos elementos aumentan la demanda de aire fresco y templado para mantener un ambiente de trabajo adecuado para los operadores y los equipos, significando un alto impacto en costos.

Esta situación empeoraría si las normas de emisiones y de seguridad se hicieran más exigentes. Las regulaciones sobre niveles admisibles de contaminantes se han vuelto más estrictas en la última década y es probable que esta tendencia continúe. Al mismo tiempo, luego de agotar las reservas de minerales más superficiales, las nuevas minas han ido migrando hacia yacimientos más profundos, aumentando el gasto energético requerido para la ventilación.

Se debe también considerar que el mercado valora el “cobre verde”, aquel producido con bajas en emisiones de CO₂ y bajo impacto ambiental.

Chile, siendo uno de los países con mayor minería de cobre del mundo, es un laboratorio natural tanto para el desarrollo como el escalamiento de las aplicaciones de electromovilidad para la minería.

Una de las líneas de interés podría ser el desarrollo de equipos específicos a partir de tecnología híbrida existente (vehículos pesados con tracción eléctrica, pero con planta de potencia diésel, usada en muchos de los equipos mineros) y pasarla a 100% eléctrica mediante baterías de litio de última generación.

En esta línea en la División El Tendiente de Codelco ha tomado la delantera a nivel mundial presentando en abril de 2019 su nueva flota eléctrica, en el marco de su estrategia de sustentabilidad, que considera la descarbonización de sus operaciones. Dentro de esta flota destacó el debut del LHD híbrido desarrollado por la empresa Komatsu, que operó industrialmente por primera vez de manera 100% eléctrica, sin caja de cambios, filtros, ni accionamientos mecánicos y utilizando diésel únicamente para la generación de energía motriz. Se espera que esta innovación aumente la productividad de dichos equipos entre un 10% y un 20%, usándose industrialmente por primera vez en Codelco El Teniente, para luego iniciar su comercialización al resto de la industria a nivel internacional.

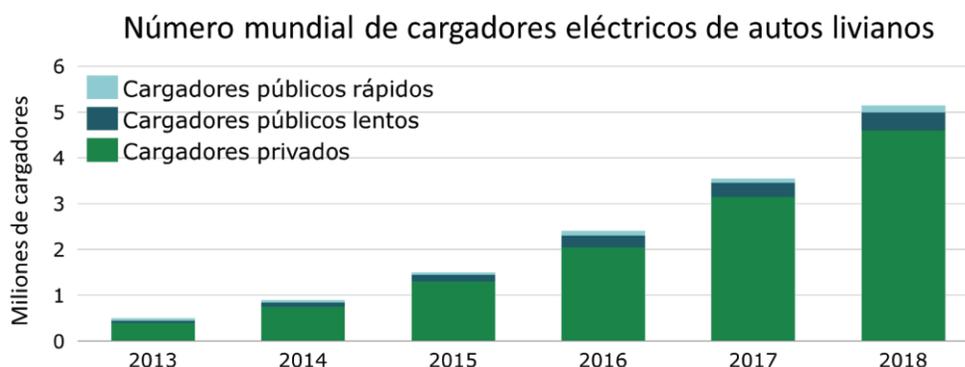
En otra línea de investigación, existen aplicaciones para la introducción de camiones con celda de hidrógeno en la minería que podrían satisfacer los requerimientos ambientales con las necesidades de prestaciones de alta potencia y carga y los tiempos de respuesta necesarios para una producción continua, gracias a la densidad energética del hidrógeno y la posibilidad de recarga rápida²³.

2.9 Infraestructura de Carga Eléctrica (Alimentadores de energía).

Se estima que a fines de 2018 había 5,2 millones de puntos de carga para autos eléctricos de pasajeros, a nivel mundial; un aumento de 44% respecto a 2017. El 90% de estos puntos son privados y solo 144 mil (2,8%) son cargadores públicos rápidos y ultra rápidos (>50 kW y >150 kW respectivamente) y 395 mil (7,7%) cargadores públicos lentos (<22kW).

²³ Cfr. Corfo, Comité Solar e Innovación Energética; Propuesta de Estrategia para el Desarrollo del Mercado de Hidrógeno Verde en Chile (preparado por CDT InData SpA); página 71.

Gráfico 2. Número de cargadores eléctricos de autos livianos



Fuente: Agencia Internacional de Energía, Global Electric Vehicle Outlook, 2019, página 3924.

El número mundial de cargadores públicos por auto eléctrico disminuyó desde 0,14 en 2017 a 0,11 en 2018. La relación se mantiene por sobre la recomendación de la Unión Europea correspondiente a 1 cargador por cada 10 autos eléctricos.

En 2019, Chile lidera la región con 143 cargadores públicos y la red de cargadores rápidos más grande de Sudamérica con 23 puntos de carga país, inaugurada por Copec a comienzos de 2019. El Ministerio de Energía de Chile ha publicado la aplicación EcoCarga con un mapa de todos los puntos de carga del país²⁵.

²⁴ <https://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/>

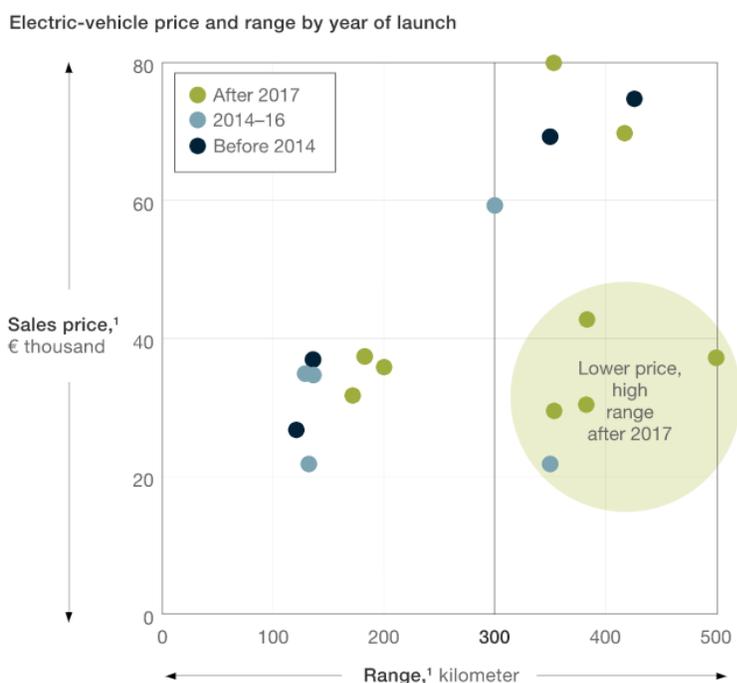
²⁵ <http://energia.gob.cl/electromovilidad/ecocarga>

3. DESARROLLOS TECNOLÓGICOS ASOCIADOS A ELECTROMOVILIDAD: VEHÍCULOS

La discusión sobre la capacidad de los autos eléctricos de pasajeros para reemplazar a sus homólogos de combustión interna tiende a focalizarse en 2 temáticas: autonomía y precio. Sin embargo, un análisis de los avances tecnológicos recientes y las tendencias de los últimos modelos da luces de que la autonomía es un tema resuelto, que permitiría un cambio de foco de desarrollo de los fabricantes hacia una disminución de precios.

Un análisis de McKinsey sobre los precios y rango de autonomía de vehículos eléctricos muestra cómo, una vez alcanzados los 300 km recorridos con una carga, los fabricantes se han concentrado en lograr segmentos de menor precio, manteniendo la autonomía (McKinsey, 2018). Este cambio de foco abre la puerta hacia la maduración de la tecnología, que dejó de ser una prueba de concepto. Ahora se buscan mejoras en la eficiencia de los diseños y reducción de los costos de producción para hacer los EV más accesibles a un público mayor.

Gráfico 3. Comparación de precio y autonomía por año de lanzamiento.



¹Range according to Environmental Protection Agency. Where EPA data not available, New European Driving Cycle or OEM data was used; sales price based on German market OEM data.

Fuente: McKinsey. Center for Future Mobility²⁶.

Uno de los grandes desarrollos ha sido el cambio de paradigma que lleva al diseño de vehículos alrededor de las baterías y no a la adaptación de un diseño originalmente pensado para un motor a combustión. Estos autos eléctricos “nativos” pueden acomodar baterías repartidas en toda la parte inferior del vehículo, mejorando su centro de gravedad, o posicionar el motor en la parte

²⁶ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/what-a-teardown-of-the-latest-electric-vehicles-reveals-about-the-future-of-mass-market-evs/de-de>

posterior. Esta flexibilidad de diseño ha permitido la disminución en número de piezas y peso en cables; al comparar el modelo Nissan LEAF 2011 y 2017 se aprecia un 54% menos de peso en cables y un 33% menos de piezas en su tren de potencia.

Además de la integración física de los componentes de un vehículo eléctrico, otra tendencia se da hacia la integración de los sistemas de control. Por su naturaleza, los vehículos eléctricos poseen estructuras electromecánicas complejas, compuestas por un sistema de almacenamiento de energía, un motor y componentes electrónicos y sensores. Un sistema de control integrado permite tomar en cuenta las condiciones de manejo (aceleración, frenado, velocidad, etc.) y el estado de carga de las baterías para elegir una estrategia de descarga (para entregar energía al motor) o carga (mediante regeneración de frenadas o conexión a red eléctrica) óptima. A pesar de que varios fabricantes han incurrido en esta consolidación, otros todavía dependen de varios sistemas independientes.

Los sistemas de gestión de baterías (Battery Management Systems/BMS) también han permitido mejorar su vida útil y desempeño. Los BMS son desarrollados por los fabricantes de baterías o de automóviles y representan un aspecto diferenciador tecnológico.

Las baterías también constituyen un aspecto diferenciador en el panorama competitivo, tanto por sus prestaciones tecnológicas (peso / capacidad / vida útil en ciclos / relación peso-potencia) como por su disponibilidad de fabricación en grandes volúmenes.

Se deben mencionar los múltiples anuncios de baterías revolucionarias que prometen multiplicar la densidad. Sin embargo, el mercado sigue siendo dominado por baterías de litio en sus diversas formas.

Los sistemas de carga rápida también incorporan tecnologías habilitantes para la electromovilidad porque permite a los VE recorrer largas distancias.

4. LOGÍSTICA, SISTEMAS DE CARGA, GESTIÓN DE RED ELÉCTRICA

El crecimiento exponencial del mercado de los vehículos eléctricos y sus proyecciones, en el mediano y largo plazo, traen consigo un aumento en la capacidad de almacenamiento energético que superaría la capacidad de almacenamiento de baterías fijas en más del 50% al 2050 (IRENA, 2019²⁷). Este panorama conlleva oportunidades y desafíos para la red eléctrica chilena que, de manera paralela, está experimentando cambios relevantes en su matriz, con las energías renovables no convencionales superando el 18% de la generación en el mes de noviembre 2019, y agregando variabilidades importantes en los precios spot, por la intermitencia implícita de las fuentes eólicas y por la estacionalidad horaria de las fuentes solares.

En este contexto, se ha desarrollado la tecnología de recarga inteligente o Smart Charging que permite adaptar los ciclos de carga de las baterías de vehículos eléctricos a las condiciones de la red eléctrica y la necesidad de los conductores. Las capacidades de procesamiento y entrega de información de los vehículos eléctricos permiten considerar restricciones técnicas y de mercado (precio). En su forma más simple, la recarga inteligente diferencia entre horarios punta y valle para disminuir el costo de cargar la batería. Formas más sofisticadas pueden considerar análisis de patrones de uso para cargas rápidas sub-máximas (80% de carga), suplementación de potencia para casas (disminución de cobros por concepto de potencia) o venta de servicios complementarios que se encargan de arreglar situaciones no deseadas que pongan en riesgo la correcta operación del sistema. La situación más frecuente que afecta a la red eléctrica y que ocurre segundo a segundo, es el desafío de que la generación esté siempre al mismo nivel de la carga que suministra, la cual presenta perfiles similares en el tiempo, pero está determinada en su mayoría por una gran aleatoriedad, generando una demanda de carga difícil de seguir para un respectivo nivel de generación. Esto produce una diferencia entre ambos niveles comúnmente conocida como desbalance que debe ser equilibrado por algún servicio complementario.

4.1 Consumo de energía y demanda punta.

Varios estudios han concluido que el aumento de la demanda energética por efecto de los EV es marginal (Eurelectric, 2015; BoA/ML, 2018; Schucht, 2017). Sin embargo, el impacto en las puntas de demanda puede ser significativo. En un escenario con 10 millones de autos eléctricos en el Reino Unido al 2035, la punta de demanda aumentaría 3 GW, equivalente a un tercio del consumo de Chile, pero éste se reduciría a 0,5 GW al utilizar tecnologías de carga inteligente²⁸ (AER, 2018).

A pesar de la posibilidad de mitigación de los efectos de los vehículos eléctricos en el consumo de energía y demanda punta mediante la utilización de la carga inteligente, es necesario destacar el efecto local de los cargadores de acceso público que privilegian sistema de carga rápida y ultra-rápida que no dejan las baterías conectadas al sistema el tiempo suficiente como para entregar la flexibilidad necesaria para la recarga inteligente. El impacto en la red de los sistemas de carga rápida y ultra-rápida debe ser mitigado mediante la regulación de los puntos de instalación permitidos, privilegiando zonas de líneas de transmisión con baja congestión²⁹.

²⁷ IRENA, 2019: INNOVATION OUTLOOK SMART CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLES

https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Innovation_Outlook_EV_smart_charging_2019.pdf?l a=en&hash=CC1035D2E5A36AE98BA860005233D3EF5A80E6E8.

²⁸ AER, 2018. The e-mobility revolution: impact of electric vehicles on the GB power system and emerging utility business models.

²⁹ Para el análisis anterior, ver, por ejemplo: BoA/ML, 2018a. From pump to plug: EV charging in cities – Major opportunity; major challenge. Bank of America Merrill Lynch; Eurelectric, 2015. Smart charging: steering the charge, driving the change. Eurelectric, Brussels; Schucht, B., 2017. “The development of e-mobility from the perspective of a German TSO”.

5. BENEFICIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

La movilidad eléctrica implica cambios importantes en la provisión de servicios de transporte. Adicionalmente, se esperan otras modificaciones en estos servicios, tales como la movilidad compartida y los vehículos autónomos, algunas de las cuales ya están ocurriendo en forma importante. La conjunción de estas tendencias implicará transformaciones profundas en la movilidad futura.

5.1 Beneficios ambientales³⁰.

La dimensión ambiental se muestra como el espacio donde los beneficios de la movilidad eléctrica aparecen más claros. La eliminación de las emisiones por tubo de escape significará un alivio para las ciudades que, como Santiago, padecen niveles altos de contaminación atmosférica. Las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado, constituyen un problema ambiental serio y una amenaza a la salud de la población expuesta. Por esta causa, el transporte terrestre es responsable de más de tres millones de muertes prematuras al año (OECD, 2016; OMS, 2016) en el mundo y, en Chile, de al menos unas dos mil (La Tercera, 15 de febrero de 2017). Por ello, la transición hacia una movilidad eléctrica conlleva la promesa de una disminución sustantiva de emisiones de contaminantes locales y, con ello, un mejoramiento importante de la calidad del aire en las ciudades.

En el caso de la región Metropolitana, el transporte aporta 2.398 toneladas de material particulado fino al año, más de 39 mil toneladas de óxidos de nitrógeno y más de 14 mil toneladas de hidrocarburos totales. A lo anterior se añaden 125 mil de toneladas de monóxido de carbono y 10 millones de toneladas de dióxido de carbono. Una transformación hipotética de la totalidad del parque vehicular a movilidad eléctrica significaría la eliminación de las emisiones, por tubo de escape, de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos totales³¹. En el caso del material particulado, habrá una reducción significativa de emisiones, pero el desgaste de neumáticos y frenos seguirá aportando a la contaminación y serán necesarias otras soluciones para disminuir la contaminación por estos procesos.

Tabla 3 Inventario de Emisiones Región Metropolitana, sector transportes, 2014.

Contaminante	MP 2,5	NOx	Hct	CO	CO2
Emisión	2.398	9.356	14.146	125.727	10.401.297
% del total de la región	40,9	76,6	93,4	81,2	79,2

Cifras en toneladas por año.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, USACH, Inventario de Emisiones Región Metropolitana, 2014. Estudio "Actualización y Sistematización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana", página 37.

³⁰ La fabricación y operación de vehículos eléctricos no está exenta de impactos ambientales. El mayor uso de cobre, cobalto y litio en sistemas eléctricos del vehículo y en baterías, implica impactos aguas arriba en la extracción y refinación de dichos metales. El análisis de estos impactos escapa al alcance de este informe. Con todo, la comparación de emisiones de CO2 entre EV e ICE (nota 33) incluye la fabricación y la operación (con factores de emisión de CO2 para la generación de electricidad igual al promedio mundial), de modo que, indirectamente, las emisiones de la fabricación de los materiales utilizados en los vehículos ya están incluidas, así como las emisiones debidas a la extracción y refinación de petróleo y el transporte de combustibles líquidos.

³¹ No considera las emisiones durante la fabricación de los vehículos, solo en su operación.

El otro aspecto interesante es la eliminación de emisiones de dióxido de carbono que, si bien no es contaminante a nivel local, constituye el gas principal que contribuye al calentamiento de la atmósfera. En un contexto donde Chile ha anunciado la neutralidad en emisiones de carbono para la mitad del siglo, una pieza fundamental para la estrategia que permita cumplir esta meta la constituye la adopción de movilidad eléctrica, acoplada con una descarbonización de la matriz eléctrica.

Considerando la generación de electricidad, las perspectivas son prometedoras ya que Chile ha logrado cumplir con la meta de 20% de generación con energías renovables no convencionales en 2019, anticipándose en 6 años al requerimiento del legislador, principalmente por los desarrollos recientes de energía solar y eólica³². Esta generación, junto con la hidráulica tradicional, aseguran hoy casi un 50% de producción de electricidad con emisiones muy bajas o nulas de gases de efecto invernadero. La continuación de esta tendencia con la disminución progresiva de los costos de las tecnologías solar y eólica, más otras emergentes como la energía solar de concentración, junto con las mejoras en capacidad de almacenamiento de energía y la reducción de sus costos, hacen pensar en un futuro donde la necesidad de centrales térmicas convencionales se reduzca a un mínimo, básicamente por el requerimiento de unidades flexibles (gas natural) que apoyen la generación variable de las tecnologías solar y eólica.

De este modo, es posible pensar en una movilidad eléctrica alimentada con generación prácticamente libre de emisiones de gases de efecto invernadero, con el beneficio ambiental que esto implica.

En términos mundiales, la adopción de EV implica reducción en la demanda de petróleo entre 127 y 215 millones de toneladas equivalentes (Mtoe) (entre 2,5 y 4,3 millones de barriles por día), dependiendo de la tasa de adopción. Considerando un análisis de ciclo de vida (well-to-wheel), con el promedio de emisión mundial de las redes eléctricas (518 grCO₂/kWh), los EV emiten menos que sus contrapartes ICE. En un escenario de adopción acelerada con una descarbonización importante de la generación eléctrica, el parque de vehículos eléctricos emitiría, al 2030, 230 millones de toneladas de CO₂-eq. vs 770 millones si la misma flota se basará en vehículos ICE³³.

De todos modos, **es fundamental asegurar que la electricidad se produzca con emisiones bajas o nulas de contaminantes** pues, en caso contrario, más que una ganancia ambiental se tiene una transferencia geográfica de contaminantes desde las ciudades a las zonas de generación.

5.2 Beneficios económicos

La movilidad eléctrica genera requerimientos distintos a los que actualmente produce la fabricación de vehículos de combustión interna, particularmente en la demanda de cobre, cobalto y litio. Chile es productor importante de dos de estos metales y tiene potencial para el tercero. En ese sentido, la movilidad eléctrica significa una posibilidad de demanda adicional por estas materias primas lo que implicaría mayor ingreso de divisas para el país.

La mayor demanda por estos metales estará dada por el crecimiento del parque de vehículos eléctricos a nivel mundial. De acuerdo a las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía, se prevé que para 2030, existirán 130 millones de EV con ventas anuales por 23 millones de unidades

³² Ver, por ejemplo: http://www.revistaei.cl/2020/01/22/radiografia-energias-renovables-cierran-2019-buscando-llegar-a-10-000-mw-de-capacidad-instalada/?utm_source=Newsletter+Grupo+Editorial+EDITEC&utm_campaign=f36f655dbc-EMAIL_CAMPAIGN_2020_01_23_10_41&utm_medium=email&utm_term=0_24864427d2-f36f655dbc-62649749

³³ Agencia Internacional de Energía; Global EV Outlook 2019; página 19. IEA, Clean Energy Ministerial; Electric Vehicle Initiative; París; 2019. La comparación considera la construcción y la operación del vehículo para 150.000 kilómetros. El factor de emisión para el Sistema Eléctrico Nacional es menor que el mundial con 406 grCO₂/kWh en 2019; ref: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>. Eso hace la comparación más ventajosa en el caso de Chile.

en un escenario con las políticas actualmente vigentes y, en un escenario impulsado por políticas proactivas, con una meta de 30% de penetración de EV en ese año, esas cifras podrían llegar a 250 millones de EV y ventas anuales de 43 millones de unidades.

En el caso del litio, se estima que la demanda aumentará a 155.000 toneladas por año, considerando que actualmente se producen unas 50.000³⁴.

Una adopción masiva de vehículos eléctricos implicará una sustitución de combustibles, desde derivados de petróleo a electricidad. La condición de país importador de petróleo implica para Chile una carga importante en su balanza de pagos. La conversión de un 25% del parque automotor actual a gasolina en vehículos eléctricos implicaría una reducción del consumo del orden de un 1.200.000 m³ de este combustible, como escenario conservador³⁵. De acuerdo al Ministerio de Energía, la conversión de un 40% del parque al 2050, implicaría un ahorro de 3.300 millones de dólares en divisas por menor importación de combustibles fósiles³⁶.

El Foro Internacional de Transporte entregó recientemente un estudio en que analiza costos y beneficios de cambiar un sistema de entrega del servicio de Correos de Corea, desde motocicletas a vehículos eléctricos pequeños. De acuerdo al estudio, los beneficios del uso de EV para esta sustitución sobrepasan a los costos en 243%. Los mayores costos de la transformación se incurren en la inversión y operación de los EV (comparados con motocicletas). Los ahorros se verifican en menores distancias tiempos de viaje lo que implica reducción del gasto energético (y menores emisiones de CO₂ y contaminantes locales), menores accidentes y muertes, disminución de ruido y menores costos de personal³⁷.

³⁴ AIE; Global Electric Vehicle Outlook 2019, página 21.

³⁵ Supone un 25% de conversión del parque actual, un consumo promedio de 12 km/lt por vehículo y un recorrido anual de 18.000 km promedio por vehículo. Basado en CNE, "Informe Estadístico de Combustibles 2018", página 12. Disponible en www.cne.cl/estadisticas/hidrocarburo

³⁶ Ver sección 10.2

³⁷ Cfr. ITF (2019), Electrifying Postal Delivery Vehicles in Korea, International Transport Forum Policy Papers N° 73, OECD publishing, Paris.

6. EXTERNALIDADES DEL USO DEL AUTOMÓVIL

La adopción de la movilidad eléctrica traerá beneficios económicos, sociales y ambientales, como se indicó en la sección anterior. Sin embargo, la movilidad eléctrica no constituye la panacea para todos los problemas generados por el sistema de movilidad actual. Por ello, se hace necesario conocer bien cuáles son las externalidades de modo que la promoción de la movilidad eléctrica no incremente efectos nocivos que una movilidad, con acento en el uso privado de automóviles, produce en la sociedad.

El uso de automóviles genera un conjunto importante de externalidades negativas que afectan la vida y el bienestar de las personas. Ellas son: Congestión vehicular, Contaminación atmosférica, Contaminación acústica, Emisión de gases de efecto invernadero, Accidentes y muertes y Ocupación del espacio público.

La congestión vehicular es la única externalidad cuyos efectos recaen exclusivamente en quienes la provocan. En el caso de las restantes, aparte de los agentes, otros miembros de la comunidad padecen los efectos del uso de vehículos.

Dependiendo del tipo de externalidad, el usuario de transporte, sea público o privado, generalmente no paga por ellas, las que son traspasadas al conjunto de la sociedad. Sin embargo, en muchas localidades o países, se han adoptado medidas para reducir o eliminar el efecto de las mismas, o bien, para gravar en alguna medida a quien las provoca. El cuadro a continuación resume el tipo de medidas.

Tabla 4 Externalidades del uso de vehículos y medidas para su gestión.

Tipo de externalidad	Medida
Congestión	Restricción parcial a la circulación. Pago por transitar en sectores definidos. Vías reversibles.
Contaminación atmosférica	Restricción parcial o total a la circulación, por barrios o ciudades. Revisión técnica y de gases. Normas de emisión. Impuestos a las emisiones. Multas.
Contaminación acústica	Multas.
Emisión de gases de efecto invernadero	Normas de emisión. Vehículos de cero o baja emisión, incluyendo eléctricos .
Accidentes y muertes	Normas de seguridad para vehículos. Exámenes para conducir. Revisión técnica. Prohibición de conducción bajo efectos del alcohol. Sanciones civiles y penales por infracciones. Reductores de velocidad ("lomos de toro"). Límites de velocidad. Educación vial. Reglas para uso del espacio vial (semáforos, cruces, señalética). Dispositivos físicos (ej. pasarelas, barreras). Visión "Cero Muertes" ³⁸ .
Ocupación del espacio público	Zonificación del espacio público (zonas para vehículos motorizados, no motorizados, peatones). Restricciones al uso del espacio. Estacionamientos pagados. Prohibición de estacionar en superficie. Normas de construcción con disposiciones para estacionamiento. Multas.

Fuente: Elaboración propia.

³⁸ Cfr. FIT (2017); Cero Muertes y Lesiones de Gravedad por Accidentes de Tránsito: Liderar un Cambio de Paradigma hacia un Sistema Seguro; Ediciones OCDE, París.

7. INCENTIVOS

7.1 Contexto general.

Las políticas de promoción se constituyen en aspectos claves para la adopción acelerada de vehículos eléctricos, en particular, para hacer frente a las barreras que impiden una penetración mayor, principalmente, la brecha de precios entre ICE y EV equivalentes y los requerimientos de infraestructura de carga.

Las políticas de promoción incluyen instrumentos de diversa índole, tales como mandatos y metas sobre composición de flotas, estándares de emisiones para vehículos y flotas, incentivos económicos (impuestos o subsidios), facilidades para uso de vehículos (ej. accesos preferenciales, estacionamientos gratis, liberación de ciertas restricciones), obligaciones para habilitar puntos de carga, etc. Los tipos de incentivos utilizados se listan a continuación³⁹:

- Regulaciones sobre emisiones de flotas o vehículos.
- Metas sobre participación de EV en parque vehicular.
- Metas de producción de EV (en países fabricantes de vehículos).
- Impuestos a las emisiones por vehículo de contaminantes locales y/o gases de efecto invernadero.
- Restricciones totales o parciales para la circulación de ICE en algunas ciudades.
- Liberación de restricciones para EV que sí afectan a ICE (ej. restricción vehicular por contaminación).
- Subsidios parciales a la adquisición de EV.
- Subsidios de políticas industriales dirigidos a fabricantes en la cadena de valor.
- Restricciones de inversión en plantas de fabricación de ICE.
- Facilidades para circulación de EV (estacionamientos, zonas restringidas a otros vehículos).
- Obligaciones de provisión de puntos de carga (ej. códigos de construcción para edificios).
- Estándares para hardware de carga.
- Medidas para integración de EV con redes eléctricas incluyendo servicios de estabilización.
- Políticas para estimular la producción de baterías con reducciones de costos.

En general, lo más importante para acelerar la adopción de vehículos eléctricos es el establecimiento de una visión a nivel de país, que defina metas de mediano y largo plazo y una estrategia para alcanzar dichas metas.

Como se indicó, lo ideal es colocar el instrumento lo más cerca de la externalidad positiva que se quiere promover o de la externalidad negativa que se desea desincentivar. Por ello, en el diseño de incentivos se deben tomar en cuenta efectos colaterales de los mismos que podrían ser indeseables. Considerando la variedad de externalidades negativas que producen los vehículos, particularmente los privados (congestión, contaminación, accidentes, ruido, uso excesivo del espacio público), un incentivo mal diseñado puede ayudar a disminuir una externalidad negativa, pero contribuir a aumentar otra (ej. el reemplazo de autos ICE por EV no solucionará por sí solo los problemas de congestión, seguridad vial y uso del espacio público). Los incentivos deben mirar la

³⁹ Ver, por ejemplo: de “Electromovilidad, Proyecciones y Propuestas para Avanzar”; Agencia de Sostenibilidad Energética, 2018. Páginas 18, 45

movilidad en su conjunto y no solamente el reemplazo de una tecnología por otra. Adicionalmente, es importante diseñar los incentivos, particularmente los subsidios, con calendarios claros que fijen las condiciones de eliminación de los mismos cuando los objetivos por los cuales se crearon hayan sido alcanzados. En el mismo sentido, las autoridades deben monitorear la brecha de precios entre vehículos EV e ICE de manera que no se subsidie la compra de vehículos eléctricos que estén casi a la par de sus equivalentes a combustión interna. Finalmente, es fundamental considerar elementos distributivos en el diseño de incentivos de modo que el beneficio de los mismos llegue, directa o indirectamente, a la mayor parte de la población y no sea capturado por un subconjunto, particularmente por grupos más acomodados o que no lo necesitan (adicionalidad del incentivo).

La promoción de la movilidad eléctrica obedece principalmente a la disminución de contaminación atmosférica y de gases de efecto invernadero. Por ello, se considera un error el uso de incentivos que no se hacen cargo de otras externalidades asociadas al uso de vehículos y que, incluso, podrían verse agravadas con la promoción de la movilidad eléctrica. Por ejemplo, la gratuidad de estacionamientos para vehículos eléctricos, si bien promueve y facilita su uso en comparación a los de combustión interna, no resuelve los problemas de congestión, seguridad vial ni uso del espacio público asociado a los vehículos y no parece una forma adecuada de promover el transporte público. Otro ejemplo se relaciona con la promoción de vehículos de dos ruedas basados en energía eléctrica (bicicletas y monopatines) que, sin una regulación específica, pueden alcanzar velocidades relativamente altas y aumentar los casos de accidentes y muertes, como ya ha sido reportado en varias ciudades a nivel global.

El caso particular de subsidios a la compra de vehículos debe estudiarse en forma rigurosa, ya que, en el caso específico de la adquisición de vehículos, este tipo de instrumentos es claramente regresivo y favorece a segmentos de la población que tiene recursos para financiar medios de transporte. Si los subsidios están orientados a bienes de uso público o masivo, pueden tener mayor aceptación que cuando favorecen la adquisición de bienes privados. Este tipo de subsidios puede tener un costo alto para los gobiernos, por lo cual es importante evaluar su aplicación en comparación con los beneficios económicos que conlleva para la sociedad implementarlos (ej. menores costos en salud por disminución de contaminación atmosférica).

Por lo anterior, con miras a promover la movilidad eléctrica, los instrumentos de promoción deben centrarse con prioridad en los atributos buscados en esta forma de energizar el transporte, básicamente reducción de la contaminación atmosférica y de emisión de gases de efecto invernadero. Por ello, gravámenes sobre la contaminación aparecen como instrumentos más apropiados que otros incentivos ya que apuntan al atributo específico que resuelve la movilidad eléctrica.

7.2 Regulación, incentivos, normas y leyes

Los gobiernos, en particular los más exitosos en la introducción de la movilidad eléctrica, han justificado las políticas de promoción de vehículos eléctricos por sus beneficios ambientales y por el mayor precio al consumidor de un EV comparado con su equivalente ICE. En algunos casos, los incentivos también apuntan al desarrollo de la industria. La mayor parte se refiere a incentivos de tipo financiero asociados a rebajas o exenciones de impuestos o cobros diferenciados por posesión o circulación de vehículos. Otros incentivos se asocian a la facilitación del uso de infraestructura.

Como se indicó en el capítulo sobre externalidades, son muchos los efectos que la circulación masiva de vehículos produce en una ciudad. Por ello, se recomienda un cuidado especial en el diseño e implantación de estos instrumentos, para no caer en propuestas socialmente regresivas,

cuidar las arcas fiscales (en general, ya bastante estrechas para financiar otros proyectos de utilidad pública⁴⁰), evitar la transferencia de otros problemas desde una tecnología antigua a una nueva y, sobre todo, buscar la mejora del transporte, la movilidad y el acceso en general por sobre soluciones particulares.

En relación a estos incentivos, se deben tener en cuenta algunas consideraciones.

En el caso de reducción de impuestos, se debe considerar su impacto en la recaudación fiscal. Idealmente, los gobiernos pueden diseñar modificaciones en otros impuestos para que el efecto global de las reformas sea, al menos, neutro desde el punto de vista fiscal.

En cuanto a las facilidades para las empresas, se deben evitar incentivos perversos para un aumento excesivo del uso de vehículos. Al menos en los casos de vehículos ICE con beneficios tributarios para empresas, la evidencia muestra que el incentivo se traduce en un número mayor de kilómetros recorridos, comparado con el caso en que el usuario paga todos los costos.

En el caso de reducción de precio de electricidad, también se puede producir un perjuicio fiscal al disminuir la venta de combustibles, los que suelen tener gravámenes altos. Es importante fiscalizar que el beneficio se aplique solamente al consumo para uso en transporte y no se desvíe para otras aplicaciones (por ejemplo, diferenciar el consumo en el hogar para carga del vehículo de otros consumos).

En el caso de facilidades para la circulación (uso de vías exclusivas, estacionamientos gratis, acceso a zonas con restricción de circulación), se debe tener en cuenta que el EV genera las mismas externalidades en términos de congestión, seguridad vial y uso del espacio que un similar ICE. Por lo tanto, esta Comisión no recomienda el uso de estos incentivos, que solo trasladan un problema desde un lugar (ICE) a otro (EV), salvo que se justifiquen por un tiempo de aplicación acotado y en forma tal que las distorsiones que generen sean mínimas.

7.3 Políticas para la incorporación de la movilidad eléctrica y servicios afines.

En esta sección se presentan políticas públicas que ayudarían a acelerar la incorporación de la electromovilidad al país y que han sido implementadas por los países líderes en este ámbito, como China, Unión Europea y Estados Unidos de Norteamérica. Finalmente, se analizan brevemente acciones adoptadas por China para obtener beneficios del mercado asociado a la producción de vehículos eléctricos y se desarrollan algunos aspectos que se deben abordar para que Chile obtenga beneficios asociados a dicha producción.

7.3.1 Acciones propuestas para masificar la electromovilidad en Chile

Un común denominador a todos los países estudiados muestra que el desarrollo de las políticas públicas se ha dado a través del trabajo cooperativo entre los Estados, los centros de investigación, universidades y líderes de la industria.

Entre las tareas a desarrollar se encuentran:

Desarrollar normas técnicas

Desarrollar normas técnicas y definir aspectos necesarios para impulsar políticas públicas (vehículos de bajas o cero emisiones; vehículos pesados limpios, de acuerdo con el combustible

⁴⁰ Al momento de finalizar este informe, se produjo la pandemia de Corona Virus. Las medidas de confinamiento producen una contracción significativa de la actividad económica. El gobierno ha anunciado un paquete de medidas importante para promover la recuperación económica. Por una parte, esta situación restringirá la posibilidad de asignar incentivos económicos directos a la promoción de la movilidad eléctrica. Por otra parte, un diseño de detalla de incentivos para recuperación económica puede incluir sectores emergentes con potencialidad de desarrollo de largo plazo, incluyendo la movilidad eléctrica, como medida de recuperación.

alternativo, etc.). A modo de ejemplo, para ser calificado como vehículo ligero limpio en la Unión Europea, a partir del 1 de enero de 2026 el vehículo deberá emitir cero gCO₂/km recorrido. En este aspecto Chile debe aprovechar el camino ya recorrido por los países que llevan el liderazgo.

Romper la inercia.

A pesar de existir consenso sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos de liderar la electromovilidad, la incorporación de dicha tecnología en los países se encuentra con barreras de entrada. Una de estas ha sido la inexistencia de la red para suministrar electricidad a los vehículos eléctricos que ingresen al parque automotor. La habilitación de una electrolinería tiene un costo alto y existen pocos clientes. Por su parte, la falta de electrolinerías genera un desincentivo a comprar vehículos eléctricos. Para romper esta barrera se considera necesario analizar distintas herramientas de política pública. En este documento se priorizan aquellas que minimicen el aumento del gasto por parte del Estado dada la situación país. Para ello se propone aumentar los puntos de abastecimiento⁴¹. En ese sentido se recomienda priorizar las ciudades con mayor población o contaminación. Por eficiencia, debieran estar asociados a grandes estacionamientos (aeropuertos, centros comerciales, estacionamientos colectivos en edificios de residencia o comerciales). Se recomienda evaluar que en el futuro la posibilidad de recarga inalámbrica.

Tomando en cuenta la legislación chilena y las medidas adoptadas en los países estudiados se propone:

- Definir **metas de penetración de electromovilidad en los Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica** (como porcentaje de los autos que se incorporen al parque).
- Definidas dichas metas, se propone **incorporar en los planes reguladores que toda edificación residencial y comercial incluya el equivalente, al menos, de 10% de puntos de recarga de los autos eléctricos proyectados**. Sería recomendable que dichos puntos consideren espacio suficiente para incorporar de manera posterior baterías de almacenamiento de energía.
- Desarrollar **Planes de Movilidad Urbana Sostenible**, en los que se establezca la forma de relación entre los distintos modos de transporte y la coordinación de la entrega de mercancías y sistemas de transporte inteligentes. Estos planes debieran fomentar el uso de la electromovilidad por sus claras ventajas ambientales.
- **Financiar la habilitación de electrolinerías de libre acceso (electrolinerías “rápidas”) por medio de mecanismo de compensación de emisiones** en los Planes de Prevención y Descontaminación atmosférica.
- Favorecer el establecimiento de circuitos cerrados atendidos por vehículos eléctricos pequeños y de fácil acceso al pasajero, que sean de acercamiento a líneas de Metro o buses de la RED, como un mecanismo que disuada al automovilista del uso de su auto privado (por la comodidad de dar unos pocos pasos al salir de su casa u oficina sin necesitar su auto).

Para la incorporación de autos cero emisiones evitando impuestos o subsidios regresivos, se propone:

- **Definir vehículos equivalentes y gravar de manera distinta a la versión eléctrica de la versión convencional**. Un aumento al impuesto de vehículos convencionales generará un incentivo a utilizar el transporte público, así como a la incorporación de vehículos eléctricos. De esta manera se genera financiamiento para descontaminar las ciudades, así como para mejorar el transporte público.

⁴¹ De todos modos, se debe considerar que ha habido un aumento importante de electrolinerías en Chile, principalmente desde el sector privado, contando con más de 150 puntos de carga a fines de 2019.

- **Fomentar electro movilidad en compras y licitaciones públicas:** La experiencia internacional muestra que es más eficiente incorporar en dichos procesos aquellas metas que se hayan definido en instrumentos como los Planes de Prevención y Descontaminación, que incorporar metodologías para que los proponentes internalicen las externalidades asociadas al uso de los vehículos convencionales, estableciendo metas en el porcentaje de vehículos de cero emisiones y de bajas emisiones. En particular, se pueden establecer exigencias en los sistemas de transporte público urbano, transporte de distribución postal, recogida de desperdicios, vehículos de uso oficial. Se recomienda priorizar las zonas que presenten contaminación atmosférica y acústica, para que parte del gasto en que se deba incurrir se financie por los menores efectos en salud debido a las mejores condiciones ambientales.
- **Exigir requisitos similares a operadores de transporte privado** (operadores turísticos, empresas de transporte de pasajeros, flotas de taxis, etc.). Esto se puede lograr exigiendo un porcentaje de la flota con tecnología eléctrica o exigiendo un rendimiento promedio mínimo a toda la flota.

Adecuar regulación en tarifas eléctricas.

Diseñar nuevas tarifas eléctricas reguladas que consideren la posibilidad de que las residencias y lugares comerciales puedan consumir energía para cargar vehículos en horas de baja demanda y puedan inyectar energía en las horas punta⁴². Por otra parte, la experiencia internacional muestra que los usuarios están dispuestos a pagar hasta tres veces el precio de la energía que pagan en su casa, para cargar de manera rápida fuera del hogar. Esta disposición a pagar puede financiar electrolinerías para empresas integradas verticalmente con distribuidoras eléctricas.

Diseñar un plan para la red de distribución necesaria para masificar la electromovilidad.

En China se desarrolló un estudio de la red y se ha propuesto contar con 5 millones de estaciones de carga eléctrica el año 2020. De éstas, el 86% serán privadas y el 14% restante serán en asociación público-privadas.

Otros aspectos/medidas para tener en consideración:

- Contemplar que la red de puntos de carga lenta cuente con medidores inteligentes que permitan que la carga se produzca en momentos de baja demanda eléctrica para ayudar en la estabilidad del sistema eléctrico, posibilitando incluso que los vehículos puedan inyectar energía en los momentos de alta demanda.
- Dado el rol de los gestores de redes de distribución en los puntos de recarga, promover la cooperación, sobre una base no discriminatoria, con empresas integradas verticalmente como con otros propietarios o gestores de puntos de recarga.
- Establecer en concesiones de las autopistas principales una cantidad mínima de estaciones de carga rápida. Diseñar dichas estaciones de acuerdo a las mediciones de flujo de vehículos por las autopistas⁴³.
- Establecer impuestos anuales de acuerdo con las emisiones del vehículo.
- Autorizar a los vehículos eléctricos el acceso a las pistas exclusivas para transporte público. Esta medida se debe aplicar por un tiempo hasta alcanzar un porcentaje de la flota predefinida.
- Desarrollar aplicaciones para mostrar en tiempo real la disponibilidad de infraestructura, como cargadores.

⁴² Ref: Agencia Internacional de Energía; Electric Vehicle Outlook 2019, página 66.; ver también: <https://www.electrive.com/2019/07/10/nissan-launches-first-v2g-charging-system-in-chile/>

⁴³ En Noruega el criterio ha sido dos estaciones de carga rápida cada 50 km. en autopistas.

7.3.2 Otros incentivos no financieros

- Fomentar uso de vehículos de cero emisiones. En China, en los lugares donde se ha congelado el otorgamiento de patentes, la probabilidad de obtener una es del 80% si el auto es cero emisiones, mientras que para un auto convencional es de 0,2%.
- Fomentar la coordinación con actores existentes para introducir electromovilidad, presentando nuevos modelos de negocios que incorporen empresas de leasing y financieras, asociaciones de taxis colectivos, taxis urbanos, empresas de buses, empresas de despacho de mercaderías urbanas y de courier, y empresas mineras que deben avanzar hacia una minería sustentable.

8. ACCIONES PROPUESTAS PARA MAXIMIZAR LA CREACIÓN DE VALOR

China ha definido que quiere ser un actor importante en la fabricación de autos eléctricos a nivel mundial. Para lo anterior ha adoptado diferentes medidas entre las que se encuentran un trabajo colaborativo con Alemania y el establecimiento de exigencias a sus fabricantes de automóviles. Dichos fabricantes deben cumplir con un rendimiento promedio mínimo en los autos que fabrican. Para lograr dicho rendimiento, deben mejorar de manera importante la eficiencia de los vehículos de combustión tradicional, pero deben fabricar, además, autos de cero emisiones para poder alcanzar el promedio exigido.

Chile hoy es un actor relevante en el abastecimiento del litio necesario en la fabricación de las baterías. Sin embargo, presenta dos riesgos relevantes para mantener dicho liderazgo:

- Las legislaciones internacionales están avanzando hacia la exigencia de que los autos eléctricos consideren en su etiquetado no sólo la huella de carbono de toda la línea de producción, sino que indicadores asociados a los impactos ambientales generados durante toda su fabricación.

La extracción de litio en Chile proviene de salmueras ubicadas en Salares Altiplánicos. Dicha salmuera es un depósito mineral, de un origen distinto a las aguas dulces y salobres que se ubican en la periferia del Salar. La extracción de salmuera no disminuye en nada la disponibilidad del recurso hídrico.

A pesar de existir consenso en el mundo científico, la percepción ciudadana frente a una disminución en el recurso hídrico ha tendido a responsabilizar a la industria del litio. En este escenario, empresas desarrolladoras de vehículos eléctricos han comenzado a evaluar la exigencia a sus proveedores de baterías que el litio no provenga de Chile. En ese escenario, es importante que los distintos actores que están interesados en el desarrollo de la industria asociada al litio en el país trabajen de manera conjunta en transmitir la información necesaria para cuantificar el impacto real de la industria del litio.

- Un segundo riesgo se debe a que la fabricación de baterías se puede realizar con carbonato de litio (Li_2CO_3) e hidróxido de litio (LiOH). Se estima que una parte creciente del mercado optará por hidróxido de litio. El hidróxido de litio se fabrica mediante la extracción de litio en roca o a partir de carbonato de litio, mientras que el carbonato de litio se fabrica a partir de salmuera. La fabricación de hidróxido de litio a partir de carbonato de litio no es económicamente rentable. Hoy no existe un proceso a través del cual se pueda obtener hidróxido de litio directamente de salmuera. Si Chile desarrollara un proceso equivalente, lograría generar mucho valor a la producción nacional. Para lograr lo anterior se requerirían recursos y participación de los distintos actores presentes en el país (industria, gobierno, universidades, centros de investigación, etc.)
- Otro elemento local importante de la electromovilidad es el desarrollo de cadenas productivas a través de industrias anexas, incorporando tecnología e ingeniería local, en especial en áreas de software, control y electrónica.
- Áreas de desarrollo local que se pueden implementar son controles de carga de baterías inteligentes manejando oferta y demanda eléctrica, generación y manejo de datos para gestión de flota de buses eléctricos, gestión de operación y carga de vehículos eléctricos en

fábricas y bodegas, mantenimiento predictivo y correctivo de buses y automoviles con desarrollo de software local.

- Otras áreas de potencial desarrollo se presentan en la fabricación de repuestos alternativos, que permitan disponibilidad de stock para su uso en buses, autos y camiones eléctricos y el desarrollo de nuevos usos y modelos de negocio para segundo uso de baterías de litio

9. OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO DEL PAÍS Y DE LA INGENIERÍA

En una publicación reciente⁴⁴ se plantea que estamos frente a un segundo punto de inflexión en el desarrollo de la industria automotriz, que cambiará completamente este sector, tal como ocurrió entre los años 1900 y 1920 con el desarrollo del motor de combustión interna, que dio origen a la formación de nuevas empresas como las grandes compañías petroleras y automotrices y al desarrollo de redes de distribuidores y de cadenas de expendio de combustibles, entre otras.

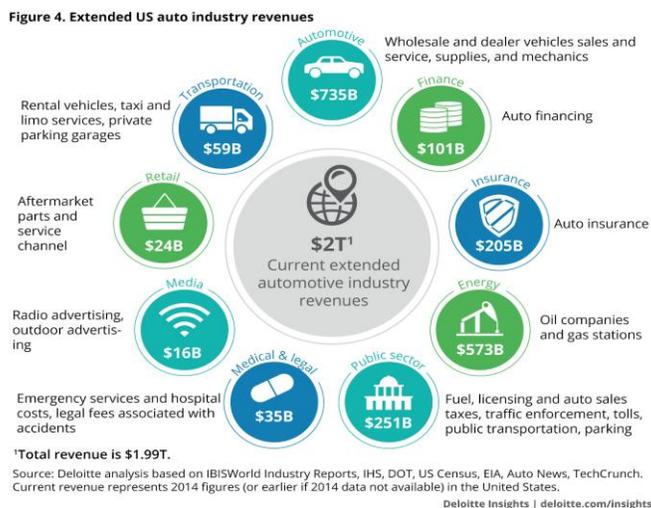
En este escenario, cabe preguntarse al menos: ¿qué va a pasar con el sector automotriz actual?, ¿cómo afectará la electromovilidad a los diferentes actores de la cadena de valor? y ¿qué ocurrirá con la creación y destrucción de fuentes de trabajo?

En este capítulo se presentan las tendencias que se visualizan para esta industria, los cambios que podrían producirse en ella a raíz de estas y las oportunidades que podría aprovechar la Ingeniería local.

9.1 La industria automotriz y su relevancia

La industria automotriz y su cadena de valor son un motor importante del crecimiento de la economía mundial. En el año 2014, en EE. UU, este sector generó dos billones⁴⁵ de dólares de ingresos, lo que representa el 11,5% del Producto Interno Bruto (PIB) de EE.UU.

Gráfico 4. Ingresos asociados a la industria del Automóvil. Estados Unidos de América.



Fuente: Deloitte University Press | DUPress.com

Los ingresos relacionados con la cadena de valor directa, que corresponden a: fabricantes de vehículos, proveedores, concesionarios, empresas de servicios financieros, empresas

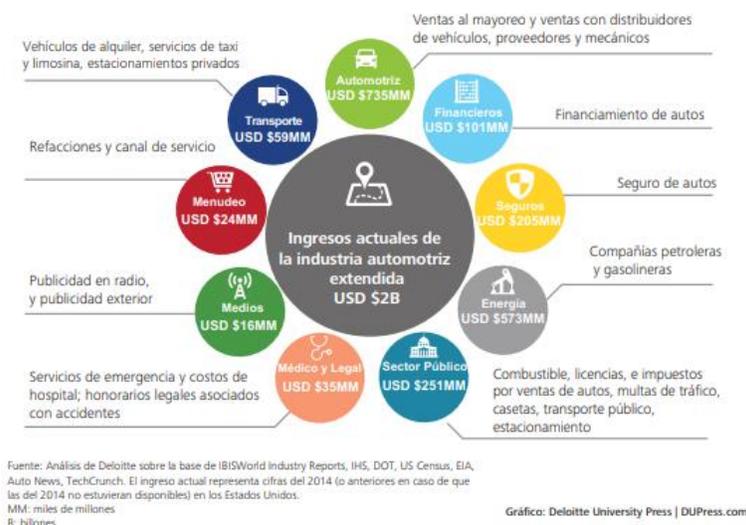
⁴⁴ Cfr. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/automotive-news_industry-4-0-in-automotive/DI_Automotive-News-Supplement.pdf

⁴⁵ Millones de millones.

distribuidoras de combustibles, empresas de seguros y peajes, totalizan MMUS\$ 1,964, como se muestra en la figura⁴⁶ anterior.

El cambio previsto que ocurrirá en esta industria, generará un impacto importante en el ecosistema de la movilidad. Algunas empresas dejarán de existir y nacerán otras nuevas, que prestarán servicios que aún no imaginamos, como ocurrió, por ejemplo, entre los años 1900 y 1920, con el desarrollo de la industria del petróleo y del caucho. En la siguiente figura se aprecia el impacto que podría tener la movilidad en el ecosistema.

Gráfico 5. Desplazamientos de valor potenciales debidos a movilidad eléctrica en industria del automóvil.



Fuente: Deloitte University Press | DUPress.com

9.2 Tendencias de la industria de movilidad y servicios asociados.

Existen cuatro tendencias que están generando cambios importantes en la industria: Autonomía, Conectividad, Electrificación y Uso compartido, que se explican a continuación.

Autonomía

Las tecnologías actualmente en desarrollo permiten que un vehículo opere con diferentes niveles de autonomía, desde la conducción tradicional, en la que el conductor controla completamente el vehículo, hasta la conducción autónoma, en la que éste es conducido por un sistema experto, sin participación del ocupante.

La tendencia que se visualiza es hacia la conducción autónoma, pero la adopción masiva de estas tecnologías dependerá en gran medida de las normas que regulen la conducción, del tratamiento de responsabilidades civiles y penales en caso de accidentes y de las preferencias de los usuarios.

Conectividad

Las tecnologías de conectividad permitirán que los conductores y pasajeros tengan una “experiencia de viaje” diferente y más segura, a modo de ejemplo:

⁴⁶ La cuantificación de ingresos citada incluye los relativos a servicios médicos, originados por accidentes y otros. Estos deberían considerarse aparte ya que constituyen una externalidad negativa con efectos serios sobre el bienestar social y de la población. En ese sentido, parece paradójico que se computen como un “beneficio” económico asociado a la industria automotriz.

- Los ocupantes de un vehículo podrán disfrutar de un sistema de entretenimiento personalizado activado mediante comandos de voz o gestuales que se convertirán en auténticos “choferes virtuales”, que satisfarán las necesidades de los viajeros.
- En los caminos, se incorporarán sensores que se comunicarán con las señales de tránsito, semáforos y entre sí para evitar accidentes y permitir que los automóviles puedan transitar más cerca unos de otros.
- Frente a cambios en las condiciones climáticas o en el flujo vehicular, las rutas de viaje se optimizarán en tiempo real, acortándose los tiempos de viaje y reduciéndose la frecuencia de accidentes.

Electrificación

El mejoramiento en la capacidad de acumulación de las baterías, el mayor uso de las fuentes de energías renovables y la disminución en los costos de ambas tecnologías permiten visualizar un futuro en el que el motor de combustión interna será reemplazado por el motor eléctrico. En este escenario, las energías renovables deberán satisfacer la demanda adicional de electricidad. El impacto más significativo estará dado por la disminución de la contaminación.

Uso compartido

El desarrollo de nuevas aplicaciones para teléfonos inteligentes ha hecho posible el desarrollo de diferentes modalidades de viajes compartidos, donde el costo se prorratea entre los usuarios o bien el usuario paga solo por el uso del vehículo. Estas aplicaciones permiten optimizar el uso de los activos, considerando que actualmente, un vehículo está ocioso el 95% del tiempo y su tasa promedio de utilización, en relación a su capacidad máxima de pasajeros, es de un 25%⁴⁷. De este modo, es posible imaginar una movilidad que preste los mismos o mejores niveles de servicio con un número significativamente menor de vehículos y de emisiones⁴⁸. Adicionalmente, dentro de la evolución posible de los sistemas de transporte, existe la posibilidad que se pase a una modalidad donde el pasajero no privilegie la posesión del medio de transporte sino la calidad del servicio, la que podría ser otorgada por flotas dedicadas.

La conjunción de estos cuatro pilares redefinirá los sistemas de transporte del futuro. Las posibilidades de una movilidad que dé acceso a oportunidades de trabajo, salud, educación y entretenimiento en forma equitativa, con menores costos y niveles de contaminación reducidos son promisorias. El logro de estos objetivos dependerá del desarrollo tecnológico en estas cuatro áreas y de las legislaciones que las regulen, para dar los incentivos adecuados a todos los actores que ayuden a la consecución de una movilidad con características sociales, económicas y ambientales favorables.

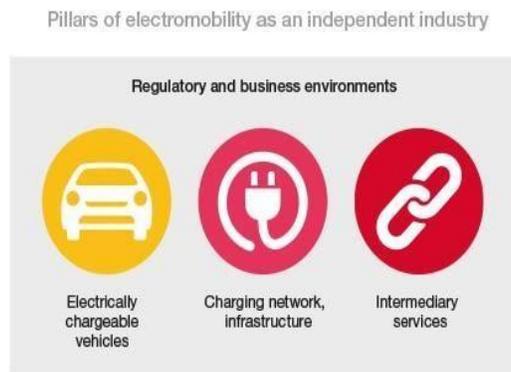
9.3 Cambios en la industria de electromovilidad y oportunidades

La electromovilidad es una industria en estado de desarrollo, que puede analizarse considerando sus tres pilares principales: vehículos eléctricos, redes de carga y servicios de tecnologías de información asociados, como se muestra en la siguiente figura:

⁴⁷ La combinación de ambos factores implica que la tasa de aprovechamiento promedio de un vehículo privado, en relación a su capacidad máxima, es de un 1,25%.

⁴⁸ Ver: Foro Internacional de transporte (ITF); Transition to shared mobility; OECD-ITF, París, 2017; página 7.

Gráfico 6. Pilares de la movilidad eléctrica como industria independiente.



Fuente: Deloitte University Press | DUPress.com

En esta industria se presentarán oportunidades en los tres pilares indicados anteriormente:

Vehículos eléctricos

Se requerirá diseñar, fabricar y mantener nuevos vehículos, concebidos especialmente para ser usados con energía eléctrica, con componentes más livianos y económicos y baterías más eficientes.

Redes de carga

Se necesitará desarrollar una nueva red de carga con cobertura nacional, con tecnologías que permitan realizar carga rápida, con sistemas inteligentes para realizar las cargas en aquellas horas en las que el costo de la energía eléctrica es más bajo; cargadores para ser utilizados en domicilios y centros comerciales.

Servicios de tecnologías de información

Se requerirá la creación de empresas, que utilizando las TIC entreguen nuevos servicios tales como:

- Servicios personalizados a los usuarios que gestionen información sobre las razones por las cuales realizan los viajes, las rutas que utilizan, y las actividades que efectúan durante el trayecto.
- Desarrollo y gestión de sistemas de información de redes de tránsito y operación de vehículos para ayudar a dirigir y controlar el movimiento de los vehículos,
- Modelos de precio basados en el consumo (pago por uso) y no en la posesión del vehículo.

9.4 Sistemas de almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía eléctrica consiste en transformar la electricidad de la red en otra forma de energía para guardarla y, en un tiempo posterior, convertirla nuevamente en electricidad para ser consumida.

Este almacenamiento permite dar flexibilidad para operar en forma estable un sistema eléctrico con fuerte participación de fuentes variables de generación, como las fuentes solar y eólica, como también para permitir la existencia de movilidad eléctrica sin necesidad de estar conectado a la red durante su movimiento.

El almacenamiento para una red eléctrica se puede dar por centrales hidráulicas de bombeo, centrales de concentración solar de potencia, hidrógeno, almacenamiento en baterías, entre los más importantes. Para electromovilidad son relevantes el hidrógeno y el almacenamiento en baterías.

El almacenamiento electroquímico en baterías es de alta eficiencia y permite cargas y descargas repetitivas en plazos breves. Por esta razón se utilizan desde tiempos antiguos en automóviles con la tecnología de baterías convencionales de plomo ácido.

Las baterías de litio representan un avance en acumulación con cargas y descargas repetitivas al tener una mayor densidad de energía, vida útil prolongada, menor mantenimiento, por lo que se incrementa su utilización en aplicaciones móviles como vehículos eléctricos y bicicletas eléctricas, aparte del uso extendido que hoy tienen en telefonía móvil y computadores portátiles.

En sistemas eléctricos de potencia, el almacenamiento en baterías de litio BESS (Battery Energy Storage System) puede tener múltiples funciones y modelos de negocios, permite mayor flexibilidad en el sistema eléctrico, respuesta a cargas y descargas y alta eficiencia. Son unidades del orden de 5 a 20 MW, instaladas en Chile a partir del año 2009 con la Central Andes de AESGener con una capacidad de 12 MW para entregar energía durante 15 minutos que aporta al control de frecuencia del sistema. Los arreglos BESS pueden ser usados para evitar congestiones de transmisión, dar continuidad de servicio, controlar la tensión, postergar inversiones en infraestructura de transmisión y distribución eléctrica, entre otros.

Existen distintos tipos de baterías de ion litio en diferentes etapas de desarrollo, costos, vida útil y aplicaciones. Se pueden mencionar: óxido de cobalto-litio, óxido de manganeso-litio, fosfato de hierro-litio, óxido de cobalto-manganeso-níquel-litio, óxido de aluminio-cobalto-níquel-litio, óxido de titanio-litio.

Un elemento importante para almacenamiento eléctrico son los cargadores eléctricos, que permiten recargar las baterías de los vehículos eléctricos enchufables. Los cargadores pueden ser residenciales, en casa o edificios, o infraestructuras especiales, ya sea de carga pública: electrolineras, o privadas para flotas de vehículos de transporte de pasajeros o de carga.

Existen distintos tipos de cargadores para permitir cargas en corriente alterna o corriente continua. Por tiempo, se tienen de carga rápida, menores de 30 minutos o de carga lenta del orden de 6 a 10 horas, con distintas capacidades de potencia eléctrica. Actualmente están en operación cargadores de carga lenta en corriente alterna, carga rápida en corriente alterna y de carga rápida en corriente continua y la diferencia es la ubicación del inversor, ya sea en la instalación estacionaria o en el vehículo eléctrico móvil.

Es necesaria la homologación y certificación de los distintos tipos de cargadores, normas para funcionamiento de electrolineras, todas en desarrollo por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Además, en términos de mercado, debe existir intercambiabilidad para permitir la competencia y evitar el uso de posición monopólica de algún actor.

Desde el punto de vista de la regulación eléctrica, el proceso de carga de las baterías de un vehículo eléctrico es un consumo, o sea, opera como un cliente de las empresas de la red eléctrica y se debieran crear tarifas horarias diferenciadas para tener precios menores en los momentos que existe menor demanda de otros clientes en la red. De este modo, se optimizaría el uso de la red eléctrica.

Por otra parte, el vehículo eléctrico también puede entregar electricidad a la red en las horas de mayor demanda del sistema eléctrico con una tarificación que le permita operar como un generador distribuido no estacionario⁴⁹.

Esta dualidad de consumidor y generador del vehículo eléctrico requiere ser considerada en el desarrollo y regulación de la red eléctrica, en especial en la red de distribución, y debiera estar incluido en la nueva ley de distribución eléctrica.

9.5 Gestión de la red eléctrica: Vehicle to Grid (V2G)

Los vehículos eléctricos poseen 3 variables relacionadas con el sistema eléctrico: una potencia de carga, consumo energético y almacenamiento.

Consumo energético

Si bien el VE promedio es un 75% más eficiente que su equivalente de combustión interna, igualmente consume energía eléctrica a una tasa de entre 18KWh /100Km (el rango es entre 15 y 20 KWH/100Km). Por lo tanto, si un vehículo recorre anualmente 20.000 km, su consumo mensual de energía es de 300 kWh. Este valor es equivalente a un consumo promedio de hogar en Santiago. La adopción de 500.000 autos eléctricos en Santiago equivaldría a un crecimiento de consumo de 1.800 GWh/año, es decir, un 2,4% del consumo anual de energía, algo que se puede enmarcar dentro del crecimiento vegetativo del sistema eléctrico.

Potencia de Carga

Los vehículos eléctricos pueden tener distintas necesidades de carga y, por lo tanto, la potencia a la que se carga dependerá de cada caso de uso.

Carga nocturna recurrente: la mayoría de las cargas (>80% según estudios) se realiza en el hogar o la oficina. Las corrientes habituales de carga son 16A (3,2kW), 32A (6,5kW) y 40A (8kW), la carga mayor a 32A tiende a ser mayoritaria porque permite a un vehículo con gran autonomía cargar completamente durante un ciclo nocturno de 8 horas. En Chile, estos sistemas son en su mayoría monofásicos.

Carga diurna en trabajo: esta es complementaria a la carga nocturna y ocurre cuando el vehículo se encuentra estacionado durante la jornada laboral de su dueño. Las configuraciones también son de 32, 40A en monofásico o trifásico. Las potencias van de 6,7kW a 21kW.

Carga en destino: aquella en estacionamientos públicos en centros comerciales, centros médicos, la vía pública y lugares en que una sesión de carga puede durar entre 30 minutos y dos horas. Las potencias son de 7kW monofásico y 22kW en trifásico.

Carga Rápida: requiere la atención del conductor del vehículo y debe realizarse lo más rápido posible. Actualmente se realiza a 50kW de potencia DC, pero el avance tecnológico y el incremento de capacidad de baterías aumenta esta potencia a 100, 200 y hasta 350KW. En realidad, no se recomienda cargar un vehículo con una potencia superior a dos veces su capacidad, por lo tanto, un vehículo de 30kWh podrá cargar a 60kW y uno de 100kWh a 200kW. La sesión de carga, en general, será inferior a 30 minutos, para permitir que el conductor prosiga su ruta luego de una carga.

Almacenamiento

⁴⁹ Ver nota 42. La habilitación de sistemas V2G requieren la solución de aspectos técnicos y regulatorios por lo que su puesta en práctica puede no ser sencilla.

Los automóviles eléctricos en venta en 2019 tienen una capacidad de almacenamiento de baterías de 30 a 60 KWh y se prevé que en los próximos años esta capacidad aumente a un rango de 60 a 150kWh. Los buses eléctricos tienen una capacidad promedio de 300kWh. Lo anterior implica que un automóvil puede abastecer las necesidades de un hogar promedio por 3 o 4 días. Un electroterminal de buses podría tener 20MWh de capacidad de almacenamiento⁵⁰.

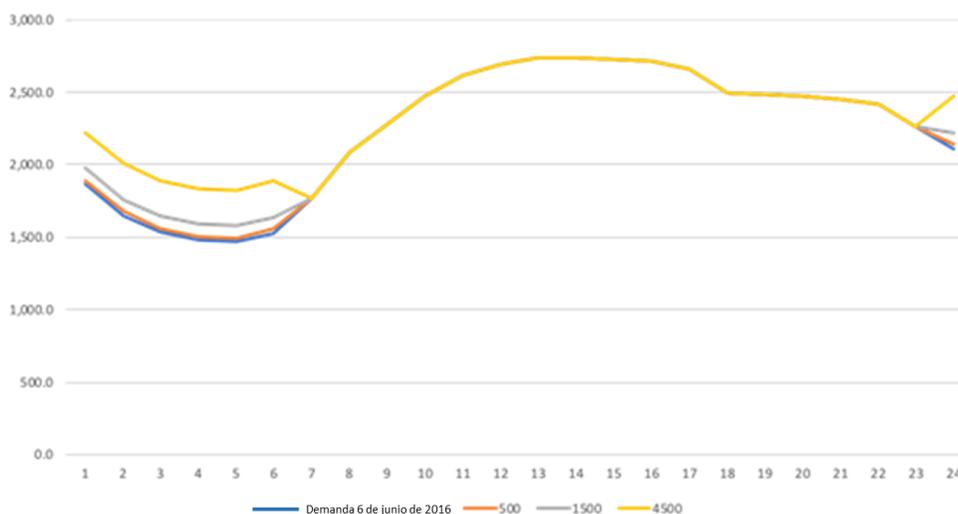
La tecnología V2G (vehicle to grid), que ya cuenta con una experiencia en Chile (proyecto de Agencia de Sostenibilidad), permite que estas baterías puedan interactuar con el sistema eléctrico y suplir energía en caso de necesidad. Sin pretender ser excluyentes, se identifican los casos siguientes: a) en horas de punta en que la capacidad de generación es inferior al consumo, b) horas en que la capacidad de distribución/redes sea inferior a la demanda c) para complementar generación distribuida d) en caso de corte de suministro eléctrico.

Implicancias para el sector de generación y distribución eléctricos

La capacidad de controlar la potencia, el consumo o la posibilidad de disponer del almacenamiento en los vehículos eléctricos, pueden ir en beneficio del sistema eléctrico ayudando a modular el consumo y ajustarlo a la capacidad de generación disponible.

Gráfico 7. Efecto de carga nocturna sobre el perfil de demanda eléctrica.

Demanda Máxima en Santiago en MW (ej. 6 de junio de 2016)
Escenarios con 500, 1.500 o 4.500 buses eléctricos recargando por la noche



Fuente: elaboración propia a partir de www.cne.cl.

De esta forma, el consumo energético de la movilidad eléctrica podría suplirse sin mayores inversiones en generación o transporte de electricidad.

Al contrario, si no se controla la recarga de los VE, estos podrían colapsar el sistema de suministro eléctrico, particularmente en las horas de mayor demanda.

⁵⁰ El proyecto de almacenamiento de AES Gener, en la Central Alfalfal, tiene 10 MW de potencia por 5 horas de suministro. http://www.electromov.cl/2020/01/24/proyecto-virtual-dam-de-aes-gener-baterias-de-almacenamiento-operarian-desde-marzo/?utm_source=Newsletter+Grupo+Editorial+EDITEC&utm_campaign=c68b9cb22e-EMAIL_CAMPAIGN_2020_01_27_12_11&utm_medium=email&utm_term=0_24864427d2-c68b9cb22e-62649749

Se detecta una oportunidad en el sector de la ingeniería en Chile para desarrollar modelos técnicos, operacionales, regulatorios y de precios para lograr alinear la recarga de los vehículos eléctricos con las señales de precio adecuadas. Para ello, se requiere el desarrollo de a) **Sistemas técnicos y operacionales**: Cargadores o vehículos conectados a un servidor que pueda controlar la recarga remotamente, así como sistemas de gestión que puedan agregar cientos o miles de vehículos en sistemas virtuales. Información e interacción con los usuarios y; b) **Regulación**: señales de precios y regulatorias para que se logren asignar eficientemente las inversiones y costos del sistema.

10. CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS

En el año 2018, se produjo un incremento importante en la venta de vehículos nuevos en Chile (15,6%), llegando el parque automotor a tener un número estimado de 5,5 millones de unidades. El número de vehículos eléctricos vendidos aumentó en 44%, en relación con el año anterior, llegando a 197 unidades, representando una fracción ínfima (0,047%), del total de autos nuevos vendidos en el país (417.038).

En el documento se han señalado los beneficios que traerá para el país y las personas la Electromovilidad. Como se ha indicado, los vehículos eléctricos, si son alimentados por energías limpias, no generan gases efecto invernadero y tienen menores costos de operación y mantención, por lo que su masificación traerá grandes beneficios para las personas, la sociedad y el medio ambiente. El principal obstáculo que se presenta para que ello ocurra, radica en que su precio de venta es muy superior al de los vehículos convencionales, para modelos comparables, y es aún inalcanzable para la mayor parte de la población.

Una opción que merece ser estudiada es la conversión de vehículos usados, de combustión interna a vehículos eléctricos, como una forma de acelerar su ingreso al mercado y recibir antes los beneficios esperados, como se analiza en el presente capítulo.

10.1 Estrategia de electromovilidad de países desarrollados y de Chile

Los diferentes países han establecido distintas estrategias para acelerar el ingreso al mercado de los vehículos eléctricos. En Noruega, existen beneficios tributarios que permiten adquirir un vehículo eléctrico a un menor precio e incentivos adicionales como estacionamientos más baratos y permisos de circulación de menor costo. En Estados Unidos existen, además de empresas que venden vehículos eléctricos, firmas que venden kits para que los propietarios o talleres especializados realicen la conversión o efectúen el trabajo de conversión.

En Chile se desarrolló la Estrategia Nacional de Electromovilidad⁵¹. Esta busca masificar en forma segura y sustentable esta tecnología, impulsando la llegada de vehículos de mayor eficiencia energética y con menores emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En esta estrategia se propone la preparación del capital humano que se requerirá y el desarrollo de la infraestructura de carga necesaria, pero no se menciona la conversión como una opción.

10.2 Beneficios de los vehículos eléctricos

La tecnología actual hace posible convertir vehículos de combustión interna en vehículos eléctricos, a costos razonables, permitiendo que éstos luego de una carga, cuya duración varía entre 0,5 y 4 horas, puedan recorrer en promedio 70 kilómetros de manera autónoma (suficiente para un uso urbano convencional), a velocidades que fluctúan entre 50 y 100 km/hr.

Un vehículo eléctrico tiene muchos beneficios para las personas en relación con los vehículos de combustión interna, entre ellas:

- Menores costos de mantención al no requerir afinamiento, cambio de aceite y tener menores componentes mecánicos: silenciadores, carburadores, bombas y filtros de combustible.

⁵¹ Ministerio de Energía, 2018: http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/estrategia_electromovilidad-27dic.pdf

- Mayor eficiencia, al utilizar el motor eléctrico la energía de manera más eficiente que el motor convencional (mayor proporción de energía convertida en movimiento).
- Menor ruido, al ser estos más silenciosos.

Además de los beneficios indicados anteriormente, el ingreso de los vehículos eléctricos generará una menor contaminación, al no producir gases de escape ni gases de efecto invernadero y permitirá disminuir la dependencia de hidrocarburos del mercado internacional.

El Gobierno de Chile estimó que al año 2050, el parque de vehículos livianos en el país estaría conformado en un 40% por vehículos eléctricos y, si se mantienen las metas proyectadas de participación de las Energías Renovables no Convencionales (ERNC) en la matriz energética, el ingreso de vehículos eléctricos “evitará 11 millones de toneladas de CO₂ al año y reducirá el gasto en energéticos del país en más de US\$ 3.300 millones anuales, lo que equivale a cerca de un 1,5% del PIB del 2016, mejorando de este modo la productividad de nuestras empresas y la calidad de vida de las personas”⁵². De este modo, la movilidad eléctrica contribuye también a la seguridad e independencia energética.

En relación con la conversión de buses, si bien es posible desde el punto de vista técnico, al menos dos barreras dificultan esta opción. Una, de tipo mecánico, se asocia al diseño de las carrocerías y la distribución de baterías. En un bus diseñado para operar con electricidad, el diseño de baterías puede minimizar su peso que, al mismo tiempo, se reparte en forma óptima. En un bus convertido, las restricciones impuestas por el diseño original llevan a soluciones de mayor peso lo que influirá en el rendimiento futuro del vehículo. La segunda, de tipo financiero, se relaciona con el costo de conversión de un bus, del orden de 200.000 dólares por unidad, lo que hace muy difícil que una “start-up” pueda obtener financiamiento inicial para realizar las conversiones. Lo anterior, sin contar con la resistencia que pueden tener empresarios de transporte frente a un modelo convertido, lo que haría aún más difícil esta opción.

10.3 Costos y limitaciones de la conversión

El cambio de un motor de combustión interna por uno eléctrico no es un proceso simple ya que, al reemplazar el motor, se cambia el peso del vehículo y su distribución, pudiendo alterarse el funcionamiento y su estabilidad. Por ello es una actividad que debe ser realizada por empresas especializadas.

El precio de venta de un vehículo eléctrico en Chile oscila, dependiendo de sus prestaciones, entre US\$ 30.000 y US\$ 60.000. El costo de la conversión varía entre US\$ 8.000 y US\$ 15.000, dependiendo del tipo de batería que se utilice y existen empresas locales que realizan este trabajo.

La principal limitación para realizar la conversión de vehículos sin embargo no es técnica, sino legal ya que existe una normativa que impide que un particular realice modificaciones en un vehículo que haya sido fabricado después del año 1992, sin la intervención del fabricante. Lo anterior, se ha visto agravado con la prohibición del Ministerio de Transportes, de diciembre de 2019, en el sentido de no otorgar la revisión técnica a vehículos ICE transformados en eléctricos, sin importar su año⁵³.

⁵² Ministerio de Energía, Estrategia de Movilidad Eléctrica, página 2.

⁵³ Ver por ejemplo, https://www.chvnoticias.cl/reportajes/polemica-decision-gobierno-conversion-autos-combustible-electricos_20191205/; <https://www.uchile.cl/noticias/159916/el-debate-por-la-conversion-de-autos-antiguos-a-electricos>. El Ministerio aduce razones de seguridad para negar la reconversión.

10.4 Condiciones para favorecer el mercado de conversión de vehículos

El ingreso al mercado de los vehículos eléctricos traerá beneficios importantes para los usuarios y el país. Los usuarios tendrán menores costos de transporte y mantención de sus vehículos y se verán beneficiados por un menor nivel de contaminación. El país evitará generar gases efecto invernadero y se disminuirá la emisión de contaminantes locales. Se reducirá significativamente el gasto en energéticos, mejorando la productividad de las empresas y la calidad de vida de las personas.

En este escenario, lo más indicado sería acelerar el ingreso al mercado de los vehículos eléctricos, mediante la conversión de vehículos de combustión interna, de forma de recibir antes los beneficios esperados.

Se recomienda para ello:

- Modificar la normativa para permitir que puedan ser modificados vehículos de fecha de fabricación posterior al año 1992.
- Instalar plantas de revisión técnica especializadas para vehículos eléctricos en las que estos puedan ser homologados, velando particularmente por las condiciones de seguridad.
- Incentivar la formación de empresas que se especialicen en la conversión.
- Diseñar instrumentos financieros que disminuyan el riesgo asociado a la conversión de buses, de modo que se superen las primeras etapas de este proceso y se genere un mercado maduro para la conversión de este tipo de vehículos, incluyendo la participación de operadores.

11. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y MOVILIDAD ELÉCTRICA.

El desarrollo de *smartphones* o teléfonos inteligentes y de las diferentes aplicaciones (Apps) que se pueden utilizar en ellos, generan innovaciones importantes para los usuarios del sistema de transporte, que en forma creciente utilizan aplicaciones para planificar sus viajes y encontrar las rutas más rápidas hasta su destino, solicitar un taxi o llamar a un conductor privado. Los avances en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICS) han hecho posible además las comunicaciones entre estos equipos y las plataformas web y su localización. Las innovaciones en redes sociales, servicios basados en la georreferenciación y tecnologías de Internet han permitido el rápido desarrollo y expansión de la movilidad compartida.

En el ámbito del diseño de vehículos, se está produciendo una convergencia entre diferentes fuerzas que tienen el poder de cambiar la industria del transporte de personas. Las nuevas tecnologías desarrolladas para los sistemas motrices de los vehículos han permitido la fabricación de vehículos eléctricos más eficientes, con menores emisiones y menores costos de uso y mantención; los nuevos materiales, más fuertes y livianos, han hecho posible que los fabricantes de vehículos reduzcan su peso, sin poner en riesgo la seguridad de los pasajeros; los avances rápidos en las redes de comunicación e inteligencia artificial han impulsado el desarrollo de vehículos autónomos; los nuevos usuarios, en su mayoría jóvenes están migrando desde el modelo de compra de un vehículo hacia un modelo basado en pagar por su uso⁵⁴.

El desarrollo de smartphones, apps y las fuerzas indicadas, tienen el potencial de alterar las estructuras actuales de la industria, los modelos de negocios, las dinámicas competitivas, la creación de valor, y las proposiciones de servicio al cliente. Todo ello está provocando una transformación radical que podría resultar en la aparición de un nuevo sistema de movilidad personal. Nadie sabe a ciencia cierta el alcance total y la magnitud que tendrán los cambios que vendrán.

11.1 Escenarios posibles de movilidad

En un documento publicado recientemente⁵⁵, se plantean cuatro futuros diferentes de movilidad personal que surgen de la intersección de dos tendencias fundamentales: control vehicular y propiedad del vehículo.

El control vehicular está relacionado con el nivel de autonomía que tiene el vehículo. Esta va desde el nivel L0, en que el conductor tiene el control total del vehículo en todo momento, hasta el nivel L5, en el que el vehículo es conducido, en todo tipo de camino, en todos los aspectos, por un sistema de conducción automatizado. El nivel de propiedad está relacionado con si el vehículo es conducido por su dueño o si pertenece a un tercero, quien presta al usuario un servicio de transporte compartido.

⁵⁴ Ver por ejemplo: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-shared-mobility-will-change-the-automotive-industry>

⁵⁵ https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/automotive-news_industry-4-0-in-automotive/DI_Automotive-News-Supplement.pdf

Gráfico 8. Estados futuros de la movilidad según propiedad y control del vehículo.



Fuente: Deloitte University Press | DUPress.com

Los escenarios futuros considerados son los siguientes:

Escenario 1: Cambio incremental

Este escenario considera que los usuarios seguirán siendo dueños y conductores de sus vehículos. En este escenario, los fabricantes de autos priorizarán las ventas de vehículos e invertirán en el desarrollo de nuevas líneas de vehículos que incorporen tecnologías avanzadas. Los concesionarios seguirán siendo responsables de la venta y de la entrega de servicios a sus clientes.

Escenario 2: Un mundo de autos compartidos

Este escenario supone el crecimiento de los servicios en los que se comparte el acceso a los vehículos. En él, los pasajeros valoran las ventajas de disponer de un sistema de transporte en el que pagan por el uso y evitan manejar y buscar estacionamiento. Este sistema ofrece opciones para los que no conducen, como jubilados y menores de edad.

Escenario 3: La revolución del auto sin conductor

Este escenario considera que la tecnología de conducción autónoma es viable, segura, conveniente y económica, pero los conductores siguen siendo propietarios de sus vehículos. Las empresas de tecnología y las automotrices continúan realizando inversiones para aumentar las capacidades de los vehículos.

Escenario 4: Una nueva era de autonomía accesible

Este escenario considera la convergencia de dos tendencias: la de conducción autónoma y la de servicios de vehículos compartidos. En este futuro, las empresas de gestión de movilidad ofrecerán a sus pasajeros una gran gama de servicios, a precios diferenciados. Existirán flotas de vehículos autónomos, de propiedad compartida, que irán a buscar a los usuarios y los llevarán desde su origen hasta su destino.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

12.1 Conclusiones

La movilidad eléctrica es una tendencia mundial que se impondrá en ciertos modos de transporte dentro de esta década (vehículos livianos, vehículos pequeños) pero que tomará mucho tiempo para consolidarse en otras (transporte de carga, aviación). El imperativo de descarbonización de la economía y con ella, del transporte, responsable de cerca de un tercio de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, ha sido el gran impulsor del cambio de paradigma tecnológico. De este modo, estamos asistiendo a la transición de una movilidad basada en combustibles fósiles a otra basada en electricidad la que, a su vez, se producirá con fuentes renovables.

La adopción de la movilidad eléctrica en Chile es un hecho, como lo testimonian los buses eléctricos que ya operan en Santiago y el aumento constante de ventas de vehículos de pasajeros, así como la penetración de vehículos de dos ruedas. Una mayor velocidad de adopción es necesaria para anticipar lo más posible dichos beneficios, los cuales se justifican considerando la realidad de varias ciudades con problemas de contaminación atmosférica y la meta del país para alcanzar la neutralidad en emisiones de carbono a mediados de siglo.

La movilidad eléctrica también debe considerar el incremento en el uso y la expansión de los ferrocarriles eléctricos, en especial los trenes de pasajeros de cercanía, transporte de carga, transporte desde los puertos y sistemas de Metro. Esto, no solamente por sus efectos beneficiosos desde el punto de vista de eficiencia energética, medio ambiente y sustentabilidad, sino también para evitar la congestión y posible colapso de carreteras, autopistas urbanas y calles debido al aumento de la cantidad de vehículos tradicionales de menor capacidad.

Adicionalmente, existen beneficios potenciales para el desarrollo de la ingeniería y del país a través de la habilitación de soluciones tecnológicas y de modelos de negocios asociados a la cadena de valor de la movilidad eléctrica que es necesario promover desde ya. De este modo, los beneficios de la adopción irán más allá de las mejoras ambientales y económicas que se darán por el solo hecho de transitar hacia este tipo de transporte. Como se indicó en la introducción, la inexistencia de grandes industrias incumbentes que se vean amenazadas por la irrupción de la movilidad eléctrica es una oportunidad para que nuevos emprendimientos aprovechen los espacios y nichos de negocio donde sea posible aportar con soluciones que agreguen valor a una matriz económica ampliamente dominada por la explotación de recursos naturales. Sin embargo, se debe considerar que puede existir oposición por parte de otros actores, que estén dentro de la cadena de valor de la industria, más pequeños pero numerosos, que se vean afectados por los EV. Por ello, la posibilidad de consolidar un sector asociado a una necesidad básica como la movilidad, permite pensar en desarrollos de mayor valor y que incluso, puedan generar exportaciones al menos a nivel de la región de América Latina, donde Chile ha mostrado liderazgo en este tema.

Las siguientes recomendaciones recogen las que ya se han indicado a lo largo del informe y presentan en forma ordenada y resumida lo que, a juicio del Instituto de Ingenieros de Chile, se debe hacer para lograr una adopción acelerada de la movilidad eléctrica y el desarrollo de bienes y servicios asociados en su cadena de valor que sean un aporte al desarrollo del país.

12.2 Recomendaciones.

Para acelerar la adopción de la movilidad eléctrica, fomentar el desarrollo tecnológico nacional, integrar la movilidad eléctrica con la red eléctrica y proveer mecanismos financieros adecuados, se recomienda:

Adopción

1. Establecer metas de penetración de movilidad eléctrica, de acuerdo a la mejor información disponible y las proyecciones de penetración válidas para países similares a Chile, de modo que signifiquen un impulso a esta nueva tendencia y permitan medir los avances sobre bases verificables. La participación de Chile en la Agencia Internacional de Energía es una ayuda muy valiosa en este sentido.
2. Establecer incentivos para la adquisición de vehículos particulares, basados principalmente en la menor contaminación que presentan los EV. Por ello, se recomiendan impuestos a las emisiones de contaminantes. Otros incentivos pueden ser las cuotas de composición de flotas (especialmente en zonas con planes de descontaminación).
3. En caso de que se opte por subsidios directos, diseñarlos de manera que sean limitados en el tiempo, con fechas de caducidad conocida de antemano o con criterios de otorgación asociados a la brecha de precio entre modelos comparables (de modo que eliminada dicha brecha, se acabe naturalmente el subsidio).
4. Estudiar cuidadosamente otro tipo de incentivos que no resuelven externalidades del uso del automóvil para que, en caso de aplicarlos, se haga en forma racional, buscando un equilibrio entre la promoción de la movilidad eléctrica y el cuidado de otros atributos afectados por el uso de vehículos (congestión, uso de espacio público, seguridad vial).
5. Revisar la normativa que prohíbe la modificación de vehículos usados para ampliar la opción de conversión de vehículos eléctricos. Simultáneamente, permitir la conversión de vehículos particulares usados, habilitando sistemas de homologación que aseguren dichos vehículos cumplan con las normativas exigidas para otros similares, particularmente en lo relativo a la seguridad.
6. Considerando que los sistemas de transporte deben promover la movilidad físicamente accesible y económicamente abordable para toda la población, garantizando el acceso a las condiciones básicas de desarrollo (particularmente en salud, vivienda, educación, trabajo y entretenimiento); asegurar una regulación favorable a la movilidad eléctrica que considere la maximización de sus beneficios, particularmente ambientales y económicos y que no pierda de vista los objetivos de accesibilidad anteriormente descritos.
7. Incorporar la movilidad eléctrica en compras públicas, sea para adquisición de vehículos del Estado, sea para otorgar reconocimiento especial a servicios entregados al Estado que favorezcan la movilidad eléctrica. En este sentido, el Estado puede promover la movilidad eléctrica a través de sus compras, en sus empresas o instituciones (ej. Fuerzas Armadas).
8. Asegurar la formación de capacidades necesarias para la adopción de la movilidad eléctrica en toda la cadena de valor de la tecnología, de modo que la operación de esta movilidad no se vea entorpecida por falta de servicios anexos o por carencia de profesionales y técnicos capaces de resolver los problemas que ella demande. En ese sentido, es necesario que las universidades e institutos técnicos promuevan y desarrollen asignaturas o carreras asociadas a la movilidad eléctrica de manera que el país cuente con profesionales y técnicos habilitados.

9. Velar porque la transición hacia una movilidad eléctrica no signifique impactos en empleo severos y que los trabajadores de las industrias que se transforman tengan oportunidades de reconversión, idealmente en la industria emergente.

Tecnologías

1. Promover soluciones tecnológicas hechas en Chile donde exista posibilidad real de transferencia, particularmente en las partes de la cadena cercanas a las materias primas o cercanas al consumidor final. Utilizar instrumentos de promoción existentes (ej., Corfo) para apoyar emprendimientos asociados con convenios de desempeño⁵⁶.
2. Promover la integración de Tecnologías de Información con movilidad eléctrica para la provisión de servicios orientados al cliente, que mejoren el acceso a oportunidades, particularmente a educación, salud, trabajo y vivienda.
3. Monitorear el desarrollo de otras tecnologías y modelos de negocio emergentes asociados a movilidad en general, que permitan obtener los mayores beneficios de estas tendencias en términos de movilidad para los usuarios⁵⁷.
4. Asegurar que la disposición de los vehículos y sus componentes después del fin de su vida útil se realice de acuerdo a estándares ambientales equiparables a los utilizados en la Unión Europea⁵⁸ o Estados Unidos, en particular, la reutilización de baterías⁵⁹ para usos alternativos y la recuperación de materiales valiosos. En este sentido, considerar la aplicación de la Ley 20.920 (para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento del Reciclaje o “Ley REP”), a los vehículos eléctricos o sus componentes.
5. Aprovechar industrias en las que Chile tiene liderazgo a nivel mundial (minería, forestal, etc) como plataforma de pruebas y escalamiento de tecnologías, que permitan abrir el camino hacia otros mercados, de la misma forma que empresas como Komatsu han probado tecnologías con Codelco (ver capítulo 2.8).

Sistemas de carga e integración con redes

1. Velar porque la carga de vehículos no signifique sobrecarga de la red eléctrica.
2. Diseñar mecanismos de precio de electricidad que eviten la sobrecarga del sistema y permitan que los vehículos eléctricos puedan operar como respaldo de la red (al menos en caso de generación distribuida, cortes de suministro, zonas de poca capacidad de transmisión).

⁵⁶ Al momento de redacción de este informe, CORFO anunció el lanzamiento de una iniciativa para la promoción de la movilidad eléctrica, con un financiamiento de 7 millones de dólares, orientada al desarrollo de la industria nacional y a la transferencia tecnológica asociada a esta industria. Las bases de la convocatoria para un consorcio dedicado a la promoción de la movilidad eléctrica se anunciaron para el 7 de febrero de 2020. Ver: <https://www.df.cl/noticias/df-lab/sostenibilidad/corfo-anuncia-licitacion-para-construccion-de-centro-de-electromovilidad/2020-01-30/112952.html>; http://www.electromov.cl/2020/01/31/estos-son-los-ejes-del-centro-que-busca-acelerar-el-desarrollo-de-la-electromovilidad-en-chile/?utm_source=Newsletter+Grupo+Editorial+EDITEC&utm_campaign=f646b07632-EMAIL_CAMPAIGN_2020_01_31_12_15&utm_medium=email&utm_term=0_24864427d2-f646b07632-62649749. Ver también: https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias/centro_para_el_desarrollo_de_la_electromovilidad

⁵⁷ Entre estos pueden considerarse servicios personalizados a los usuarios que gestionen información sobre las razones por las cuales realizan los viajes, las rutas que utilizan, las actividades que efectúan durante el trayecto, el desarrollo y gestión de sistemas de información de redes de tránsito y operación de vehículos para ayudar a dirigir y controlar el movimiento de los vehículos y modelos de precio basados en el consumo (pago por uso) y no en la posesión del vehículo.

⁵⁸ En Europa, se establece que un 95% del vehículo sea recuperable o reutilizable al final de su vida útil. Ver: https://www.researchgate.net/publication/226522156_End-of-Life_Vehicle_Recycling_in_the_European_Union

⁵⁹ Las baterías dadas de bajas pueden tener usos alternativos como respaldo de energía en otro tipo de sistemas, incluyendo la red eléctrica.

3. Promover la instalación de cargadores para que la densidad de carga sea proporcional a la cantidad de vehículos existentes y que este parámetro no se convierta en una barrera a la penetración masiva de VE.
4. Promover la instalación de cargadores en edificios y en lugares de acceso público como aeropuertos, centros comerciales, estacionamientos, etc.

Financiamiento

1. Considerar los mecanismos de compensación de emisiones (ej. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para proyectos en zonas saturadas) como instrumento para la habilitación de movilidad eléctrica para que la disminución de emisiones por este concepto sirva para compensar emisiones del proyecto.
2. Incorporar mecanismos que premien la adopción de movilidad eléctrica y “castiguen” los vehículos más contaminantes, de modo que la transición hacia una movilidad menos contaminante y de bajas emisiones de carbono se acelere lo más posible. Un mecanismo interesante consiste en un “feebate”, es decir, un cobro (fee) a los vehículos más contaminantes y un premio (rebate) a los más limpios, sobre la base de un valor promedio del parque que, a su vez, evoluciona con el tiempo. El cobro o el premio resultan proporcionales a la contaminación de cada vehículo. El mecanismo ha sido probado en algunos países desarrollados y ha significado una transición acelerada hacia un parque vehicular que cumple los atributos buscados por el regulador. En términos fiscales, el mecanismo es neutral, de manera que los cobros financian los premios. Adicionalmente, el mecanismo es dinámico al reconocer un valor promedio lo que empuja el conjunto del parque vehicular hacia estándares más exigentes.
3. Diseñar mecanismos de financiamiento para emprendimientos que apuesten por la provisión de bienes o servicios cuyo costo esté muy por encima de la capacidad de una start-up y que no cuentan con historial financiero para apalancarse en la banca privada. En general, promover mecanismos de disminución del riesgo técnico y financiero para el desarrollo de emprendimientos asociados a movilidad eléctrica que requieran capital inicial alto. Incluir la disminución del riesgo del cliente (comprador de tecnología) para promover desarrollos tecnológicos locales.

**INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE
EMPRESAS SOCIAS**

AGUAS ANDINAS S.A.
AGUAS NUEVAS S.A.
ALSTOM CHILE S.A.
ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.
ANTOFAGASTA MINERALS S.A.
ARCADIS CHILE S.A.
ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO
BESALCO S.A.
CIA. DE PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.
COLBÚN S.A.
CyD INGENIERÍA LTDA.
EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.
EMPRESA CONSTRUCTORA GUZMÁN Y LARRAÍN LTDA.
EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.
EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.
EMPRESAS CMPC S.A.
ENAEX S.A.
ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.
FLUOR CHILE S.A.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.
MINERA ESCONDIDA LTDA.
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.
SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

**EMPRESAS DE INGENIERÍA
COLABORADORAS**

ACTIC CONSULTORES LTDA.
IEC INGENIERÍA S.A.
JRI INGENIERÍA S.A.
LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
SYNEX INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.