

ECyT – Ingeniería en Energía



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Proyecto Final Integrador

Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

Octubre 2020

Docente Tutor

Damián Strier – Profesor Tecnologías de Gas y Petróleo, UNSAM; FDG SA; NRG Argentina.

Alumno

Pedro Gabriel Díaz Vélez – pedrodiazvelez@gmail.com – 15 6568 3060 - Sin finales adeudados

Lugar de Trabajo

EFACEC Power Solutions Argentina SA – Área Comercial y Responsable de Negocios de Movilidad Eléctrica.

Composición del Jurado:

Salvador Gil

Julio Durán

Santiago Jensen

Glosario

BAU: Business As Usual
CA: Corriente Alterna
CC: Corriente Continua
CSFV: Central de Generación Solar Fotovoltaica
CTCC: Central Térmica de Ciclo Combinado
CTP: Costo Total de Propiedad
EERR: Energías Renovables
EM: Electromovilidad
FS: FullSustentable
GN(C): Gas Natural (Comprimido)
MATER: Mercado A Término de Energías Renovables
MCI: Motores De Combustión Interna
ME: Motor Eléctrico
OyM: Operación y Mantenimiento
PS: PreSustentable
RER: Recurso de Energía Renovable
RTA: Recorrido Total Anual
SSFV: Sistema Generador Solar Fotovoltaico
VAN: Valor Actual Neto
VE: Vehículo/s Eléctrico/s
VEC: VE Corporativos
VMCI: Vehículos de Motor de Combustión Interna
VMCIC: Vehículos De Motor De Combustión Interna Corporativos
WTW: Well to Wheel (Pozo a la Rueda)

Índice Temático

Proyecto Final Integrador	1
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos	1
Glosario	1
Índice Temático	2
Índice de Ilustraciones	4
Índice de Tablas.....	4
Índice de Gráficos.....	5
Resumen.....	7
Introducción	9
Medios y materiales para realizar el trabajo	14
Metodología y desarrollo	15
Cálculo del CTP	21
Cálculo del VAN	25
Cálculo de la Eficiencia.....	27
Cálculo de Emisiones de Dióxido de Carbono.....	29
Gráficos y análisis.....	30
Resultados y Conclusiones:	44
Notas Cuerpo Principal.....	45
Anexo 1 - Contaminación Atmosférica, Ambiental y Sonora. Efectos en la Salud, el Medio Ambiente y el Clima. Aportes de la Electromovilidad a Mitigar la Contaminación.	47
Rol del Estado.....	47
Disminución de emisiones de Dióxido de Carbono por el uso del VE.....	49
Disminución de la contaminación local por el uso del VE.....	49
Descripción de Contaminantes atmosféricos y Efectos sobre la Salud y el Clima	51
Material particulado atmosférico	51
Contaminantes gaseosos	52
Contaminación relacionada a las baterías de litio - Impactos de la minería de litio []	54
Contaminación Sonora	54
Notas Anexo 1	55
Anexo 2 - Transición Tecnológica hacia la Electromovilidad.....	56
Breve historia del automóvil eléctrico []	56
Panorama actual del sector automotriz argentino y mundial	56
Transición Tecnológica hacia la EM.....	59
Notas Anexo 2	60
Anexo 3 - Vehículos de Motor de Combustión Interna vs Vehículos Eléctricos []	62

Vehículos de motor de combustión interna (VMCI)	62
Vehículos Eléctricos (VE)	63
Componentes de los Vehículos Eléctricos	63
Tipos de VE	66
Notas Anexo 3	69
Anexo 4 - Simulación de Sistema Solar Fotovoltaico	70
Anexo 5 - Aportes de la incorporación de VE a la flexibilidad global del sistema eléctrico	73
Redes Inteligentes	74
Tipos de implementación, beneficios, retos y desventajas de las Redes Inteligentes	75
Comparación de almacenamiento en VE vs. Central Hidroeléctrica con embalse	77
Notas Anexo 5	80
Anexo 6 - Análisis Económico Financiero de los casos de estudio	81
Anexo 7 - Infraestructura de carga de baterías de Vehículos Eléctricos	83
Tipos de recarga de las baterías de los VE	83
Tipos de conectores	84
Niveles de carga	85
Alternativas de recarga de baterías de VE	87
Notas Anexo 7	87
Anexo 8 - Historia del Arte de las Baterías []	89
Breve teoría y descripción de las baterías electroquímicas	89
Principales parámetros eléctricos y cualitativos de baterías	90
Principales parámetros químicos y cuantitativos de baterías	91
Evolución de las baterías y otros aspectos	91
Algunos casos de desarrollos actuales	92
Estado del mercado de Baterías: alianzas, estrategias y proyecciones	97
Horizonte, pasos a seguir en las baterías de Litio y próximas tecnologías	97
Notas Anexo 8	100
Anexo 9 - Retos de la Electromovilidad	103
Ansiedad de Rango	103
Alto costo de inversión	104
Limitaciones Ambientales	104
Instrumentos de Promoción para el Desarrollo de la Electromovilidad	104
Instrumentos económicos	105
Instrumentos no económicos	106
Situación comercial actual argentina de los VE y adaptación de los posibles incentivos	106
Otros Retos	107

Notas Anexo 9	108
Bibliografía	109
Agradecimientos	111

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1</i> Automóvil eléctrico de Thomas Parker de 1895.	9
<i>Ilustración 2</i> Thomas A. Edison junto a un automóvil eléctrico en 1913.	9
<i>Ilustración 3</i> Comparación de dimensiones en pulgadas de MCI y ME.	10
<i>Ilustración 4</i> Comparación de partes de MCI y ME.	11
<i>Ilustración 5</i> Partes que se revisan/recambian en cada servicio de los VMCI.	17
<i>Ilustración 6</i> Captura de valor de servicio de los 60000 km de VEC.	17
<i>Ilustración 7</i> Captura de valor de servicio de los 60000 km de VMCI.	18
<i>Ilustración 8</i> Consumo energético de VE y VMCI representativos de casos.	29
<i>Ilustración 9</i> . Objetivos de Desarrollo Sostenible determinados por la ONU.	48
<i>Ilustración 10</i> Esquema de un VMCI.	62
<i>Ilustración 11</i> Partes de un motor de combustión interna.	63
<i>Ilustración 12</i> Vista general conjunto de Nissan Leaf. Puertos de Carga y Batería de Tracción.	65
<i>Ilustración 13</i> Detalle Conjunto Motor - Baterías de tracción Nissan Leaf.	65
<i>Ilustración 14</i> Detalle del motor eléctrico y transmisión Nissan Leaf.	66
<i>Ilustración 15</i> Detalle de conversor electrónico de potencia, Inversor (motor drive) y batería auxiliar.	66
<i>Ilustración 16</i> Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido enchufable.	67
<i>Ilustración 17</i> Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido en paralelo.	67
<i>Ilustración 18</i> Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido en serie.	68
<i>Ilustración 19</i> Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido dual.	68
<i>Ilustración 20</i> Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico de batería (VEB).	69
<i>Ilustración 21</i> Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico con pila de combustible (VEPC).	69
<i>Ilustración 22</i> Curva de carga con demanda extra de VE.	74
<i>Ilustración 23</i> Integración de los VE a las Smart Grids. Fuente: Electronic Engineering Times.	74
<i>Ilustración 24</i> Operación de la modalidad V2G.	76
<i>Ilustración 25</i> Diagrama de implementación de tecnologías V2H y V2B.	76
<i>Ilustración 26</i> Diagrama típico de planta de generación Hídrica de Baja Cota con Acumulación.	78
<i>Ilustración 27</i> Carga en CA con cargador-conversor CA-CC a bordo.	84
<i>Ilustración 28</i> Carga en CC. con cargador-conversor externo.	84
<i>Ilustración 29</i> Tipos de conectores para CA, según región de fabricación.	85
<i>Ilustración 30</i> Tipos de conectores en CC, según región de fabricación.	85
<i>Ilustración 31</i> . Alternativas de recarga de baterías de VE.	87
<i>Ilustración 32</i> Esquema básico de una celda galvánica o voltaica de Zn-Cu.	89
<i>Ilustración 33</i> Plataforma de batería de tracción Ultium de GM.	92
<i>Ilustración 34</i> Batería Cuchilla de BYD.	93
<i>Ilustración 35</i> Mejora de utilización del espacio de Batería Cuchilla de BYD vs. LiFePo.	95
<i>Ilustración 36</i> Esquema de un VE de Volkswagen en base a la nueva plataforma MEB.	95
<i>Ilustración 37</i> Componentes y subcomponentes que conforman la plataforma MEB.	96
<i>Ilustración 38</i> Batería desarrollada por Volkswagen con su tecnología propietaria.	96

Índice de Tablas

<i>Tabla 1</i> Parámetros económicos varios de VMCI y VEC.	15
<i>Tabla 2</i> Cotización billete tipo vendedor del dólar y el euro del día 6 de agosto de 2020.	15
<i>Tabla 3</i> Estimación de tasa de descuento para el cálculo del CTP y VAN.	16
<i>Tabla 4</i> Valores de servicios de mantenimiento anual de los VE y VMCI. Junio 2020.	16
<i>Tabla 5</i> Parámetros de Combustible, equipos y repuestos.	18

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

Tabla 6 Resumen de consumo unitario y anual (teórico) de VEC.	19
Tabla 7 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso BAU Nafta utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.	21
Tabla 8 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso BAU GNC utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.	21
Tabla 9 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso PreSustentable: utilitario, RTA=20000km/año y r=10%. ...	22
Tabla 10 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso Sustentable: utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.....	22
Tabla 11 Resumen de precios de la Energía Eléctrica según origen de compra.	23
Tabla 12 Resumen de datos de Recambio de Batería de VEC Utilitario.	23
Tabla 13 Proyección del precio de las baterías de litio.	24
Tabla 14 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso FullSustentable: utilitario, RTA=20000km/año y r=10%. .	24
Tabla 15 Resumen de valores de recarga de Batería en sitios públicos.	25
Tabla 16 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso PreSustentable-BAU Nafta utilitario,.....	25
Tabla 17 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso PreSustentable-BAU GNC utilitario,.....	26
Tabla 18 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso Sustentable-BAU Nafta utilitario,	26
Tabla 19 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso Sustentable-BAU GNC utilitario,	26
Tabla 20 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso FullSustentable-BAU Nafta utilitario,	26
Tabla 21 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso FullSustentable-BAU GNC utilitario,	27
Tabla 22 Eficiencia Well to Wheel de los casos BAU Nafta (izq.) y BAU GNC (der).	28
Tabla 23 Eficiencia Well to Wheel de los casos Sustentable CTCC (izq.) y PreSustentable CSFV (der).....	28
Tabla 24 Eficiencia Well to Wheel del caso FullSustentable.	28
Tabla 25. Consumo de Energía en el período de Análisis de 10 años, RTA=70000km.	29
Tabla 26 Emisiones de CO2 para VMCI y VE, según origen de energía primaria;.....	30
Tabla 27 Emisiones de CO2 para VE, energía primaria de SSFV;	30
Tabla 28 Resumen de cantidad de emisiones por tecnología y fuente de energía.	41
Tabla 29 Resumen de resultados observados en gráficos 1 al 14.	44
Tabla 30. Tipos de Contaminantes atmosféricos según su origen.	51
Tabla 31 Hoja 1 de 3 de Informe de Simulación de SSFV con PVSyst. Parámetros de Simulación.....	70
Tabla 32 Hoja 2 de 3 de Informe de Simulación de SSFV con PVSyst. Resultados Principales	71
Tabla 33 Hoja 3 de 3 de Informe de Simulación de SSFV con PVSyst. Diagrama de pérdidas.	72
Tabla 34 Niveles de carga según potencia.	86
Tabla 35 tiempos estimados de carga según niveles.....	86
Tabla 36 Parámetros de comparación de distintas tecnologías de baterías.	91
Tabla 37 Comparativa de pesos de baterías de distintas tecnologías e igual capacidad.	92
Tabla 38 prueba de disparo térmico de baterías de distintas tecnologías.	94
Tabla 39 Resumen de Subsidios que se dan en los países pioneros.....	105
Tabla 40 Resumen de carga impositiva a la importación de vehículos en Argentina.....	107

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Par motor y entrega de potencia en función de las RPM.....	11
Gráfico 2 Resultados del análisis de los CTP con tasa de descuento 10% y Energía de red.....	31
Gráfico 3 Resultados VAN PS-BAU Nafta y PS-BAU GNC, r=10% y Energía de red.	31
Gráfico 4 Resultados del análisis de los CTP con r=5% y Energía de red.	32
Gráfico 5 Resultados VAN PS-BAU Nafta y PS-BAU GNC, r=5% y Energía de red.	32
Gráfico 6 Resultados del análisis de los CTP con r=10% y Energía del MATER.	33
Gráfico 7 Resultados VAN S-BAU Nafta y S-BAU GNC, r=10% y Energía del MATER.	33
Gráfico 8 Resultados del análisis de los CTP con tasa de descuento 5% y Energía del MATER.	34
Gráfico 9 Resultados VAN S-BAU Nafta y S-BAU GNC, r=5% y Energía del MATER.	35
Gráfico 10 Resultados del análisis de los CTP con r=10% y Energía autogenerada.....	36
Gráfico 11 Resultados VAN FS-BAU Nafta y FS-BAU GNC, r=10% y Energía autogenerada.	36
Gráfico 12 Resultados del análisis de los CTP con r=5% y Energía autogenerada.....	37
Gráfico 13 Resultados VAN S-BAU Nafta y S-BAU GNC, a r=5% y Energía autogenerada.....	37
Gráfico 14 Resultados CTP y VAN FS-BAU Nafta gerencial, r=10% y Energía autogenerada.	38
Gráfico 15 Resultados CTP y VAN FS-BAU Nafta gerencial, r= 5% y Energía autogenerada.	39
Gráfico 16 Eficiencia Well to Wheel para todos los casos.	40

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

Gráfico 17 Consumo de Energía casos BAU Nafta y FullSustentable, para 10 años.....	41
Gráfico 18 Emisiones W2W unitarias de todas las tecnologías de vehículos para los casos analizadas....	42
Gráfico 19 Emisiones WTW Totales para todos los casos, período de 10 años y RTA=20000km/año.	43
Gráfico 20 Emisiones WTW Totales para todos los casos, período de 10 años y RTA=100000km/año.	44
Gráfico 21 Material particulado 2.5 (PM2.5) en los países de Latinoamérica.	52
Gráfico 22 Porcentaje de aporte de los Principales GEI al Efecto Invernadero Global.	54
Gráfico 23 Evolución del número de vehículos livianos producidos en el mundo, sin los comerciales.	57
Gráfico 24 Evolución de la producción de Vehículos Livianos y Comerciales en Argentina.	57
Gráfico 25 Evolución del número de vehículos livianos per cápita en EE. UU. y otros países del mundo. .	58
Gráfico 26 Evolución del número de vehículos livianos per cápita en Argentina.	58
Gráfico 27 Inversión Mundial en I+D en el sector automotriz.	59
Gráfico 28 Posible Mejoramiento de curva de carga del sistema con inyección de energía de los VE.....	75
Gráfico 29 Costo Nivelado de algunas Tecnologías de Almacenamiento (LCOS)	79
Gráfico 30 Precios representativos de VE vs. VMCI.	81
Gráfico 31 Escenario actual y futuro de reutilización secundaria de baterías de VE para almacenaje.	99
Gráfico 32 Ansiedad de rango: auto eléctrico vs. auto convencional (en km).....	103

Resumen

El objetivo de este trabajo fue someter a análisis distintas modalidades de utilización de los vehículos eléctricos y las variantes de recarga de estos en el contexto argentino para identificar, a partir de ese análisis, cuáles fueron los modelos de modalidades de utilización y variantes de recarga viables actualmente. También se señalaron recomendaciones y aclaraciones, a modo de conclusión de este trabajo, que se deberían aplicar para que se implemente el uso de los vehículos de forma viable en Argentina.

Se entiende que la movilidad eléctrica es uno de los pilares del proceso de transformación global de la matriz energética. Aun utilizando la composición actual de la matriz, la mayor eficiencia de los motores eléctricos respecto de los de combustión interna implica una reducción de emisiones de Gases De Efecto Invernadero (GEI). En adición, la combinación óptima se alcanza cuando la electricidad proviene de fuentes renovables.

Teniendo en cuenta las normativas de fomento vigentes en nuestro país para la generación de energías renovables, este proyecto provee un análisis completo de una solución asociada a la movilidad eléctrica, la cual puede ser de interés para la toma de decisión de los Grandes Usuarios del Mercado Eléctrico Mayorista que estén analizando la posibilidad de cumplir su obligación de consumo de energía eléctrica de origen renovable mediante proyectos de autogeneración (según la Ley 27191). Asimismo, las principales conclusiones aplican también para un usuario-generador de energías renovables enmarcado dentro de la ley de Generación Distribuida (Ley 27424).

En este trabajo se analizó como caso Business As Usual (BAU) una empresa que posee una flota Vehículos De Motor De Combustión Interna Corporativos (VMCIC), a nafta y a GNC, y se la comparó con diferentes casos hipotéticos de la misma empresa que opta por una flota de VE Corporativos (VEC), igual en cantidad. Se aplicó al caso BAU, en sus dos variantes de combustible, un análisis de sensibilidad del gasto de combustible en función de la distancia anual recorrida. Este gasto se incluyó en el cálculo del indicador Costo Total de Propiedad (CTP) durante diez años, descontando los flujos al presente.

El primer caso hipotético, definido en este trabajo como caso PreSustentable, constó en el reemplazo de la flota de VMCIC por VEC, y que estos fueran cargados con energía facturada por la distribuidora de energía eléctrica.

El siguiente caso hipotético, denominado Sustentable, se trató en reemplazar la flota de VMCIC por VEC, los cuales en este caso son recargados en la empresa mediante energía eléctrica adquirida en el Mercado Eléctrico Mayorista, en el contexto del Mercado a Término de Energías Renovables (MATER) entre privados.

Otro caso planteado fue el FullSustentable, que constó del mismo reemplazo de la flota de VMCIC por VEC, agregando autogeneración distribuida en la propia empresa, mediante un Sistema Generador Solar Fotovoltaico (SSFV), dimensionado a medida, sin contemplar acumulación ni excedente de energía, resultando un precio de la unidad de energía eléctrica particularizado.

Se aplicó a los casos hipotéticos, al igual que para el caso BAU, el mismo análisis de sensibilidad del gasto de energía en función de la distancia anual recorrida, para poder compararlos. Se incluyó otra variable para evaluar la sensibilidad del CTP en todos los casos, que fue la tasa de descuento que se aplicó a los flujos a lo largo de los 10 años, con el objetivo de variar el peso que aportan los flujos situados en años más avanzados del período de análisis.

La comparación se encuadró en el contexto de la legislación de la República Argentina, teniendo en cuenta las tarifas vigentes para el cálculo del consumo de combustibles hidrocarbúricos (nafta y GNC), las de generación, transporte y distribución de energía eléctrica de Cammesa; los precios

más comúnmente negociados para la venta/compra de la unidad de energía en el MATER; y los costos de generación y rendimiento de un SSFV. También se contemplaron los precios de mercado de vehículos de ambas tecnologías, sus costos de servicios de mantenimiento y sus piezas más comunes de recambio para incluirlos en el cálculo del concepto CTP. Considerando fuentes de información revisadas para el análisis de eficiencia y de las emisiones de gases de efecto invernadero, se utilizó para la comparativa el concepto “Pozo a la Rueda” (en este trabajo se habla de WTW, del inglés, Well to Wheel).

Se exponen los resultados de la comparación de manera tal que se pone en evidencia que los beneficios de la solución propuesta exceden los ambientales, observándose un posible impacto económico directo en las finanzas de la empresa que implemente la solución, mejorando más aún si se dieran ciertas condiciones del mercado financiero y el contexto económico argentino.

Si bien está fuera del alcance del trabajo cuantificar la mejora en la imagen corporativa de la compañía, o cuestiones tales como la posibilidad de acceder a nuevos mercados y oportunidades de negocio, estos factores son fundamentales en la confección de estrategias de las empresas. De hecho, los países económicamente más desarrollados han comenzado a exigir certificaciones ambientales de producción sustentable, al momento de permitir la importación de bienes de otros países, e incluso las casas matrices podrían exigirles a sus subsidiarias que las implementen. Por citar un ejemplo, específicamente en el sector agrícola, el cual toca a Argentina bien de cerca, desde la Unión Europea se le está exigiendo a nuestro país la certificación ASC (Agricultura Sustentable Certificada), para los insumos destinados a la producción de alimentos balanceados [1], lo cual involucra la producción de soja. A nivel industrial, la Ecolabel de la UE es una práctica cada vez más requerida [2], y políticas de sostenibilidad están siendo impulsadas por la Comisión Europea cada vez con más fuerza [3]. Entonces, el hecho de implementar una solución como la propuesta en este trabajo le permitiría a la empresa contar con herramientas más sólidas para acreditar este tipo de certificaciones y abrirse a nuevos mercados.

Como posibles puntos adversos de esta solución se habló en este trabajo de los desafíos técnicos y económicos que todavía enfrenta la tecnología de los VE, como la autonomía de las baterías y el alto costo de adquisición, por nombrar algunos de los que se desarrollaron en este trabajo.

Introducción

Los primeros VE prácticos surgieron a finales del siglo XIX precediendo el desarrollo de los Vehículos de Motor de Combustión Interna (VMCI). La ilustración 1 muestra uno de los primeros “carruajes eléctricos”, sin tiro a sangre, diseñado y construido por el ingeniero inglés Thomas Parker en 1895. En la ilustración 2 se ve a Thomas A. Edison, posiblemente considerado uno de los padres de la electricidad, junto a un automóvil eléctrico en 1913.



Ilustración 1 Automóvil eléctrico de Thomas Parker de 1895.
Fuente: *Electric Vehicles News*⁴.



Ilustración 2 Thomas A. Edison junto a un automóvil eléctrico en 1913.
Fuente: *Wikipedia*⁵

Si bien el VE alcanzó cierta popularidad a comienzos del siglo XX, los avances en los Motores De Combustión Interna, el desarrollo de métodos de producción en masa de automóviles más baratos y con un combustible a buen precio y fácil de almacenar, produjeron el abandono del VE, siendo los VMCI los dominadores absolutos del mercado hasta la actualidad.

Los VMCI contribuyeron a la actividad humana y económica masificando el transporte y produciendo una revolución en la economía y en el modo de vida de las sociedades modernas.

Como contrapartida, son una de las fuentes principales de emisiones contaminantes en la atmósfera, cuyo efecto acumulativo es uno de los responsables del cambio climático antropogénico y de una serie de externalidades negativas, tales como afecciones respiratorias - responsables de un alto porcentaje de enfermedades y muertes anuales- y emisiones sonoras, entre otras. La Electromovilidad (EM) puede contribuir de manera importante al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, por su potencial en combinación con fuentes de generación de energía de libres de emisiones de GEI, la reducción de la contaminación del aire y mitigación del cambio climático (Ver Anexo 1 - Contaminación atmosférica y sonora).

En línea con estos objetivos, desde hace algunos años los países se han propuesto descarbonizar sus sistemas de transporte, lo que implica un cambio radical en la forma en la que entendemos hoy la movilidad. Un cambio tan radical requiere un estudio adecuado de la tecnología que será introducida. La transición tecnológica hacia la EM (Anexo 2 - Transición Tecnológica) implica el reemplazo de la tecnología que actualmente usan los VMCI por el motor eléctrico (ME) y un sistema asociado de acumulación.

Las bondades del ME por sobre el motor térmico de los VMCI son diversas. En primer lugar, el ME es de menor tamaño y peso. Tal como se muestra en la Ilustración 3, a potencias comparables para ambas tecnologías, el ME mide menos que la tercera parte que el MCI, pero, sin embargo, el conjunto completo del tren de potencia eléctrico (incluyendo el banco de baterías) pesa 125% más que el de un tren de potencia estándar de un VMCI [6].

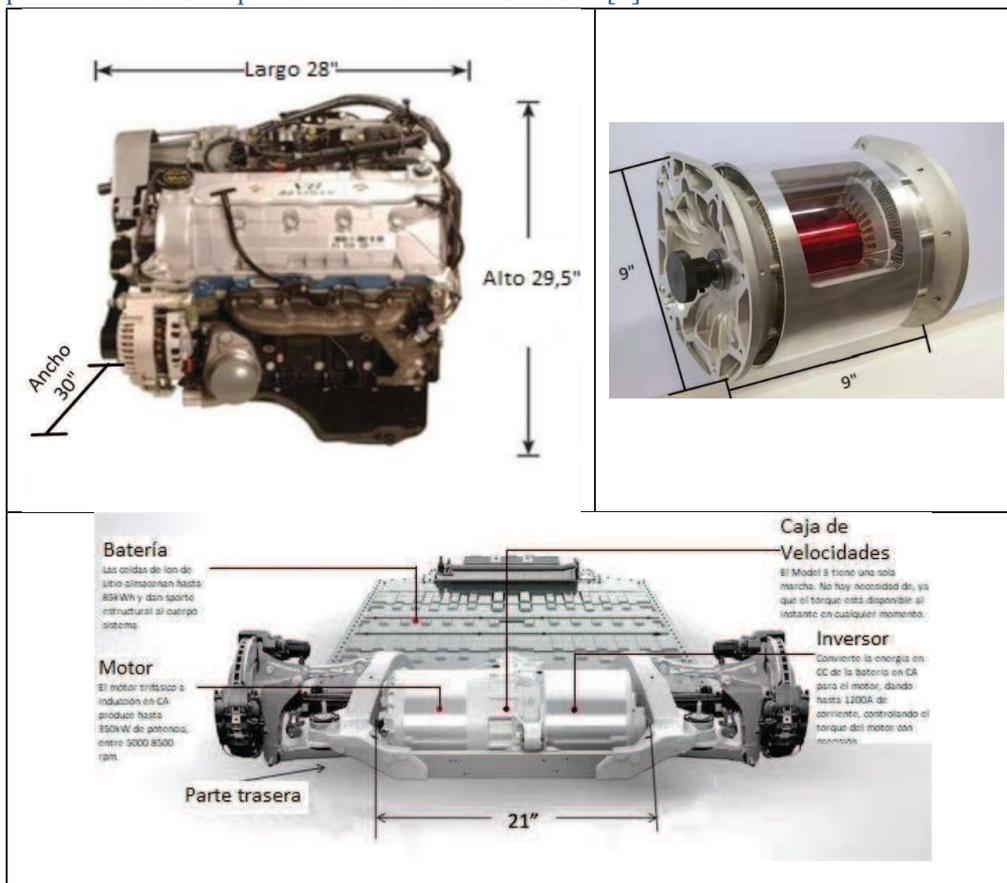


Ilustración 3 Comparación de dimensiones en pulgadas de MCI y ME.

Arriba izq.: MCI DOHC de 4,6l de Ford; Arriba der.: ME AWD del Model S de Tesla. Abajo: Tren de Potencia (ME, Caja de Velocidades e Inversor/gestor de Potencia) trasero del Model S de Tesla. Fuentes: Quora⁷. Elaboración propia.

En segundo lugar, la menor cantidad de piezas hace que los ME sean más livianos, más sencillos, y con menos partes móviles que los ⁸MCI, lo que resulta en que, por lo general, los primeros

sufran menor desgaste, y, por ende, menor mantenimiento requerido (Ver Anexo 3 - VMCI vs. VE e imágenes comparativas de Ilustración 3).

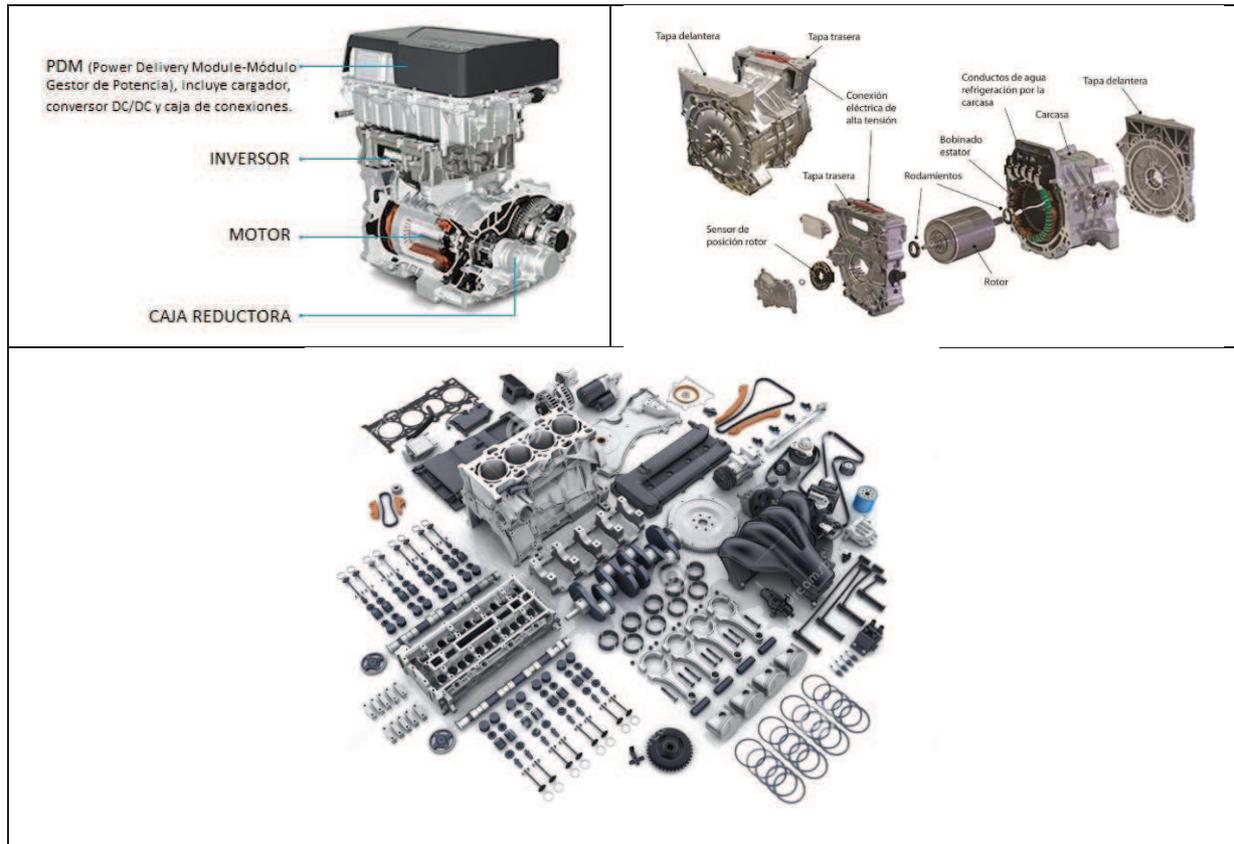


Ilustración 4 Comparación de partes de MCI y ME.
Arriba izq.: Tren de Potencia (PDM, inversor, ME y Caja Reductora) de Nissan Leaf; Arriba der.: Despiece de ME del Nissan Leaf. Abajo: Componentes de un MCI de cuatro cilindros en línea desarmado. Fuentes: Nissan Global⁹, Autoblog¹⁰ y Dreamstime¹¹. Elaboración Propia.

También, los valores de par y potencia entregada en función de las RPM de los ME son más elevados y constantes, respectivamente, en relativa igualdad de características de motores de ambas tecnologías. (Ver Gráfico 1).

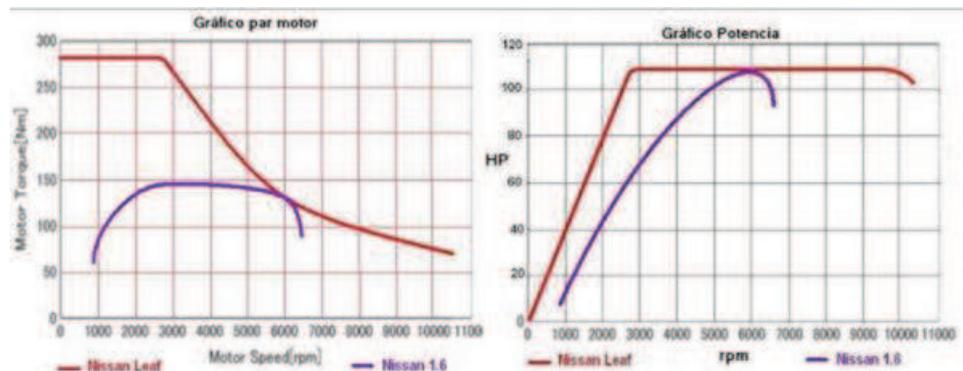


Gráfico 1 Par motor y entrega de potencia en función de las RPM del Nissan Leaf (VE) y del Nissan Qashqai (VMCI). Fuente: Autonoción¹².

Otra gran ventaja de los VE, en especial en trayectos en ciudades, es que, a diferencia del MCI, el VE no tiene consumo energético cuando está detenido, por ejemplo, en semáforos, congestiones, o cualquier otro tipo de esperas, en los cuales, los VMCI sí lo tienen, debido a que la tecnología start-stop [13] está incorporada en una pequeña porción de la flota mundial y además no tiene la suficiente aceptación por parte de los usuarios [14]. Otro aspecto relacionado a las frecuentes detenciones en una ciudad con mucha congestión y semáforos es que en la mayoría de los VE actuales, el ME funciona como generador y el sistema recarga las baterías del vehículo cada vez que el vehículo desacelera, al dejar de presionar el pedal del acelerador. Esto, a diferencia del VMCI, le da mejor rendimiento en ciudad.

La era de la movilidad eléctrica viene acompañada de otros elementos disruptivos con los que se retroalimenta positivamente, como la electrificación masiva, la automatización, la conducción autónoma y la conectividad. Ayudados por estas tecnologías, se viene gestando un cambio respecto a la forma de concebir la movilidad, a través de aplicaciones móviles que permiten alquilar un auto para moverse de un punto a otro, sólo por el lapso necesario y sin limitaciones de tiempo, y permitir que varios usuarios compartan viajes. Tanto el uso compartido (“carsharing”) como el uso comunitario (“carpooling”) del automóvil reducen el tráfico vehicular y su impacto en el medio ambiente. El uso comunitario permite que dos o más personas que van a un mismo destino o tienen tramos en común, compartan un vehículo, que de otro modo conducirían dos. El uso compartido de automóviles, por otro lado, permite que diversas personas usen un mismo automóvil rentado cuando lo necesiten, el cual puede encontrarse a disposición en la vía o estacionamientos públicos y se habilita su uso mediante una aplicación móvil. El uso compartido implica que las personas no necesitan tener su propio automóvil o un segundo automóvil en los hogares. En Argentina ya existen estos dos tipos de sistemas de uso de los automóviles, incluso ofrecido por las dos automotrices, Toyota y Nissan [15].

Si además de estas disrupciones tecnológicas se lograra la recarga de los VE con energías renovables distribuidas, se obtendría un transporte libre de emisión de gases contaminantes en todas las fases del proceso, desde la generación de energía eléctrica, hasta la conversión de ésta en energía mecánica y la posterior aplicación en las ruedas del VE. La energía solar fotovoltaica es la fuente renovable de energía eléctrica que mejor se adapta a la autogeneración in-situ, por su facilidad de instalación, modularidad, bajos costos –y en decrecimiento- y reducidos requerimientos constructivos y operativos. Su potencial de generación es elevado, por cuanto, si bien existen variaciones en la calidad del recurso, cualquier región de Argentina es apta para esta clase de generación. En particular las provincias de la franja central que concentran la mayor actividad económica. Por lo tanto, es el tipo de energía renovable distribuida que se considera en este trabajo. En el Anexo 4 - Simulación Sistema Solar Fotovoltaico se presenta una posible instalación Solar Fotovoltaica complementaria al sistema de carga de los VE.

La movilidad eléctrica tiene diversas sinergias con las energías renovables. Más allá de posibilitar el transporte de personas y bienes con un nivel bajo de emisiones (asociadas al ciclo de vida de los materiales utilizados), el almacenamiento eléctrico, particularmente en las baterías de los vehículos eléctricos (VE), trae aparejado un incremento de la flexibilidad global del sistema eléctrico y es uno de los factores necesarios para aumentar la penetración de las energías solar fotovoltaica y eólica, contribuyendo a suavizar los picos de demanda, promoviendo la generación descentralizada, y abriendo las puertas la incorporación de esta modalidad al desarrollo de redes inteligentes de distribución. En este contexto, los VE constituyen almacenadores de energía móviles. Estos conceptos son desarrollados con mayor profundidad en el presente trabajo en Anexo 5 - Aportes de la Electromovilidad al Sistema Eléctrico.

Los beneficios asociados a los VE, en cuanto al impacto positivo en el ambiente mediante la disminución/posible eliminación de emisiones contaminantes, son tratados en el Anexo 1, según ya se ha mencionado. La mayor eficiencia energética de los vehículos eléctricos, al igual que la conveniencia económica para los usuarios, son uno de los temas centrales de discusión de este trabajo. Otro de los principales elementos diferenciadores de los VE es que, comparados a los VMCI, prácticamente no generan sonidos en su funcionamiento. Sin embargo, por razones de seguridad vial, los fabricantes de VE les están incorporando sonidos adicionales. Este aspecto también se menciona en el Anexo 1.

Dentro de las posibles limitaciones que impiden la expansión masiva y acelerada de la EM se encuentran: el desarrollo de la Infraestructura de carga (Anexo 7 – Infraestructura de Carga), la autonomía de las baterías de los VE y las preocupaciones ambientales por la producción y disposición final de las mismas (Anexo 8 - Historia del arte de las Baterías) y el elevado precio de los vehículos eléctricos (Anexo 9 - Retos de la Electromovilidad).

Referido a las preocupaciones ambientales en torno a las baterías agotadas, es atinado resaltar que las baterías tienen una vida útil limitada para los vehículos eléctricos. Sin embargo, debido a que todavía tienen el 70 por ciento de su capacidad después del uso de vehículos eléctricos, existe un mercado secundario para almacenamiento en el hogar, alumbrado público, ascensores, centros de datos y otros usos. Una vez que estos usos han expirado, la batería se puede reciclar para obtener materiales reutilizables, como litio, cobalto y níquel. Sin embargo, todavía se necesitan procesos avanzados para que el reciclaje sea más económico. Varias empresas están trabajando en la tecnología. Sin embargo, si el mercado de vehículos eléctricos crece como indican estas proyecciones, el aumento significativo resultante en la demanda de baterías y materiales para baterías puede ser un gran desafío para los proveedores.

Medios y materiales para realizar el trabajo

- Páginas oficiales de las marcas de los VEC y VMCIC para determinar su precio de compra, valores de servicios según kilometraje variable;
- Manuales de los VEC y VMCIC para corroborar ciertas características de los modelos escogidos de ambas tecnologías;
- Para establecer el valor del Consumo Medio de los VMCIC, se consideraron de los manuales los consejos de manejo en distintos ámbitos;
- En el caso del valor inicial del RTA y sus pasos incrementales, se utilizaron planillas de Excel con algoritmos condicionales básicos.
- Software simulador *PVSystem* de instalaciones SFV, avalado por la cátedra de la materia Sistemas Fotovoltaicos dictada por el docente Claudio Bolzi. El trabajo de aprobación final de esta materia se utilizó en este trabajo y se incorporó en parte como Anexo;
- Hojas de datos de fabricantes de módulos SFV, para corroborar datos del *PVSystem*;
- Páginas oficiales de EDENOR [16], EPE Santa Fe – Prosumidores [17] y documentos varios de EPEC para establecer el precio de venta de kWh a la red como usuario-generador
- Manual y hoja de datos de Cargadores de VE de la potencia determinada para estimar compatibilidades y tiempos de carga;
- Planillas de Cálculo propias para analizar indicadores financieros, de emisiones y eficiencia, como también para realizar los gráficos propios a exponer en los resultados;

Metodología y desarrollo

A fin de realizar la comparación entre los VMCI y los VEC que pretende mostrar este trabajo, en primer lugar, se escogieron los modelos de VEC dentro de la oferta en el mercado argentino y luego los VMCI que serían tomados como casos de comparación. Actualmente el mercado argentino es muy acotado respecto a la oferta de VE. Los modelos que se adoptaron para este trabajo son la Renault Kangoo Z.E como utilitario para uso comercial y el Nissan Leaf, para ser usado por personas de cargos directivos o gerenciales empresariales, por tipo de prestación, autonomía y confort. El precio de ambos está publicado en las páginas de las respectivas marcas y la Tabla 1 los expresa en dólares, según la cotización de esa moneda del mes de agosto de 2020 que se aprecia en la Tabla 2. Esta misma cotización es la que se usó para la conversión de todos los parámetros que hayan sido averiguados en la moneda local.

Parámetros VMCI y VE				
		Recorrido Diario	Km/día	80,3
		Recorrido Total Anual →	Km/año	20000
		VEC	VMCI NAFTA	VMCI GNC
PrecioAdq.VEC/VMCI Gerencial		61600 [18]	48371 [19]	N/A
MantAnualVEC/VMCI Gerencial (regular s/rep)		130	360	N/A
PrecioAdq.VEC/VMCI Utilitario	USD →	30.822 [20]	17.666 [21]	18.318 [22]
MantAnualVEC/VMCI Utilitario (regular s/rep)	USD →	102	244	319
PagoAnualPatente (CABA)	USD →	Bonificado.	883	883

Tabla 1 Parámetros económicos varios de VMCI y VEC.
Fuentes varias; Elaboración propia

	Cotización Billetes	Cotización Divisas	
6/8/2020		Compra	Venta
Dolar U.S.A		71,7500	76,7500
Euro		82,0000	87,0000
Real *		1300,0000	1500,0000

Tabla 2 Cotización billete tipo vendedor del dólar y el euro del día 6 de agosto de 2020.
Fuente y elaboración: Banco de la Nación Argentina.

A su vez, en la Tabla 3 se pueden observar los parámetros de contexto macroeconómico argentino que se consideraron para escoger la tasa de descuento en dólares que se aplicó para trasladar a tiempo presente los flujos futuros en el cálculo del CTP y VAN: el Costo Financiero Total que resulta de las tasas que están aplicando las concesionarias Renault para la Kangoo naftera es de 21,40% [23]; la tasa FED está fija en 0,25% [24], pero un valor normal es del 0,5%; el riesgo país en Argentina, que promedió los 2000 puntos en los últimos meses [25]; y el Tipo de cambio, que

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

se tomó a AR\$/USD76,75 (Ver Tabla 2) e inflación anual estimada para el 2020 del 33% [26]. Teniendo en cuenta estos parámetros, los cuales conforman un contexto muy inestable en el país, se toman como tasa de descuento para trasladar a momento presente los flujos del CTP y VAN las tasas de interés que implementan las entidades bancarias argentinas al otorgar créditos hipotecarios, o para adquisición de capital de trabajo a MiPyMes argentinas [27]. Estos valores oscilan entre el 5 y el 10%, dependiendo del capital solicitado y los períodos y el tipo de financiación.

CFT(efect.)+IVA	Tasa FED	Riesgo País	Inflación Anual Estimada	T/C Oficial	Crédito en USD	
21,40% [23]	0,50% [24]	2000 pts. Promedio [25]	33% [26]	\$ 76,75	3% exterior*	5/10% Argentina*
*Nota: hipoteca a 25/30 años o capital de trabajo para MiPyMes						

Tabla 3 Estimación de tasa de descuento para el cálculo del CTP y VAN.
Fuentes varias; Elaboración: propia.

Para el caso del VEC utilitario que se adoptó, por lógica se compara contra el similar de la misma marca, en tecnologías naftera y a GNC, cuyo precio figura en la página oficial de dicha marca y los valores se ven en la Tabla 1. Por parte del caso gerencial, con un criterio similar al que suelen tener algunas empresas en cuanto al VMCI que ceden a sus colaboradores con cargos gerenciales, se tomó el modelo 5008 SUV de la marca Peugeot, cuyo valor de 0km se volcó también en la Tabla 1, según valores reales de concesionarias oficiales y en portales de noticias del sector. En la misma tabla se observan los valores de mantenimiento anual para los VEC y VMCI utilitarios que fueron tomados por las planillas de cálculo del CTP. Estos fueron variando automáticamente, en función del RTA, que fue seleccionable de una lista desplegable. Esta dependencia de los valores de mantenimiento con el RTA se aprecia en la Tabla 4, cuyos valores en AR\$ fueron calculados a partir de la página de servicios de la marca [28] y luego convertidos a USD al tipo de cambio adoptado. Para el caso del mantenimiento anual de los vehículos gerenciales, se tomaron para simplificar, los mismos valores multiplicados por un factor de adecuación, en función de valores de mantenimiento investigados en la red [29] [30].

Gasto Anual Servicio [AR\$]			Recorrido Total Anual [Km/año]	Gasto Anual Servicio [USD]		
Kangoo Zero	Kangoo Nafta	Kangoo GNC		Kangoo Zero	Kangoo Nafta	Kangoo GNC
3215	9015	12560	10000	42	117	164
7855	18745	24460	20000	102	244	319
11070	27760	35660	30000	144	362	465
15710	39965	50010	40000	205	521	652
18925	48980	61195	50000	247	638	797
23565	92505	106905	60000	307	1205	1393
26780	101520	118065	70000	349	1323	1538
40440	128780	147495	80000	527	1678	1922
43655	137795	158695	90000	569	1795	2068
48295	147525	170570	100000	629	1922	2222
51510	156540	181755	110000	671	2040	2368
56150	202540	229940	120000	732	2639	2996

Tabla 4 Valores de servicios de mantenimiento anual de los VE y VMCI. Junio 2020.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

A la izq.: en AR\$; a la der.: en USD. Fuente: Renault. Elaboración: propia.

En la siguiente imagen se aprecian las partes que se revisan/recambian en cada servicio de los VMCI. Debido a que el único ítem que se diferencia de los VE es el embrague, y por cierto el más significativo, es el que se incluyó en, sumándolo en el año que correspondiese, en función del RTA.

10K	Lámparas	Escobillas				
20K	Lámparas	Escobillas				
30K	Lámparas	Escobillas	Past.Freno			
40K	Lámparas	Escobillas				
50K	Lámparas	Escobillas	Batería	Amortiguadores	Neumáticos	
60K	Lámparas	Escobillas	Past.Freno			
70K	Lámparas	Escobillas				
80K	Lámparas	Escobillas				
90K	Lámparas	Escobillas	Past.Freno	Amortiguadores	Disc.Freno	Neumáticos
100K	Lámparas	Escobillas	Batería	Embrague		

Ilustración 5 Partes que se revisan/recambian en cada servicio de los VMCI.
Fuente: Renault; Elaboración: propia.

A efectos ilustrativos, se muestra en las siguientes imágenes, capturadas de la página de la marca, cómo se fueron tomando los valores de los servicios de mantenimiento en función de la cantidad de kilómetros que el vehículo posea.

Hacé tu cálculo

Costos oficiales

Seleccioná el Motor de tu modelo. Luego podrás seleccionar tu ubicación. El kilometraje de tu vehículo. Y al finalizar dispondrás del costo estimado. Una solución sencilla para hacer tus días más sencillos!

Seleccioná el Service 60.000 Kms

SERVICE INDICADO	COSTO
Service Básico	3.215
Control aire acondicionado	\$ 1.425*
Cambio filtro de nafta	
Cambio correas y tensores	
Total Service Básico	\$ 4.640
Opcional Mantenimiento con Lubricante Semisintético	No Aplica
Opcional Mantenimiento con Lubricante Sintético	No Aplica



Kangoo ZE - Motor: BT1AN1

* Operaciones adicionales habituales. Para algun vehiculo las operaciones y cambios pueden diferir según lo que figure en su manual de garantía y mantenimiento.

Ilustración 6 Captura de valor de servicio de los 60000 km de VEC.
Fuente: Renault. Elaboración: propia.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

Hacé tu cálculo

Costos oficiales

Seleccioná el Motor de tu modelo. Luego podrás seleccionar tu ubicación. El kilometraje de tu vehículo. Y al finalizar dispondrás del costo estimado. Una solución sencilla para hacer tus días más sencillos!

Seleccioná el Service

SERVICE INDICADO	COSTO
Service Básico	9.015
Control aire acondicionado	\$ 34.510*
Cambio filtro de nafta	
Cambio correas y tensores	
Total Service Básico	\$ 43.525
Opcional Mantenimiento con Lubricante Semisintético	\$ 320
Opcional Mantenimiento con Lubricante Sintético	\$ 2.145



Kangoo - Motor: K4M - 1,6l 16v

* Operaciones adicionales habituales. Para algun vehiculo las operaciones y cambios pueden diferir según lo que figure en su manual de garantía y mantenimiento.

Ilustración 7 Captura de valor de servicio de los 60000 km de VMCI.
Fuente: Renault. Elaboración: propia.

A continuación, se fijó arbitrariamente el Consumo Medio de los VMCI, tanto a nafta como a GNC, en un valor conservador de 10km/l, que tiene en cuenta una proporción de tramos urbanos con tránsito denso, y tramos sobre autopista o rutas, en donde se tienen rendimientos mejores por unidad de volumen de combustible. Se adoptó que los VMCI funcionen con nafta tipo Premium. Según se observó en datos del Banco Mundial [31], su Precio Histórico Promedio es de 0,93USD/litro, pero considerando las variaciones en función de la zona geográfica del país en que esté ubicada la estación de expendio de combustible, el mismo puede variar hasta casi un 16% más caro (provincia de Misiones) [32]. Entonces se adoptó para este trabajo un Precio Actual Promedio en estaciones de servicio de todas las marcas de todo el país de 1USD/litro y 0,30USD/m³, los cuales son precios de referencia estándar para evaluaciones del precio de combustible en Argentina. También se contempló para los VMCI el precio del equipo de GNC, el valor de la prueba hidráulica que se le debe realizar cada 5 años a éste y el valor del kit de embrague y mano de obra para su recambio. Estos parámetros pueden apreciarse en la tabla siguiente.

Parámetros de Combustible, equipos y repuestos.		
ConsMedio	km/ m ³ o ltr	10
Precio Nafta	USD/ltr	1,00
Precio GNC	USD/m ³	0,30
PrecioEqGNC	AR\$	50000 [33]
PruebaHidráulica	USD	51 [34]
Cambio Embrague	USD	293 [35]

Tabla 5 Parámetros de Combustible, equipos y repuestos.
Fuentes: varias: Elaboración: propia.

Para el caso de los VEC, se calculó el consumo de energía [kWh/km] en función de las capacidades de sus baterías y la autonomía, ambos parámetros informados por los fabricantes en sus hojas de datos. Ver Tabla siguiente:

Consumo VECs (Kangoo ZE y Nissan Leaf)		
Cosumo Kangoo ZE	33kWh/270km=0,12 [36]	kWh/km
Consumo Anual Kangoo ZE	RTA*Consumo	kWh/año
Cosumo Nissan Leaf	40kWh/389km=0,10 [37]	kWh/km
Consumo Anual Nissan Leaf	RTA*Consumo	kWh/año

*Tabla 6 Resumen de consumo unitario y anual (teórico) de VEC.
Fuente: Renault/Nissan; Elaboración propia.*

Para todos los casos de comparación se consideró como variable de sensibilidad el Recorrido Total Anual (RTA), fijándose en 20.000 km como inicio del análisis, lo cual es razonable para un automóvil de uso personal, tal como fueron considerados en este trabajo, los vehículos de uso por directivos, nombrados en párrafos anteriores.

Luego, en el caso de los utilitarios, mediante planillas funcionales de Excel, se fue aumentando el RTA en intervalos de a 10.000 km adicionales por año, hasta llegar a un máximo de análisis de 100.000 km, cómo se mostró en la Tabla 1. En las evaluaciones de sensibilidad al RTA en las cuales éste arroja como resultado un recorrido diario mayor y cercano al límite de la autonomía de la batería, se consideró una carga parcial por semana en un hipotético puesto de carga pública. La Kangoo Z.E. no admite carga rápida en DC, únicamente semi-rápida de potencia media en CA, por lo que se consideró una hora de carga en 22kVA de potencia (380V-32A), a un valor estimado de venta, acorde a valores observados en otros países, de 0,9 usd/kWh [38] (Ver Anexo 9 Retos de la Electromovilidad). Esta carga debería preverse para hacerse en algún horario de recreo de los trabajadores que utilizan el vehículo (el almuerzo, por ejemplo). Para el caso de los vehículos de cargos gerenciales, se hizo la evaluación únicamente hasta 40.000 km por año, ya que se consideraron vehículos de bajo RTA.

Indistintamente del caso, en función de los valores de RTA incrementales seleccionados, se incluyeron los flujos por mantenimiento anual correspondientes con los de la Tabla 4. Además, para ambas tecnologías de vehículos, se situaron en distintos años del período de análisis y con mayor frecuencia, conforme el RTA aumenta, flujos adicionales: reparaciones mecánicas y cambio de batería, para el caso del VMCI y del VEC, respectivamente.

El Nissan Leaf es apto para ser cargado tanto en modalidad de carga convencional en Corriente Alterna (CA), como en carga rápida en Corriente Continua (CC) [39]. Dado que en este caso el VEC estaría la mayoría del tiempo estacionado en el establecimiento de trabajo, durante todo el rango horario habitual de oficina (9 horas, de 8 a 17, aproximadamente), la carga bastaría con que sea convencional en CA. Además, la batería del VEC rara vez debería estar descargada por debajo del 20% de su capacidad, ya que así lo recomiendan los fabricantes. Si así fuera el caso, durante toda la jornada de trabajo el VEC podría llegar a cargarse en un 100%, dependiendo de la potencia del cargador.

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior y que el VEC utilitario se cargaría de noche, se tomó entonces el criterio de escoger un cargador en CA, hogareño o de carga pública, de una salida de 3,7kVA de potencia, el cual debería entregar unos 33kWh en aproximadamente 9 hs, que es más del 80% de la capacidad de la batería, que se indica por el fabricante que actualmente es de 40kWh [40].

Las consideraciones del párrafo anterior fueron válidas también para el análisis en los casos de los VEC utilitarios, con la salvedad que los mismos sí regresan a la empresa al final de cada jornada con la batería prácticamente descargada, en los casos en los que, por aumentar el RTA, el recorrido diario se acerca a la autonomía del VE. Se agrega a esta diferencia el hecho que la batería del VEC utilitario que se escogió es de menor capacidad, 33kWh, por lo que, la potencia del cargador elegida fue suficiente para prever la totalidad de la carga de la batería, durante la noche, mediante energía de la red de distribución.

Con el fin de diseñar un sistema fotovoltaico capaz de generar la energía equivalente a la que demanda un VEC para recargarse mínimamente en un 80%, se hicieron simulaciones con el software PVSyst (ver Anexo 4 - Simulación de Sistema Solar Fotovoltaico), empezando por la generación SFV para compensar el requerimiento de energía diaria a utilizar por el Cargador del VE. Luego, brevemente se simuló el posible sobredimensionamiento del sistema para que inyecte la generación de energía excedente a la red de distribución, o bien, utilice la misma para autoconsumo. Sin embargo, por lo que de antemano se observó en las planillas de cálculos económicos en cuanto a flujos entrantes, se dejó de lado esta variable del análisis.

Con la potencia de carga determinada, las capacidades de las baterías de los VE conocidas, y el recorrido diario típico de los vehículos, se determinó el tamaño apropiado del conjunto de paneles a considerar para la instalación SFV, lo suficiente para cubrir la potencia de 3,7kW y no incurrir en un Capex que influyera demasiado negativamente en los flujos de costos.

Para no complicar la simulación SFV, se supuso que cualquier empresa, incluso Pyme, cuenta con disponibilidad de una suficiente exposición apropiadamente al sol la cantidad de horas necesarias para obtener la generación de energía esperada, en promedio, tanto en verano como en invierno. Vale aclarar que el SSFV se pensó como sistema ongrid, por lo que, si eventualmente la generación no compensara el consumo por carga, no es inconveniente, ya que el cargador toma energía de la red.

Luego, con el fin de contar con elementos a ser expuestos a comparación, se realizaron los cálculos del indicador del Costo Total de Propiedad (CTP), para todos los casos presentados, basado en el descuento a valor presente de los flujos a lo largo de un período de evaluación de 10 años. Además del RTA, se agregaron otras dos variables para evaluar la sensibilidad de los flujos, que fueron el precio de la unidad de energía de recarga de los VEC (valor real de red de distribución eléctrica, valor MATER - Mercado A Término de Energías Renovables - y valor autoconsumo) y la tasa con la que se descontaron a valor presente los flujos. A priori, se supo que los resultados de todos los análisis de CTP serían negativos, ya que ninguno tiene flujos positivos, ni siquiera el caso FullSustentable de autoconsumo, que por tratarse de un pequeño SSFV dimensionado ad-hoc para generar exclusivamente para abastecer al cargador, no genera excedente de energía para la venta, a excepción de los fines de semana y los días feriados. Por razones que se explican luego, se dejó fuera del alcance de este trabajo el caso en el cual el SSFV se dimensionara para generar excedente para venta y/o acumulación.

Para el caso BAU, al calcular el CTP se contempló la inversión inicial (Capex) por la compra del nuevo VMCI, ya sea gerencial o utilitario, y los flujos, todos salientes (negativos), por Operación y Mantenimiento (OyM) y pago de impuestos.

En el caso PreSustentable, el Capex incluyó el VEC, el cargador y su instalación. Los flujos, también son todos salientes, correspondientes a OyM, pago de impuestos, e incluyendo el gasto por recambio de la batería, calculado según el precio del kWh de las baterías de litio estimado para cada año en que se computó, en función del RTA y el estado de salud de la batería (SOH, del inglés, State of Health).

En el caso Sustentable, el Capex considerado fue el mismo que para el PreSustentable.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

Para el caso FullSustentable, se le sumó la inversión asociada a la instalación llave en mano del SSFV para la generación distribuida al Capex de los dos casos anteriores. Debido a esto, además de considerar los mismos flujos salientes que los casos Sustentable y PreSustentable, se agregaron flujos entrantes como resultado de la inyección del excedente de energía generada a la red.

Cálculo del CTP

A continuación, se muestra el detalle de cómo se evaluaron los CTP de los casos analizados, presentando las planillas que se implementaron.

Casos BAU Nafta y BAU GNC.

CTP BAU NAFTA (VMCIC Utilitario)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible [USD], en % partiendo del ratio USD/ARS del año 1									
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 17.666										
Opex [USD]	-	2.273	2.304	2.336	2.369	2.455	2.441	2.479	2.519	2.560	2.604
Egresos [USD]	-	883	895	908	920	934	948	963	978	994	1.011
Reparaciones mecánicas [USD]	-	-	-	-	-	293	-	-	-	-	293
SUMA [USD]	- 17.666	- 3.157	- 3.199	- 3.243	- 3.290	- 3.683	- 3.389	- 3.442	- 3.497	- 3.555	- 3.908
VAN [USD]	- 17.666	- 2.870	- 2.644	- 2.437	- 2.247	- 2.287	- 1.913	- 1.766	- 1.631	- 1.507	- 1.507
CTP [USD]	-38.475 USD										

Tabla 7 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso BAU Nafta utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.

Elaboración Propia.

CTP BAU GNC (VMCIC Utilitario)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible [USD], en % partiendo del ratio USD/ARS del año 1									
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 18.318										
Opex [USD]	-	931	943	956	970	1.036	1.000	1.015	1.031	1.048	1.066
Egresos [USD]	-	883	895	908	920	934	948	963	978	994	1.063
Reparaciones mecánicas [USD]	-	-	-	-	-	293	-	-	-	-	293
SUMA [USD]	- 18.318	- 1.814	- 1.838	- 1.864	- 1.890	- 2.263	- 1.948	- 1.978	- 2.010	- 2.043	- 2.422
VAN [USD]	- 18.318	- 1.649	- 1.519	- 1.400	- 1.291	- 1.405	- 1.099	- 1.015	- 938	- 866	- 934
CTP [USD]	-30.435 USD										

Tabla 8 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso BAU GNC utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.

Elaboración Propia.

El **Capex** en el año 0, está conformado por el valor de compra del VMCI escogido. Los valores en el año 1 son todos flujos de fondos salientes en USD. La fila de **Opex** responde al Consumo Medio Valorizado del vehículo, ya presentado en este trabajo, y al mantenimiento anual de vehículo, ambos afectados por una tasa de inflación interanual. La fila de **Egresos** responde al pago del impuesto por patente de CABA, que se calcula como el 5% del valor fiscal del vehículo. En la fila **Reparaciones Mecánicas** se tuvieron en cuenta los gastos en los recambios de partes que más frecuentemente se realizan en un vehículo de esta tecnología. Dependiendo del RTA, estos gastos se computaron en distintos años del período de análisis, según la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned}
 &= -SI(\text{RecorrAnual}=10000; \$K\$32; 0) - SI(\text{RecorrAnual}=20000; \$K\$32; 0) - \\
 &SI(\text{RecorrAnual}=30000; \$K\$32; 0) - SI(\text{RecorrAnual}=40000; \$K\$32; 0) - \\
 &SI(\text{RecorrAnual}=50000; \$K\$32; 0) - SI(\text{RecorrAnual}=60000; \$K\$32; 0) - \\
 &SI(\text{RecorrAnual}=70000; \$K\$32; 0) - SI(\text{RecorrAnual}=80000; \$K\$32; 0) - \\
 &SI(\text{RecorrAnual}=90000; \$K\$32; 0) - SI(\text{RecorrAnual}=100000; \$K\$32; 0)
 \end{aligned}$$

Donde la celda K32 es el monto por recambio de embrague y la correspondiente mano de obra que se mostró en la Tabla 5. Esta fórmula es la que se incluyó en el ítem reparaciones mecánicas, en la columna del año 10 del período de evaluación, en el cual coincide en incluir el condicional de todos los valores de RTA que, multiplicados por 10 años, resulta en múltiplos de 100000 km.

En los años subsiguientes, los valores responden a los mismos conceptos, afectados por una tasa de ajuste de precios, basada en la inflación interanual en dólares.

Casos PreSustentable y Sustentable

Para los casos PreSustentable y Sustentable, las planillas fueron las siguientes:

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

CTP PreSust/Sust VEC Utilitario	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
RTA: 20000 km/año		Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio en USD de la energía comprada/vendida a la distribuidora, en % partiendo del ratio USD/ARS del año 1									
Tasa ARS/US\$ ajuste Dist/Venta de E		1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%	
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 34.822											
Opex [USD]	-	402	408	413	419	477	433	439	446	454	461	
Egresos [USD]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cambio de batería [USD]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.900	
SUMA [USD]	- 34.822	- 402	- 408	- 413	- 419	- 477	- 433	- 439	- 446	- 454	- 461	
VAN [USD]	- 34.822	- 366	- 337	- 311	- 286	- 296	- 244	- 225	- 208	- 192	- 178	
CTP [USD]	-37.466 USD											

Tabla 9 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso PreSustentable: utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.
Elaboración Propia

CTP PreSust/Sust VEC Utilitario	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
RTA: 20000 km/año		Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio en USD de la energía comprada/vendida a la distribuidora, en % partiendo del ratio USD/ARS del año 1									
Tasa ARS/US\$ ajuste Dist/Venta de E		1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%	
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 34.822											
Opex [USD]	-	349	354	359	364	421	376	382	388	394	401	
Egresos [USD]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cambio de batería [USD]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.900	
SUMA [USD]	- 34.822	- 349	- 354	- 359	- 364	- 421	- 376	- 382	- 388	- 394	- 401	
VAN [USD]	- 34.822	- 318	- 293	- 270	- 249	- 261	- 212	- 196	- 181	- 167	- 155	
CTP [USD]	-37.122 USD											

Tabla 10 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso Sustentable: utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.
Elaboración Propia

Para estos casos, el **Capex** del año 0 contempla el precio de adquisición del VEC utilitario sumado al precio de adquisición del cargador, su instalación y la obra civil asociada. Así mismo, en el año 0, en la fila Ingresos, si se incluyera un posible descuento del 10% en el valor de adquisición del VEC, que sería otorgado por la misma automotriz o concesionaria, si bien hipotético, es un instrumento que no sería ilógico de aplicar, ya que está acorde con los valores que aplican los países más avanzados en la materia (Ver Anexo 9 – Retos de la EM).

Luego, a partir del año 1, en la fila **Opex** se incluyó el gasto de energía eléctrica para la recarga de la batería del VE, el mantenimiento anual del VEC y del cargador, lo cual se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Opex} = [-(\text{Consumo VEC Utilitario [MWh/km]} * \text{RTA [km/año]} * \text{Precio Energía Eléctrica [usd/MWh]}) - \text{MantAnCarga} - \text{MantAnVE}] * \text{TasaAjuste}, \text{ siendo:}$$

Para el primer término:

- El **primer factor**, el cociente entre la capacidad de la batería del VEC utilitario escogido y la autonomía del mismo - ambos indicados por el fabricante -, que resultó en 0,12kWh/km;
- El **segundo factor**, el Recorrido Total Anual (RTA) del VEC. Éste es variable, pero en las planillas de las ilustraciones anteriores, se muestran los casos para RTA = 20000km/año;
- El **tercer factor** el precio real de la energía eléctrica utilizada. En el caso PreSustentable, se corresponde con el precio que Cammesa le vende a la distribuidora eléctrica, calculado en 81,62 usd/MWh. Para el caso Sustentable, se tomó el precio de la energía eléctrica utilizada de 60 usd/MWh, que corresponde al MATER (Ver Tabla 11);

El **segundo término**, el monto abonado por mantenimiento anual del cargador;

El **tercer término**, el monto abonado por mantenimiento anual del VE;

- Todos los términos expresados en USD e influenciados por la tasa de ajuste de la fila tercera de arriba.

Precio EE [usd/MWh]
Precio MWh Edenor T2

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

81,62 [41]
Precio MWh MATER
60,00 [42]
Precio MWh Autoconsumo
98,21 [43]

Tabla 11 Resumen de precios de la Energía Eléctrica según origen de compra.

Fuentes: varias; Elaboración: propia.

Extraordinariamente, se contempló en la fila **Cambio de Batería**, con formato condicional al RTA, el recambio de la batería de tracción (o parte de las celdas que estén defectuosas, según diagnóstico), fijando como criterio de cambio, 300.000 km de uso o 10 años de vida [44], lo que ocurra primero, con la hipótesis de que el estado de salud de la batería sea en este punto menor o igual al 70%, el cual se estableció como umbral de tolerancia de desgaste para la misma. Este parámetro, que se fijó arbitrariamente como decisivo para el cambio de la batería, en realidad es muy relativo a las expectativas y uso del VEC por parte del usuario/empresa. Se tuvo en cuenta que a la empresa propietaria del VEC utilitario ya no le es funcional que la autonomía se haya reducido en un 30% (asumiendo que la autonomía está directamente relacionada con el SOH) y por eso tomó la decisión del recambio. A otras empresas/usuarios, la autonomía que el VEC utilitario aún pueda brindar, les puede resultar funcional, por eso, se trata este aspecto en el Anexo 8 - Historia del arte de las Baterías. En la tabla siguiente se resumen los datos relevantes para calcular el gasto por el cambio de batería del VEC Utilitario.

Batería VEC Utilitario: Criterio de cambio → 300000km		
Capacidad	kWh	33
Garantía (No implica cambio)	años o km	5 o 100000
SOHAceptada	%	70

Tabla 12 Resumen de datos de Recambio de Batería de VEC Utilitario.

Fuente: Renault; Elaboración: Propia.

La siguiente es la fórmula implementada para la inclusión de este flujo en el año 10 del período de análisis, a modo de ejemplo:

$$\begin{aligned}
 &= -SI(Y(\text{RecorrAnual}=100000; \text{SOHAceptada} \geq 70); W38; 0) - \\
 &SI(Y(\text{RecorrAnual}=90000; \text{SOHAceptada} \geq 70); W38; 0) * 0,5 - \\
 &SI(Y(\text{RecorrAnual}=60000; \text{SOHAceptada} \geq 70); W38; 0) * 0,5 - \\
 &SI(Y(\text{RecorrAnual}=30000; \text{SOHAceptada} \geq 70); W38; 0) * 0,5 - \\
 &SI(Y(\text{RecorrAnual}=20000; \text{SOHAceptada} \geq 70); W38; 0) * 0,5
 \end{aligned}$$

Donde, además del formato de la celda condicionado al RTA, se agregó la condición del estado de salud de la batería del VEC tolerado por el propietario. En función de los múltiplos del RTA, se computó el gasto al comienzo del año siguiente al que se alcanzaron los 300.000 km, ya que se supone que esa distancia se alcanza al final del año en cuestión. Por ejemplo, para el caso de RTA=90.000 km, al cabo del año 10 se cumplen 900.000 km (sería el tercer cambio de batería a lo largo del período de análisis), por lo que se multiplica por un factor de 0.5 el valor de la celda W38 (corresponde al año 2030 de la Tabla 13), ya que formalmente este gasto estaría fuera del período de análisis.

Dependiendo del año en que se computó el gasto, el precio del kWh unitario se estimó según proyecciones del mercado de las baterías de iones de litio [45], datos limitados y respaldado a un

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

precio máximo de USD10.000 por la batería completa del VEC gerencial [46]. Se ven estas proyecciones y precios de baterías completas en la siguiente tabla:

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Precio kWh [usd/kWh]	143,0	131	121	112	104,0	96	90	84	79	74	70
Precio Batería Completa VEC Utilit [usd]	5899	5404	4991	4620	4290	3960	3713	3465	3259	3053	2888
Precio Batería Completa VEC Gerencial [usd]	7150	6550	6050	5600	5200	4800	4500	4200	3950	3700	3500

Tabla 13 Proyección del precio de las baterías de litio.
Fuente: BNEF. Elaboración: propia.

La fila **Egresos**, que se encuentra vacía, se corresponde con el monto simbólico del pago anual de la patente con un descuento del 100% para vehículos radicados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires [47].

Caso FullSustentable

Para el caso FullSustentable, la planilla para el cálculo del CTP fue la siguiente:

CTP FullSust VEC Utilitario	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RAT: 20000 km/año		Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio en USD de la energía comprada/vendida a la distribuidora, en % partiendo del ratio USD/ARS del año 1								
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E		1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capex [USD]	-	38.322									
Opex [USD]	-	404	410	415	421	429	435	442	449	456	464
Ingresos [USD]	-	143	145	147	149	151	153	156	158	161	164
Egresos [USD]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cambio de batería [USD]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SUMA [USD]	-	38.322	261	265	269	272	328	281	286	290	300
VAN [USD]	-	38.322	238	219	202	186	204	159	147	135	116
CTP [USD]		-40.052 USD									

Tabla 14 Planilla tipo del cálculo del CTP. Caso FullSustentable: utilitario, RTA=20000km/año y r=10%.
Elaboración Propia.

En este último caso, el **Capex** del año 0, además del precio de adquisición del VEC utilitario, el precio de adquisición del cargador, su instalación y la obra civil asociada, contempla el monto de adquisición del SSFV, en modalidad llave en mano.

Así mismo, en el año 0, en la fila Ingresos, se vuelve a mencionar la misma hipótesis sobre un posible descuento del 10% en el valor de adquisición del VEC, que otorgarían la misma automotriz y/o la concesionaria y, además, se adiciona a la misma hipótesis una posible bonificación en el monto correspondiente con el SSFV, lo cual estaría relacionado con una política estatal de incentivar la generación distribuida.

En este caso, el **Opex** se calculó de manera similar a los anteriores, tomando como precio de la energía eléctrica utilizada de Autoconsumo en 98,21 USD/MWh (Ver Tabla 11), correspondiente al valor que se calculó para el SSFV.

Además, se incluyeron en el Opex, de manera condicionada a los valores de RTA que respondan a un recorrido diario mayor a la autonomía del VEC utilitario, recargas públicas de la batería, a un precio estimado de 0,9 USD/kWh, en un equipo de 22kW de potencia, por el lapso de una hora, 4 veces al mes. Esto resulta en un valor de USD19,80 cada carga pública para el año base, siendo afectado en los años subsiguientes por la tasa de ajuste.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

Recarga de Batería en sitios públicos	
PrecioKWh [usd/kWh]	0,9
PotQpública [kW]	22
CantQpúblicas/mes [#]	4
PrecioCargaPública22Kw [usd]	19,8

Tabla 15 Resumen de valores de recarga de Batería en sitios públicos.
Fuentes varias; Elaboración propia.

La fila **Ingresos** a partir del año 1 representa la posible ganancia que puede generar la venta de energía generada excedentemente mediante el SFV. Si se optara por una modalidad de autoconsumo completa, este ingreso simbolizaría la disminución equivalente de la facturación por parte de la distribuidora de energía eléctrica.

En la fila **Cambio de Batería**, se consideró el cambio de la batería de la misma manera y con los mismos criterios que en los casos PreSustentable y Sustentable.

Cálculo del VAN

El Valor Actual Neto (VAN) [48] se calculó planteando la diferencia entre dos casos a comparar. No se hizo simplemente la resta del valor final del CTP descontado de cada caso, sino que se efectuó la diferencia entre los flujos correspondientes situados en cada año del período de análisis, aún sin descontar, con el objetivo que la tasa de descuento y su variación actúen apropiadamente sobre las diferencias. La primera comparación se dio entre el caso BAU y el caso Pre Sustentable, la segunda entre el caso BAU y el Sustentable y la tercera entre el caso BAU y el Full Sustentable, el caso BAU se abrió en los tres escenarios en sus dos tecnologías. A las tres comparaciones se les aplicó el análisis de sensibilidad en función del RTA y de la tasa de descuento.

Seguidamente, a modo ilustrativo se aprecian las planillas que se utilizaron para el cálculo del VAN:

VAN Diferencial PreSustentable-BAU Nafta

La Tabla siguiente es la planilla tipo para el caso diferencial entre los valores de la Tabla 9 y la Tabla 7.

VAN Diferencial (PreSust-BAU Nafta)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible (USD), en % partiendo del ratio USD/ARS del año 1									
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%	
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	-	17.156									
Opex [USD]		1.871	1.896	1.922	1.950	1.978	2.008	2.040	2.072	2.106	2.142
Egresos [USD]		883	895	908	920	934	948	963	978	994	1.011
Gastos extraordinarios [USD]		-	-	-	-	293	-	-	-	-	1.274
SUMA [USD]	-	17.156	2.754	2.791	2.830	2.870	2.912	2.956	3.002	3.050	3.154
VAN [USD]	-	17.156	2.504	2.307	2.126	1.960	1.808	1.669	1.541	1.423	1.315
VAN Total [USD]		714 USD									

Tabla 16 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso PreSustentable-BAU Nafta utilitario,
RTA=20000km/año y r=10%. Elaboración Propia.

VAN Diferencial PreSustentable-BAU GNC

La Tabla siguiente es la planilla tipo para el caso diferencial entre los valores de la Tabla 9 y la Tabla 8.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

VAN Diferencial (PreSust-BAU GNC)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible [USD], en % partiendo del ratio USD/AR\$ del año 1									
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E	1,3%	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 16.504										
Opex [USD]		528	535	543	551	610	568	577	586	596	606
Egresos [USD]		883	895	908	920	934	948	963	978	994	1.063
Gastos extraordinarios [USD]		-	-	-	-	293	-	-	-	-	1.274
SUMA [USD]	- 16.504	1.412	1.431	1.450	1.471	1.544	1.516	1.539	1.564	1.590	1.669
VAN [USD]	- 16.504	1.283	1.182	1.090	1.005	959	856	790	730	674	643
VAN Total [USD]	-7.292 USD										

Tabla 17 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso PreSustentable-BAU GNC utilitario, RTA=20000km/año y r=10%. Elaboración Propia.

VAN Diferencial Sustentable-BAU Nafta

La Tabla siguiente es la planilla tipo para el el caso diferencial entre los valores de la Tabla 10 y la Tabla 7.

VAN Diferencial (PreSust-BAU Nafta)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible [USD], en % partiendo del ratio USD/AR\$ del año 1									
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E	1,3%	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 17.156										
Opex [USD]		1.924	1.950	1.977	2.005	2.034	2.065	2.097	2.131	2.166	2.203
Egresos [USD]		883	895	908	920	934	948	963	978	994	1.011
Gastos extraordinarios [USD]		-	-	-	-	293	-	-	-	-	1.274
SUMA [USD]	- 17.156	2.807	2.845	2.884	2.926	2.968	3.013	3.060	3.109	3.160	3.214
VAN [USD]	- 17.156	2.552	2.351	2.167	1.998	1.843	1.701	1.570	1.450	1.340	1.239
VAN Total [USD]	1.058 USD										

Tabla 18 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso Sustentable-BAU Nafta utilitario, RTA=20000km/año y r=10%. Elaboración Propia.

VAN Diferencial Sustentable-BAU GNC

La Tabla siguiente es la planilla tipo para el el caso diferencial entre los valores de la Tabla 10 y la Tabla 8.

VAN Diferencial (Sust-BAU GNC)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible [USD], en % partiendo del ratio USD/AR\$ del año 1									
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%	
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 16.504										
Opex [USD]		581	589	597	606	666	625	634	645	655	666
Egresos [USD]		883	895	908	920	934	948	963	978	994	1.063
Gastos extraordinarios [USD]		-	-	-	-	293	-	-	-	-	1.274
SUMA [USD]	- 16.504	1.465	1.484	1.505	1.526	1.600	1.573	1.597	1.623	1.650	1.729
VAN [USD]	- 16.504	1.331	1.227	1.131	1.042	994	888	820	757	700	667
VAN Total [USD]	-6.949 USD										

Tabla 19 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso Sustentable-BAU GNC utilitario, RTA=20000km/año y r=10%. Elaboración Propia.

VAN Diferencial FullSustentable-BAU Nafta

La Tabla siguiente es la planilla tipo para el el caso diferencial entre los valores de la Tabla 14 y la Tabla 7.

VAN Diferencial (FullSust-BAU Nafta)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible [USD], en % partiendo del ratio USD/AR\$ del año 1									
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%	
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Capex [USD]	- 20.656										
Opex [USD]		1.924	1.950	1.977	2.005	2.034	2.065	2.097	2.131	2.166	2.203
Egresos [USD]		883	1.040	1.054	1.069	1.085	1.101	1.119	1.137	1.155	1.175
Gastos extraordinarios [USD]		-	-	-	-	293	-	-	-	-	293
Ingresos [USD]		143	145	147	149	151	153	156	158	161	164
SUMA [USD]	- 20.656	2.807	2.990	3.031	3.074	3.120	3.167	3.216	3.267	3.321	3.378
VAN [USD]	- 20.656	2.552	2.471	2.277	2.100	1.937	1.787	1.650	1.524	1.409	1.302
VAN Total [USD]	-1.645 USD										

Tabla 20 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso FullSustentable-BAU Nafta utilitario, RTA=20000km/año y r=10%. Elaboración Propia.

VAN Diferencial FullSustentable-BAU GNC

La Tabla siguiente es la planilla tipo para el el caso diferencial entre los valores de la Tabla 14 y la Tabla 8.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

VAN Diferencial (FullSust-BAU GNC)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año Base	Tasa de aumento afectada por la inflación interanual del precio del combustible [USD], en % partiendo del ratio USD/ARS del año 1									
	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%	
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tasa AR\$/US\$ ajuste Dist/Venta de E											
Capex [USD]	- 20.004										
Opex [USD]		581	589	597	606	666	625	634	645	655	666
Egresos [USD]		883	895	906	920	934	948	963	978	994	1.063
Gastos extraordinarios [USD]		-	-	-	-	293	-	-	-	-	293
Ingresos [USD]		143	145	147	149	151	153	156	158	161	164
SUMA [USD]	- 20.004	1.465	1.484	1.505	1.526	1.600	1.573	1.597	1.623	1.650	1.729
VAN [USD]	- 20.004	1.331	1.227	1.131	1.042	994	888	820	757	700	667
VAN Total [USD]	-10.449 USD										

Tabla 21 Planilla tipo del cálculo del VAN Diferencial del Caso FullSustentable-BAU GNC utilitario, RTA=20000km/año y r=10%. Elaboración Propia.

Cálculo de la Eficiencia

A continuación, se investigó la eficiencia de las distintas tecnologías de los casos expuestos, para todo el proceso de utilización de energía, aplicando la metodología WTW. También se cuantificó el consumo de energía en sí para los casos BAU Nafta y FullSustentable.

Los VMCI resultan ineficientes partiendo de la base que el propio proceso de combustión dentro del motor tiene altas pérdidas y logra que sólo alrededor del 40% [49] de la energía contenida en el combustible (sea nafta, GNC, diésel u otro) se convierta finalmente a energía mecánica, desechando el otro 60% en forma de calor. Estas pérdidas de energía, en el motor propiamente, se reducen notablemente en el caso de los VE. La principal razón por la cual el ME es más eficiente que el MCI es que este último se mantiene desarrollando torque cuando está a bajo régimen, e incluso cuando el vehículo está detenido, desperdiciando energía en forma de calor como ya se dijo. Por el contrario, el ME sólo desarrolla torque cuando se le es requerido y, dependiendo del sistema de transmisión, entrega alrededor del 90% de la energía que recibe de las baterías de tracción del VE. Otros argumentos para esta notable diferencia de eficiencia se expusieron en el Anexo 3 - VMCI vs. VE.

Además de que la eficiencia del motor eléctrico en sí es mayor, los sistemas de frenado regenerativo con los que están dotados los VE modernos permiten reducir la pérdida de energía por disipación de calor, producido por la fricción entre las piezas del sistema de frenado convencional. De esta manera, en el frenado regenerativo, mediante la inversión de torque del ME, parte de la energía cinética se transforma en energía eléctrica, que luego es almacenada en la batería de tracción, para su uso posterior en la aceleración del vehículo. Este reaprovechamiento permite elevar la eficiencia global del VE. Vale aclarar que algunos VMCI de alta gama también utilizan sistemas de frenado regenerativo para cargar la batería auxiliar, si bien su incorporación cobra mayor sentido en un VE.

Adicionalmente, por el hecho de considerar las energías renovables en la etapa de generación de energía eléctrica, se minimizan las pérdidas existentes en esa etapa del análisis W2W, también reduciendo el impacto ambiental, principalmente en cantidad de emisiones de gases contaminantes y otros (Ver Anexo 1 Contaminación atmosférica y sonora). Como ya se ha dicho, la eficiencia general es mayor si se utilizan recursos renovables como fuente de la generación e incrementa aún más si se trata de generación mediante Energía SFV distribuida, puesto que tienen pérdidas mínimas de energía en transformación y distribución, debido principalmente a la cercanía entre el lugar de generación y el de consumo.

Eficiencias WTW y Consumo Casos Bau Nafta vs. FullSustentable

Para analizar numéricamente la eficiencia de todo el proceso de conversión de los casos en cuestión, se utiliza el concepto de “Well-To-Wheel” (WTW), que fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Argonne, el cual es muy útil, no sólo para evaluar la eficiencia y poder comparar los valores obtenidos para el caso de los VE con los de los VMCI, sino también para contabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por diversos medios de transporte y tecnologías utilizadas en el mismo (Ver Anexo 1).

En las siguientes tablas se puede observar el desglose de los distintos casos analizados.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

Eficiencia VMCI - BAU - Nafta		Eficiencia VMCI - BAU - GNC	
Eficiencia en el Transporte de petróleo:	92%	Eficiencia en Transporte y Acondicionamiento de Gas:	97%
Eficiencia en el Refinamiento de combustible:	85%		N/A
Eficiencia en el Transporte y Distribución de combustible:	94%	Eficiencia en Distribución de GN:	95%
Eficiencia W2T VMCI (NAFTA):	74%	Eficiencia W2T VMCI (GNC):	92%
Eficiencia T2W VMCI (NAFTA):	20%	Eficiencia T2W VMCI (GNC):	20%
Eficiencia W2W VMCI (NAFTA):	15%	Eficiencia W2W VMCI (GNC):	18%

Tabla 22 Eficiencia Well to Wheel de los casos BAU Nafta (izq.) y BAU GNC (der).

Fuente: L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018). Elaboración Propia.

Eficiencia VE - Sustentable - CTCC		Eficiencia VE - PreSustentable - CSFV	
Eficiencia en Distribución de Gas para generación:	95%		N/A
Eficiencia de Generación en Central Térmica de Ciclo Combinado:	58%	Eficiencia de Generación en Central Solar Fotovoltaica	100% [50]
Eficiencia en Distribución y Transporte de Electricidad:	88%	Eficiencia en Distribución y Transporte de Electricidad (incluye conversión):	88%
Eficiencia W2T:	48%	Eficiencia W2T:	88%
Eficiencia en Inversión CA/CC	95%	Eficiencia en Inversión CA/CC	95%
Eficiencia de Carga de Batería	95%	Eficiencia de Carga de Batería	95%
Eficiencia en Inversión CC/CA	95%	Eficiencia en Inversión CC/CA	95%
Eficiencia de Motor Eléctrico	90%	Eficiencia de Motor Eléctrico	90%
Eficiencia T2W VE:	77%	Eficiencia T2W VE:	77%
Eficiencia W2W VE:	37%	Eficiencia W2W VE:	68%

Tabla 23 Eficiencia Well to Wheel de los casos Sustentable CTCC (izq.) y PreSustentable CSFV (der).

Fuente: L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018) y Transport & Environment (2017). Elaboración Propia.

Eficiencia VE - FullSustentable - SSFV	
Eficiencia de Generación Solar Fotovoltaica Distribuida	100% (55)
Eficiencia en Distribución y Transporte de Electricidad:	99%
Eficiencia en Conversión y Suministro de Electricidad:	95%
Eficiencia W2T:	95%
Eficiencia en Inversión CA/CC	95%
Eficiencia de Carga de Batería	95%
Eficiencia en Inversión CC/CA	95%
Eficiencia de Motor Eléctrico	90%
Eficiencia T2W VE:	77%
Eficiencia W2W VE:	73%

Tabla 24 Eficiencia Well to Wheel del caso FullSustentable.

Fuente: Transport & Environment (2017) y Michael Barnard – Quora (2017). Elaboración Propia

En el tramo WTT (Well to Tank) se observa que, si solo se usan energías renovables, las pérdidas se reducen al 5%.

Otra forma de comparar la eficiencia de un vehículo a nafta y uno eléctrico es evaluando cuánto pueden recorrer con una misma cantidad de energía. Para eso, se emplea un indicador de consumo energético estandarizado denominado kilómetros por litro equivalente (KMLe), que es la distancia en km recorrida por unidad de energía consumida por el vehículo, cuando la energía no está necesariamente contenida en un combustible líquido. Las conversiones se basan en estimaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), que para los automóviles eléctricos utiliza el factor de 8,9 kWh, o sea 32,1 MJ, de electricidad como equivalente a un litro de nafta (obtenido del valor 33,7 kWh, o sea 121 MJ, en un galón de gasolina [51]).

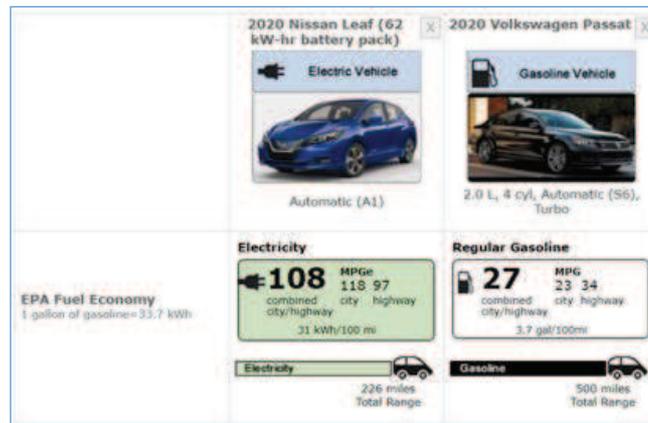


Ilustración 8 Consumo energético de VE y VMCI representativos de casos FullSustentable (izq.) y BAU Nafta (der).
Fuente: Find and Compare Cars (2020). Elaboración Propia

Valiéndose de los datos de esa fuente de información y escogiendo los vehículos más representativos de una y otra tecnología (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se confeccionó la siguiente tabla para los casos BAU Nafta y FullSustentable, para el valor de RTA de 70000km/año, a fines de valorizar la cantidad de energía utilizada durante los 10 años de duración del período de análisis:

	Consumo de Energía	GWh
BAU Nafta	$70000[\text{km}] * 10[\text{años}] / 10[\text{km/l}] * 8,95[\text{kWh/l}]$	0,62
Full Sustentable	$70000[\text{km}] * 10[\text{años}] / 46[\text{km/le}] * 8,95[\text{kWh/l}]$	0,14

Tabla 25. Consumo de Energía en el período de Análisis de 10 años, RTA=70000km.
Fuente: Find and Compare Cars (2020). Elaboración Propia

Cálculo de Emisiones de Dióxido de Carbono

Seguidamente, se investigó la cantidad de emisiones de Dióxido de Carbono en el proceso WTW de todos los casos expuestos. El análisis incluyó todos los casos, recorriendo todos los valores de RTA, para poder totalizar las cantidades de emisiones de cada uno a lo largo de los 10 años y exponer así la diferencia entre ambas tecnologías.

A continuación, en las tablas siguientes se volcaron los datos investigados y calculados sobre emisiones de los distintos tipos de tecnologías expuestos en este trabajo y, a su vez, los totales valorizados para el período de 10 años de evaluación, teniendo en cuenta la sensibilidad a la variación del RTA.

Emisiones W2W VMCI Nafta [g(CO2)/km]	215	Emisiones W2W VE (PreSustentable-CTCC) [g(CO2)/km]	64
Emisiones W2W BAU Nafta en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=20000	43	Emisiones W2W PreSustentable (CTCC) en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=20000	12,8
Emisiones W2W BAU Nafta en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=100000	215	Emisiones W2W PreSustentable (CTCC) en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=100000	64
Emisiones W2W VMCI GNC [g(CO2)/km]	125	Emisiones W2W VE (Sustentable-CSFV) [g(CO2)/km]	10
Emisiones W2W BAU GNC en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=20000	25	Emisiones W2W Sustentable (CSFV) en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=20000	2
Emisiones W2W BAU GNC en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=100000	125	Emisiones W2W Sustentable (CSFV) en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=100000	10

Tabla 26 Emisiones de CO2 para VMCI y VE, según origen de energía primaria; totales para los casos BAU y PS, considerando los casos extremos de RTA.

Fuente: L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018) y Woo, J., Choi, H., & Ahn, J. (2017). Elaboración Propia.

Emisiones W2W VE (FullSustentable-SSFV) [g(CO2)/km]	2,5
Emisiones W2W FullSustentable (SSFV) en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=20000	0,5
Emisiones W2W FullSustentable (SSFV) en todo Ciclo de Vida [ton]; RTA=100000	2,5

Tabla 27 Emisiones de CO2 para VE, energía primaria de SSFV;

el total para el caso FullSustentable, considerando los casos extremos de RTA. Fuente: Woo, J., Choi, H., & Ahn, J. (2017). Elaboración Propia.

Gráficos y análisis

Viabilidad económico-financiera

Para empezar, se presenta en la siguiente serie de gráficos los análisis de CTP y VAN para los casos de uso comercial y al final, para los casos gerenciales. El análisis del VAN se realizó de manera diferencial entre dos casos y variando el RTA y la tasa de descuento.

Vale aclarar de antemano, que se presenta un quiebre en la línea de todas las series en el valor de RTA=70.000km/año, ya que a ese valor se excede la autonomía teórica que indica el fabricante del VE Comercial, por lo que se contempló entonces una determinada cantidad de cargas públicas para extender dicha autonomía y satisfacer el recorrido diario a realizar.

El par de gráficos a continuación muestra los resultados de los análisis de CTP y VAN diferenciales PreSustentable-BAU Nafta y GNC, con tasa de descuento del 10% y energía eléctrica proveniente de la red:

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

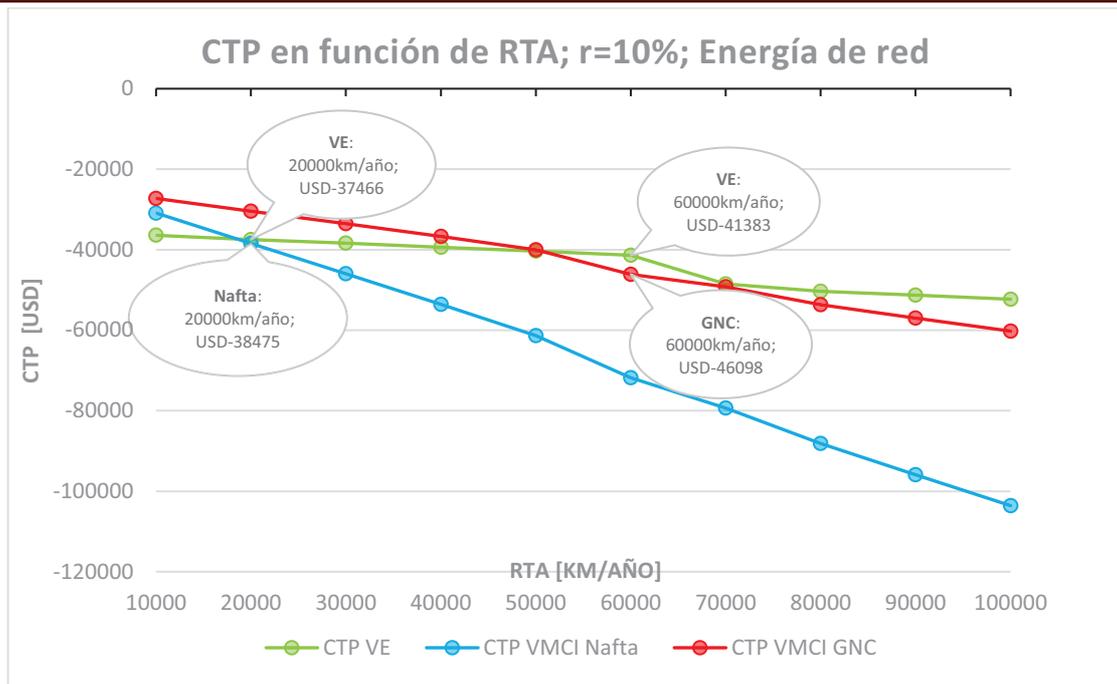


Gráfico 2 Resultados del análisis de los CTP con tasa de descuento 10% y Energía de red.
Elaboración propia

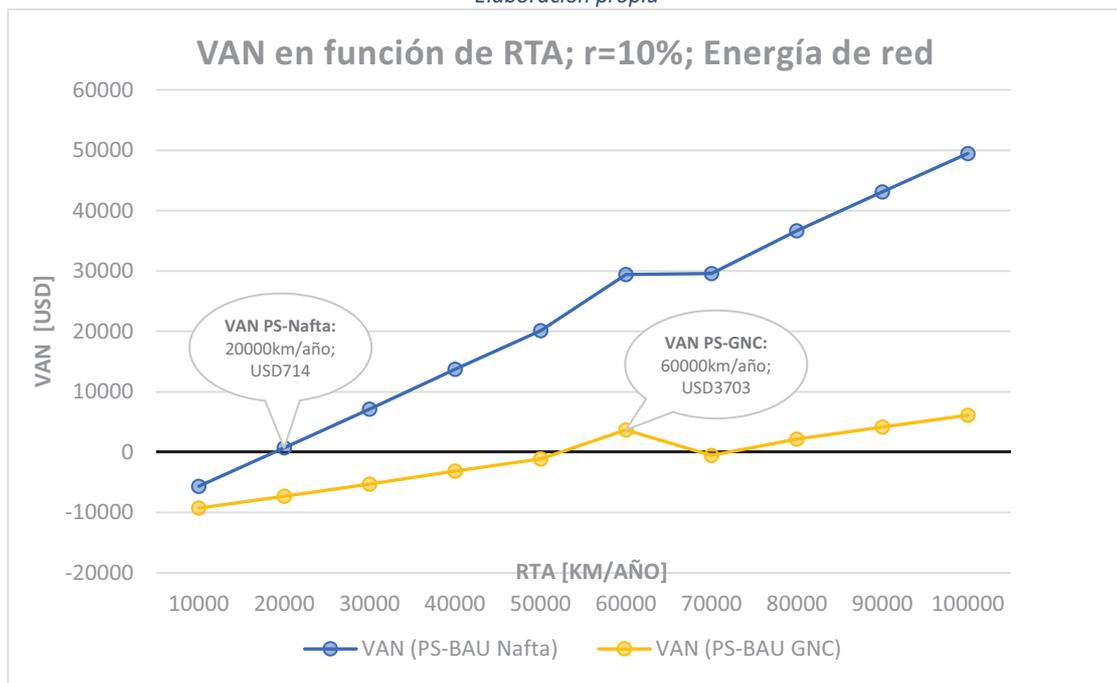


Gráfico 3 Resultados VAN PS-BAU Nafta y PS-BAU GNC, r=10% y Energía de red.
Elaboración propia

Se ve en el Gráfico 2 que el CTP para el VE fue USD1009 menor que el del VMCI Nafta realizando 20.000km/año, habiéndose cruzado ambas curvas dentro del intervalo 10000-20000 de RTA, más cerca del segundo punto. En el caso contra el VMCI GNC, el cruce se dio en el intervalo 50000-60000, bien cercano al primer punto, y, recorriendo 60.000km/año, el CTP fue USD4715 menor.

En el Gráfico 3 se puede apreciar que el VAN diferencial PS-Nafta fue USD714 positivo recorriendo 20.000km/año, habiendo cruzado el eje de equilibrio apenas antes de dicho punto, mientras que el VAN diferencial PS-GNC resultó positivo, en USD3703, recién recorriendo 60.000km/año.

El siguiente par de gráficos expone los resultados de CTP y VAN diferencial PreSustentable-BAU Nafta y GNC, con tasa de descuento del 5% y energía eléctrica proveniente de la red:

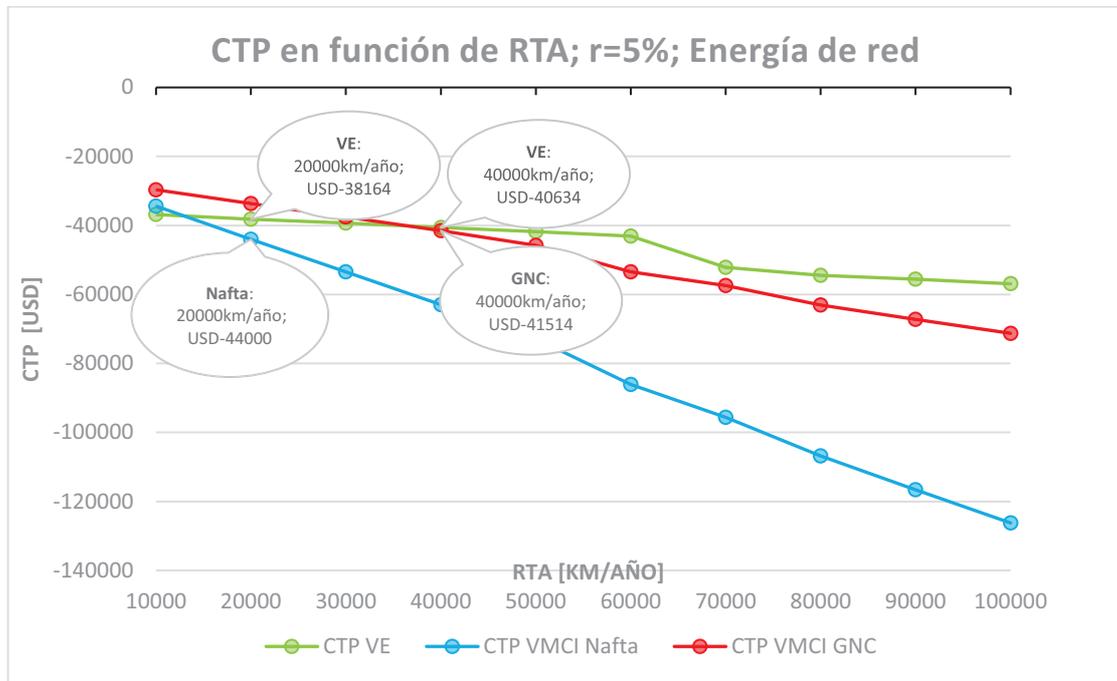


Gráfico 4 Resultados del análisis de los CTP con $r=5\%$ y Energía de red.
Elaboración propia

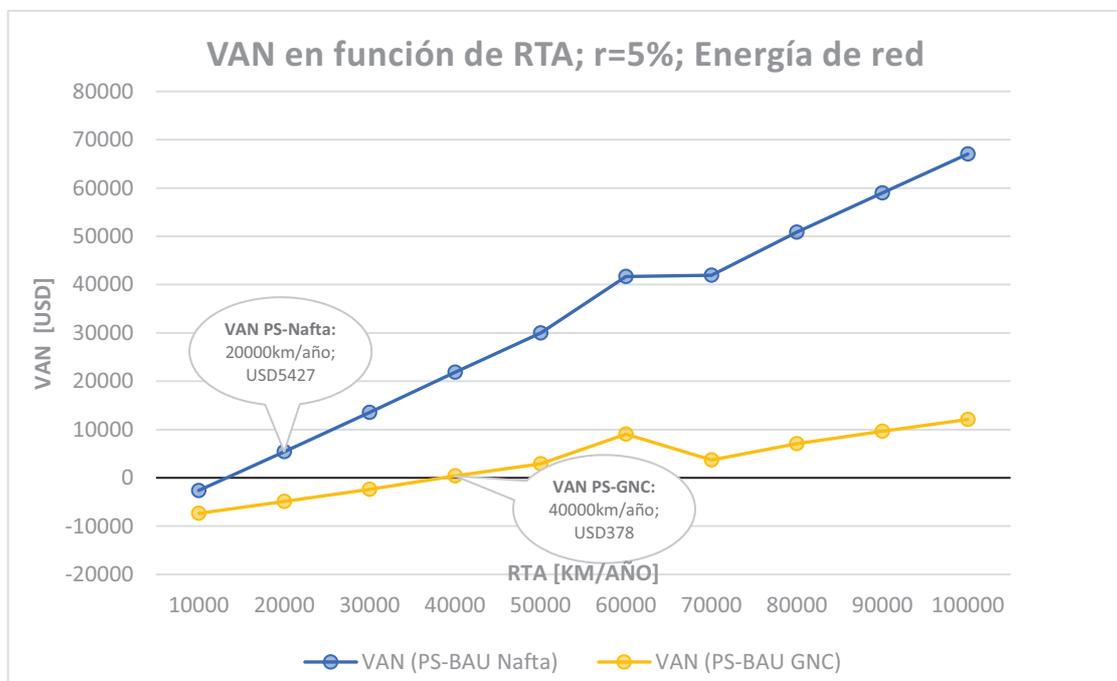


Gráfico 5 Resultados VAN PS-BAU Nafta y PS-BAU GNC, $r=5\%$ y Energía de red.
Elaboración propia

Se ve en el Gráfico 4 que ambas curvas se cruzan dentro del intervalo de RTA 10000-20000, más cerca del 10000km/año y que el CTP para el VE fue USD5836 menor que el del VMCI Nafta,

realizando 20.000km/año. En el caso contra el VMCI GNC, ya recorriendo 40.000km/año, estando prácticamente encimados los puntos de ambas curvas, el CTP fue USD880 menor para el VE. A su vez, el Gráfico 5 muestra que el VAN diferencial PS-Nafta es fuertemente positivo, USD5427 ya a los 20000km/año, habiendo cruzado el eje de equilibrio más cerca de los 10000, mientras que el VAN PS-GNC ya pasa a ser positivo, apenas USD378, a los 40000km/año.

El siguiente par de gráficos expone los resultados del CTP y VAN diferenciales Sustentable-BAU Nafta y GNC, con tasa de descuento del 10% y energía eléctrica adquirida en el MATER.

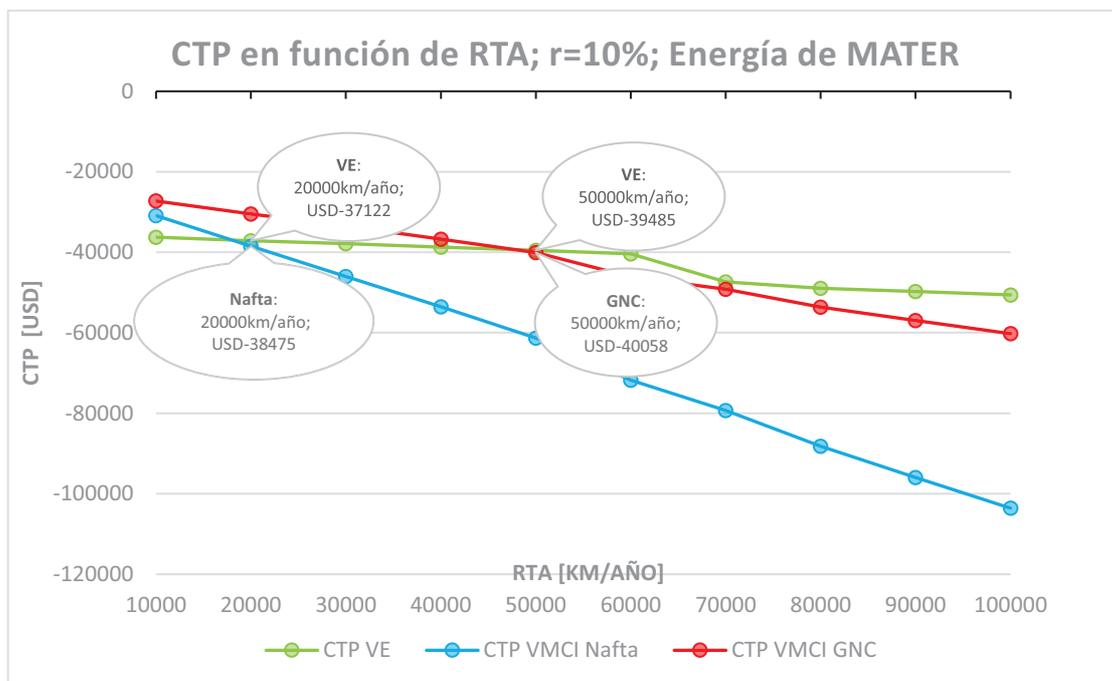


Gráfico 6 Resultados del análisis de los CTP con $r=10\%$ y Energía del MATER.
Elaboración propia.

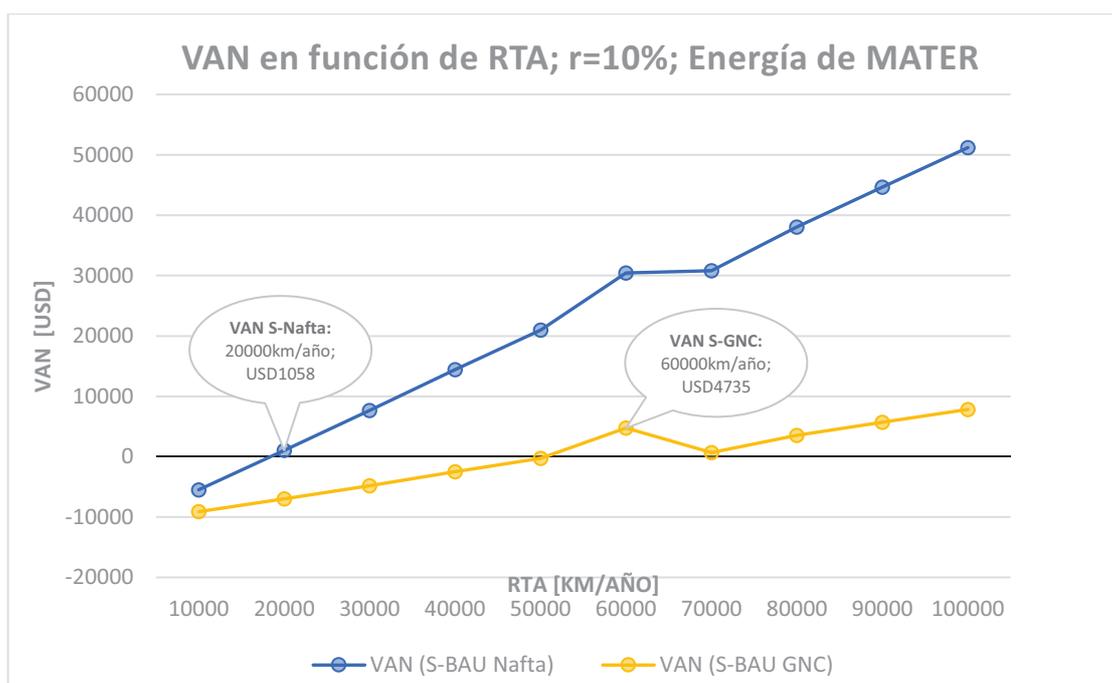


Gráfico 7 Resultados VAN S-BAU Nafta y S-BAU GNC, $r=10\%$ y Energía del MATER.
Elaboración propia.

Según puede apreciarse, en el Gráfico 6 el CTP del VE fue USD1623 menor que el del VMCI Nafta, recorriendo tan sólo 20000km/año, mientras que contra el VMCI GNC apenas USD573 menor, a los 50000km/año de recorrido anual. En el Gráfico 7, se puede ver un VAN S-Nafta positivo de USD1058 a los 20000km/año, habiendo cruzado el eje de equilibrio apenas antes de ese punto; y, para el caso diferencial VAN S-GNC, es notoriamente positivo, USD4735, recién a los 60000km/año.

Luego, se exponen los gráficos con los resultados del CTP y VAN diferenciales Sustentable-BAU Nafta y GNC, con energía eléctrica nuevamente adquirida en el MATER, pero tasa de descuento del 5%:

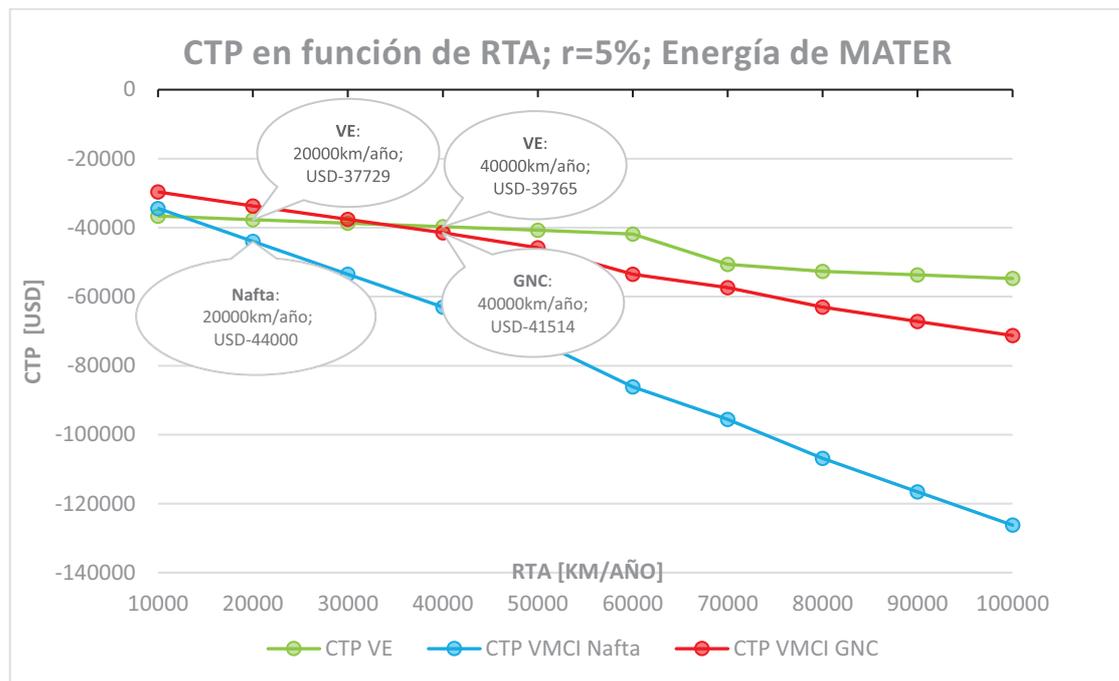


Gráfico 8 Resultados del análisis de los CTP con tasa de descuento 5% y Energía del MATER. Elaboración propia.

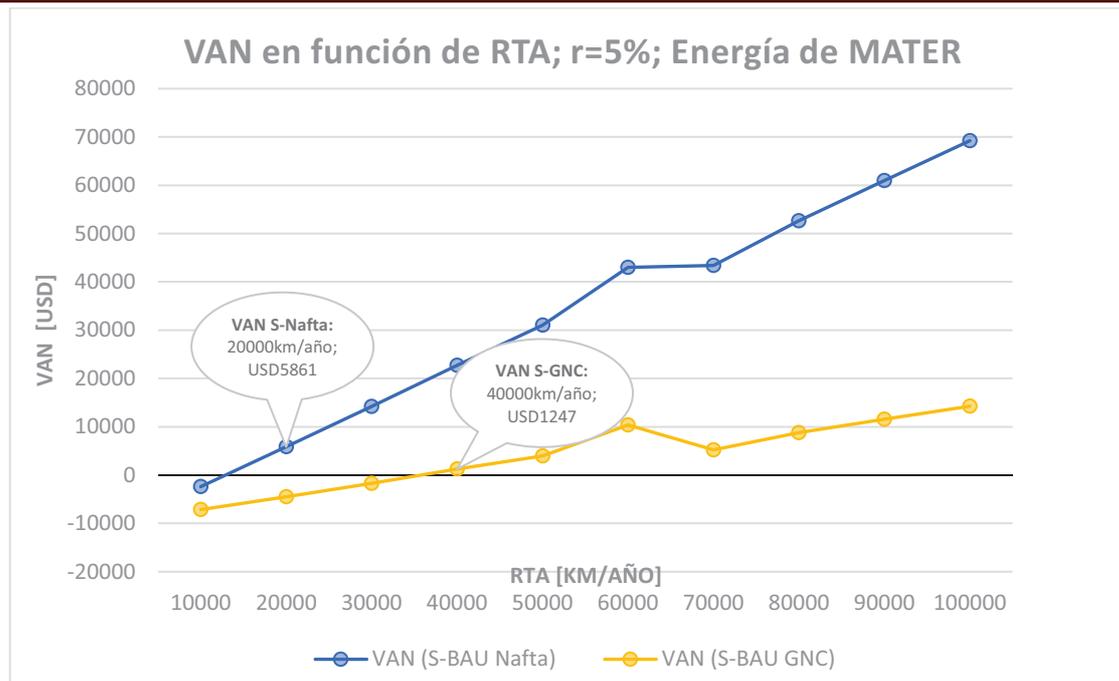


Gráfico 9 Resultados VAN S-BAU Nafta y S-BAU GNC, $r=5\%$ y Energía del MATER.
Elaboración propia.

Al observar el Gráfico 8, se aprecia que el CTP del VE pasa a ser menor respecto del VMCI Nafta muy poco después del punto de 10000km/año, siendo la diferencia de USD6271, en favor del primero, ya a los 20000km/año de RTA. El CTP del VE respecto del VMCI GNC pasa a ser positivo casi en la mitad del intervalo de RTA 30000-40000, siendo la diferencia de USD1749 en los 40000km/año de RTA. Para el caso del análisis de los VAN diferenciales, el resultado mostrado en el Gráfico 9 denota un valor marcadamente positivo de USD5861 para el caso S-Nafta a los 20000km/año, cruzándose las curvas más cercanamente al valor de 10000 de RTA. Para el caso del VAN S-GNC, el cruce de la curva con el eje de equilibrio se da aproximadamente a la mitad del intervalo 30000-40000, resultando de USD1247 a los 40000km/año de RTA.

Acto seguido, se presentan los gráficos correspondientes a los resultados del CTP y VAN diferenciales Full Sustentable-BAU Nafta y GNC, con tasa de descuento del 10% y energía eléctrica autogenerada.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

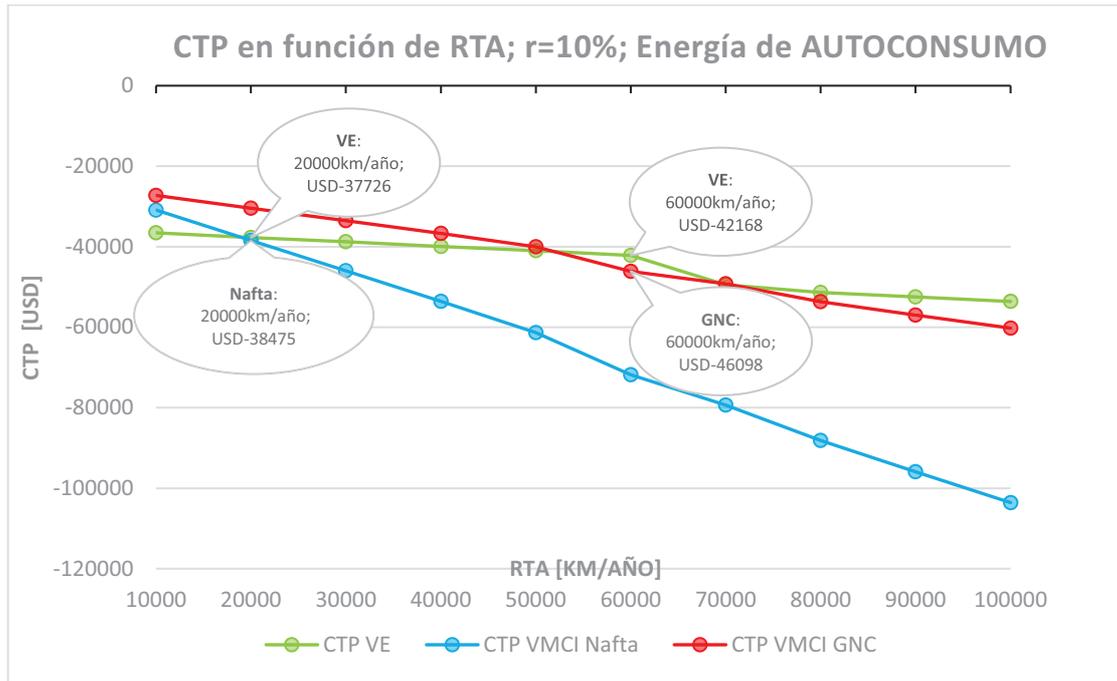


Gráfico 10 Resultados del análisis de los CTP con $r=10\%$ y Energía autogenerada. Elaboración propia.

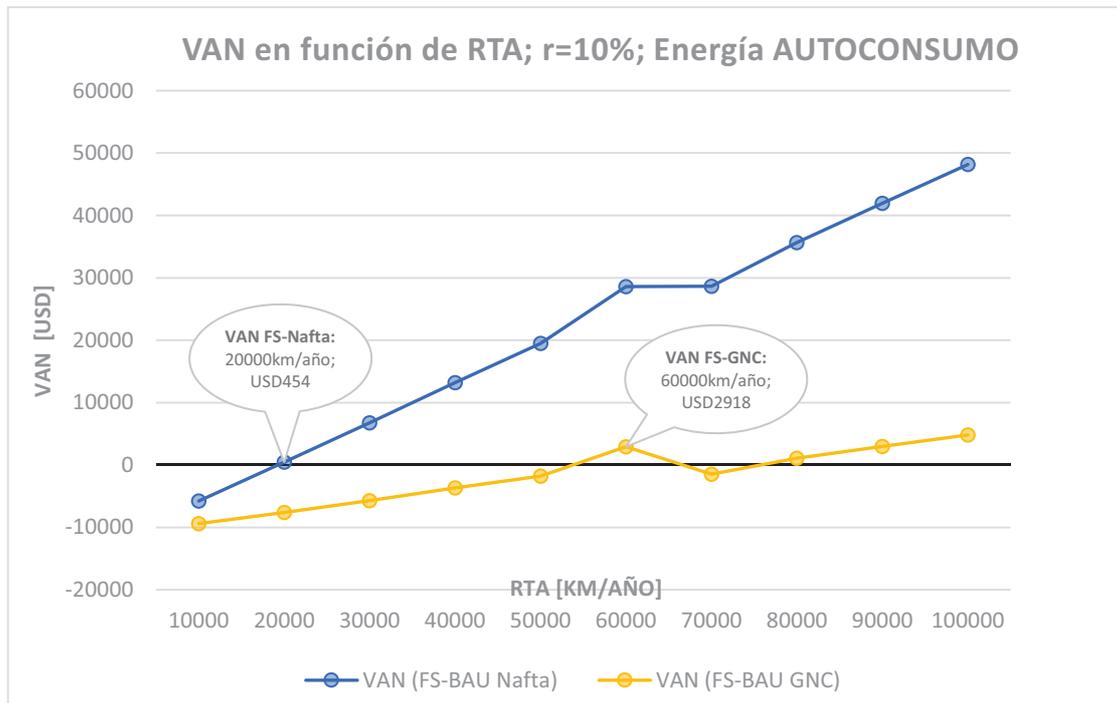


Gráfico 11 Resultados VAN FS-BAU Nafta y FS-BAU GNC, $r=10\%$ y Energía autogenerada. Elaboración propia

Se puede apreciar en el Gráfico 10 que ambas curvas se cruzan nuevamente en el intervalo de RTA 10000-20000, prácticamente sobre el punto de 20000km/año, siendo menor para el VE USD749 respecto del VMCI Nafta. Paralelamente, contra el caso del VMCI GNC, el CTP del VE resultó ser menor USD3930, recién a los 60000km/año. En el Gráfico 11, se ve que el VAN FS-BAU Nafta resulta positivo en USD454, a los 20000km/año, siendo el cruce con el eje de

equilibrio apenas antes de ese punto. Para el caso del VAN FS-BAU GNC, el cruce con el eje de equilibrio se da dentro del intervalo 50000-60000 de RTA, un poco antes de la mitad, resultando positivo en USD2918 a los 60000km/año.

Para finalizar los casos comparativos de los vehículos utilitarios, se presentan los gráficos correspondientes a los resultados del CTP y VAN diferenciales Full Sustentable-BAU Nafta y GNC y energía eléctrica autogenerada, pero con tasa de descuento del 5%:

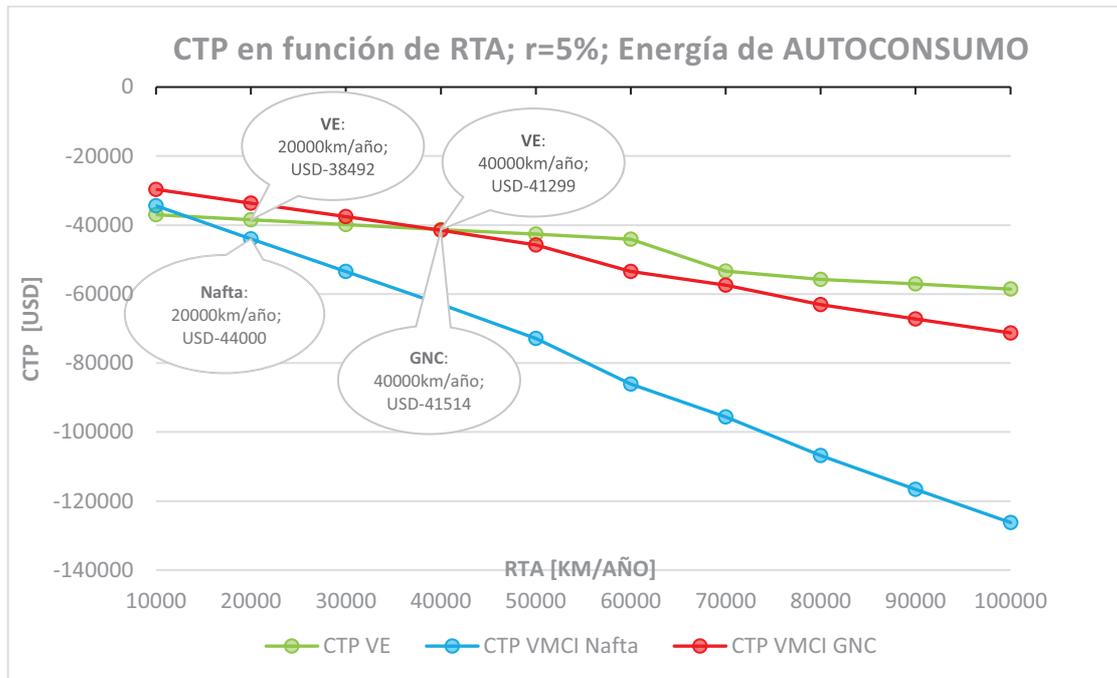


Gráfico 12 Resultados del análisis de los CTP con $r=5\%$ y Energía autogenerada. Elaboración propia.

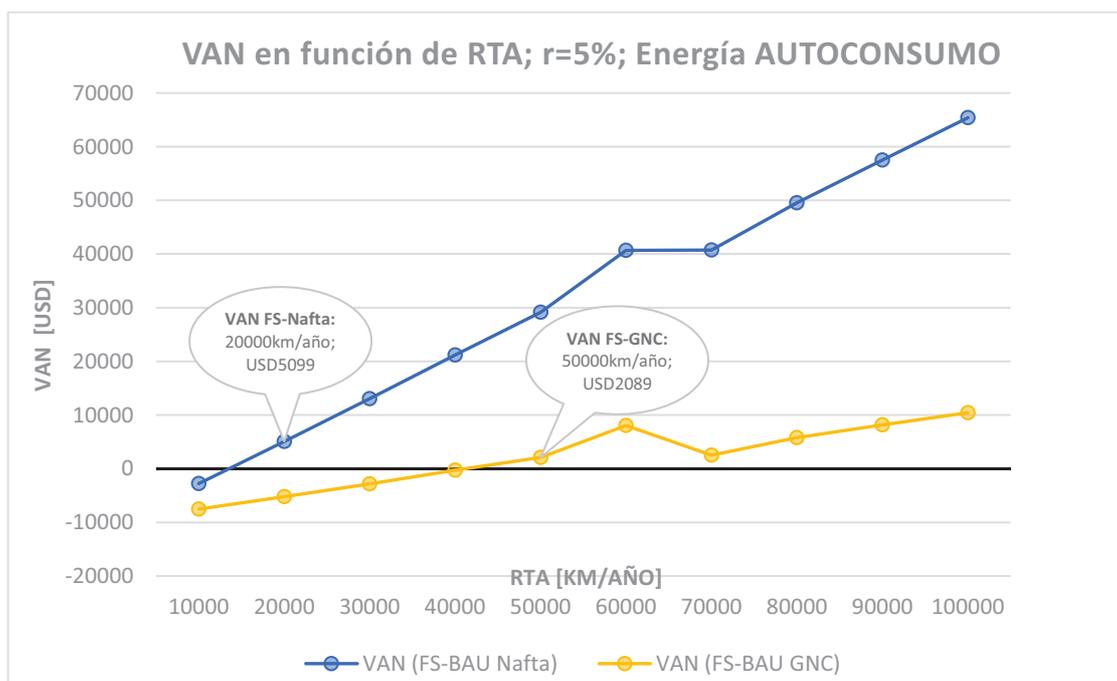


Gráfico 13 Resultados VAN S-BAU Nafta y S-BAU GNC, a $r=5\%$ y Energía autogenerada. Elaboración propia

En el Gráfico 12 se aprecia que el cruce de las curvas de CTP se da, como en todos los casos, dentro del intervalo 10000-20000 de RTA, más cercano a 10000km/año, con una diferencia de USD5508 en favor del VE por sobre el VMCI Nafta, a los 20000km/año. Respecto al VMCI GNC el CTP es apenas inferior, USD215, a los 40000km/año de RTA. En cuanto a los resultados de VAN, el Gráfico 13 muestra que, para el caso diferencial FS-BAU Nafta, resultó marcadamente positivo, USD5099, a los 20000km/año, habiendo cruzado el eje de equilibrio, como fue en todos los casos, en el intervalo 10000-20000 de RTA, más cercano al valor de 10000km/año. Para el caso FS-BAU GNC, el cruce con el eje se dio en el intervalo 40000-50000, más cercano al valor de 40000km/año, con un valor positivo de USD2089, a los 50000km/año.

Por último, se presentan en un par de gráficos, los resultados del CTP y VAN diferencial FS-BAU Nafta, para el uso comercial, con tasa de descuento del 10 y 5%, respectivamente, y energía eléctrica autogenerada.

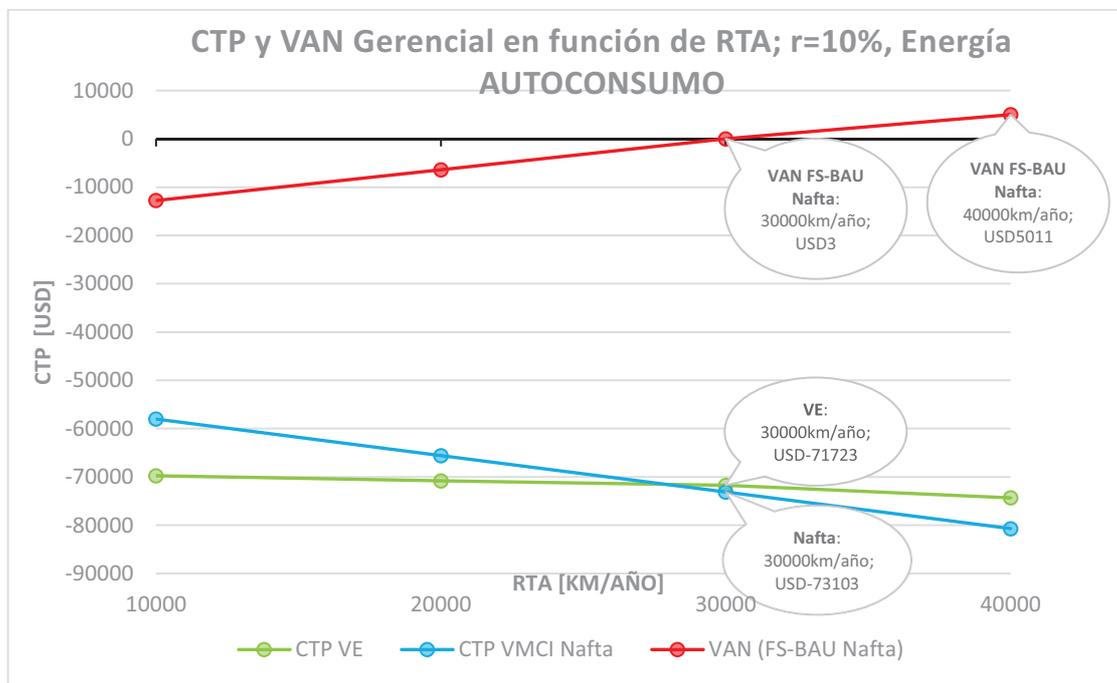


Gráfico 14 Resultados CTP y VAN FS-BAU Nafta gerencial, r=10% y Energía autogenerada.
Elaboración propia.

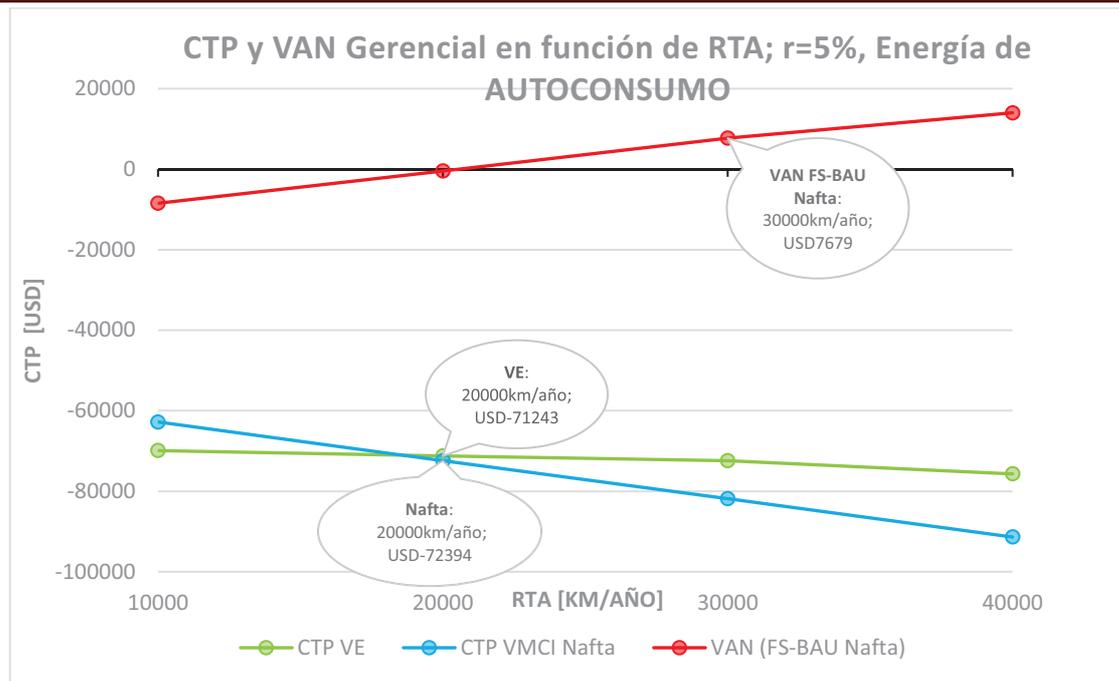


Gráfico 15 Resultados CTP y VAN FS-BAU Nafta gerencial, r= 5% y Energía autogenerada.
Elaboración propia.

Se nota en el Gráfico 14 que se cortó la tendencia que se dio en todos los casos anteriores, en que el cruce de las curvas del CTP VE y VMCI Nafta se efectuara dentro del intervalo 10000-20000 de RTA, ocurriendo en este caso en el intervalo siguiente, más cercano al valor de 30000km/año. Allí la diferencia en favor del VE fue de USD1380. En ese mismo punto el VAN FS-BAU Nafta fue apenas de USD3 positivo, por lo tanto, cruzando el eje de equilibrio prácticamente en ese punto, mientras que fue notoriamente positivo, USD5011, a los 40000km/año de RTA.

En el Gráfico 15 se ve que efectivamente el cruce de las curvas del CTP se dio en el intervalo 10000-20000, cercano al valor de 20000km/año, de RTA, con un valor en ese punto en favor del VE de USD1151. El VAN FS-BAU Nafta resultó fuertemente positivo para este caso, en el punto de 30000km/año de RTA, con un valor de USD7679, habiendo cruzado el eje de equilibrio prácticamente inmediatamente después del valor de 20000km/año.

Eficiencia WTW

A continuación, el gráfico con los resultados obtenidos de los análisis WTW llevados a cabo:

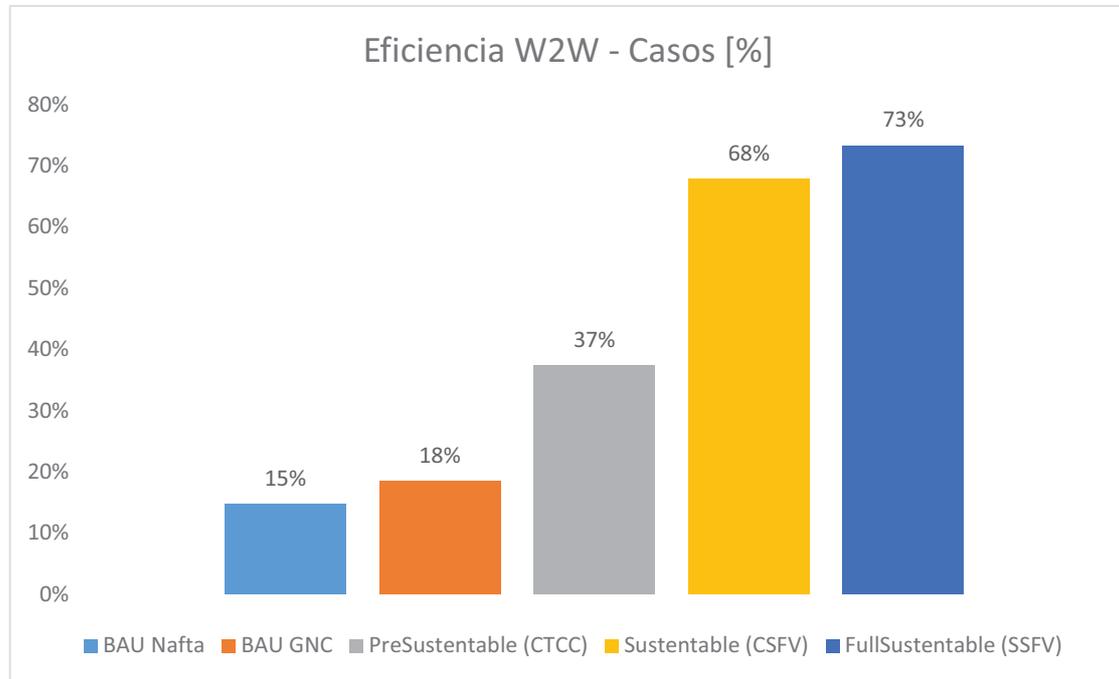


Gráfico 16 Eficiencia Well to Wheel para todos los casos.

Fuentes: L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018) y Transport & Environment (2017). Elaboración Propia

La eficiencia que se analizó no estuvo relacionada con el uso de los vehículos en los diferentes casos, sino que con la fuente de energía que se les suministra estos, es decir, es independiente del RTA.

En los casos BAU, el GNC fue el de mayor eficiencia WTW, presentando un valor no superior al 18%. En el caso Pre Sustentable, la eficiencia WTW del VE resultó alrededor de 37% si la generación eléctrica proviene de una Central Generación Térmica de Ciclo Combinado (CTCC), con Gas Natural (GN) como combustible. Sin embargo, asciende abruptamente a casi el 70% para el caso Sustentable, si la generación proviene de una Central Generación Solar Fotovoltaica (CSFV); y más aún, a casi el 73% para el caso Full Sustentable, si se trata de generación distribuida mediante SSFV, pues prácticamente se eliminan las pérdidas por distribución. (Ver Tabla 24).

Existe una amplia diferencia en el rendimiento del recurso energético, siendo la eficiencia en el caso de los VE hasta casi cinco veces mayor, comparando los casos extremos BAU Nafta con el Full Sustentable. Esto también se observa en el gráfico siguiente para el consumo valorizado de energía en todo el período de análisis, contrastando los mismos casos (BAU Nafta y Full Sustentable). Resulta casi cuatro veces y media mayor en los VMCIC respecto de los VEC escogidos, con un RTA de 70000km/año.

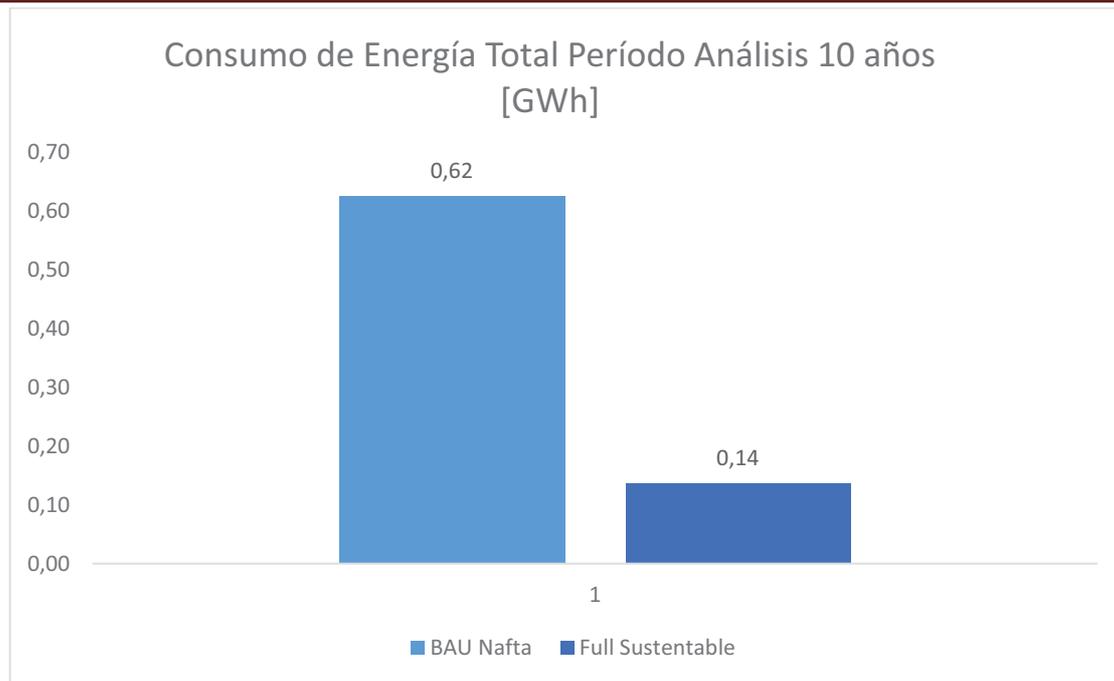


Gráfico 17 Consumo de Energía casos BAU Nafta y FullSustentable, para 10 años.
Fuente: Fuel Economy-Find and Compare Cars. Elaboración propia.

Emisiones de CO₂

Por Tecnología de vehículos analizados:

Para los VMCI se observó un valor de 215gCO₂/km para nafta como combustible, y 125g CO₂/km para GNC, que fue la menos desfavorable de las situaciones de los VMCI en cuanto a emisiones de CO₂, ya que en general los motores diésel son aún más emisores que los nafteros. El valor de emisiones es prácticamente reducido a la mitad, a 64gCO₂/km, para los VEC del caso PreSustentable, en el que son recargados con energía eléctrica proveniente de una CTCC con GN como combustible. Si, en cambio, la energía de recarga proviene únicamente de una CSFV, las emisiones se descienden notoriamente a 10gCO₂/km. Por último, para el caso FullSustentable, con un SSFV, las emisiones de CO₂ de los VE se consideran mínimas, de 2,5g CO₂/km, si para la carga del VE hay contribuciones esporádicas de energía proveniente de la red, y nulas si no las hay, proviniendo el 100% de la energía de la fuente de generación distribuida conformada por el SSFV. Estos valores se volcaron en la siguiente tabla y pueden observarse en el Gráfico 18.

Emisiones W2W VMCI Nafta [g(CO₂)/km]	215
Emisiones W2W VMCI GNC [g(CO₂)/km]	125
Emisiones W2W VE (PreSustentable-CTCC) [g(CO₂)/km]	64
Emisiones W2W VE (Sustentable-CSFV) [g(CO₂)/km]	10
Emisiones W2W VE (Full Sustentable-SSFV) [g(CO₂)/km]	2,5

Tabla 28 Resumen de cantidad de emisiones por tecnología y fuente de energía.
Fuente: Research Gate y L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018) y Transport & Environment (2017). Elaboración propia.

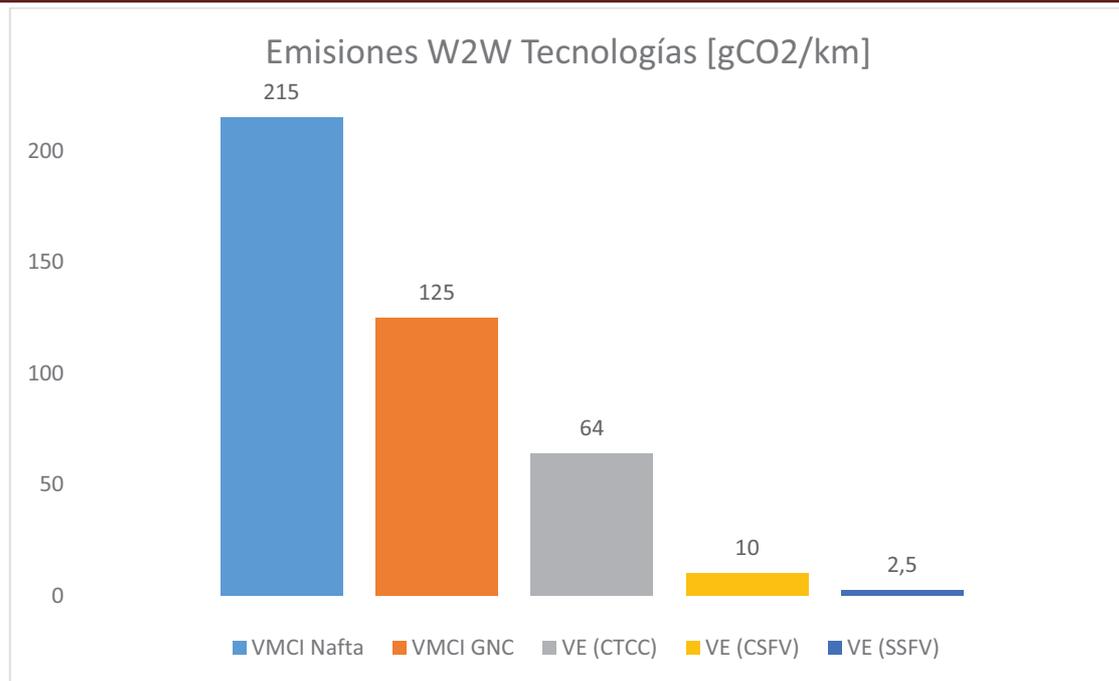


Gráfico 18 Emisiones W2W unitarias de todas las tecnologías de vehículos para los casos analizadas.
Fuentes: L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018); Woo, J., Choi, H., & Ahn, J. (2017). Elaboración Propia

Emisiones totales de CO₂ para el Período de Análisis de 10 años, con RTA 20.000km/año

Siendo que 20000km/año es el valor mínimo de RTA razonable de uso, se calcularon para ese valor de RTA las emisiones de todo el período. El caso BAU mostró valores totales de emisiones de 43ton de CO₂ para la Nafta como combustible, mientras que 25ton de CO₂ para el GNC. Para el caso PreSustentable con energía eléctrica proveniente de una CTCC con GN como combustible de generación, el valor total descendió a casi la mitad, a 12,8ton. Siguiendo orden del gráfico de emisiones por tecnología, si la energía que carga al VEC proviene en su totalidad de una CSFV, hablamos del caso Sustentable, el valor es de 2ton CO₂. Por último, para el caso FullSustentable, las emisiones totales de CO₂ fueron, como máximo, apenas de 0,5ton, reduciéndose a poco más del 1% de las emisiones del caso BAU Nafta.

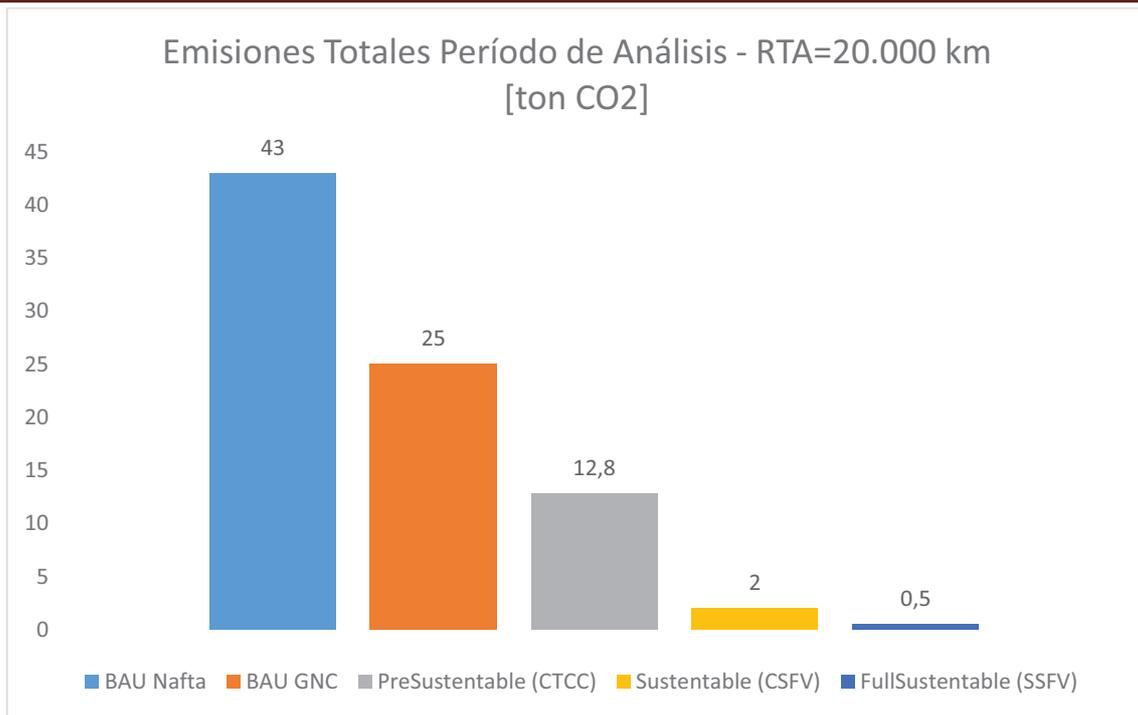
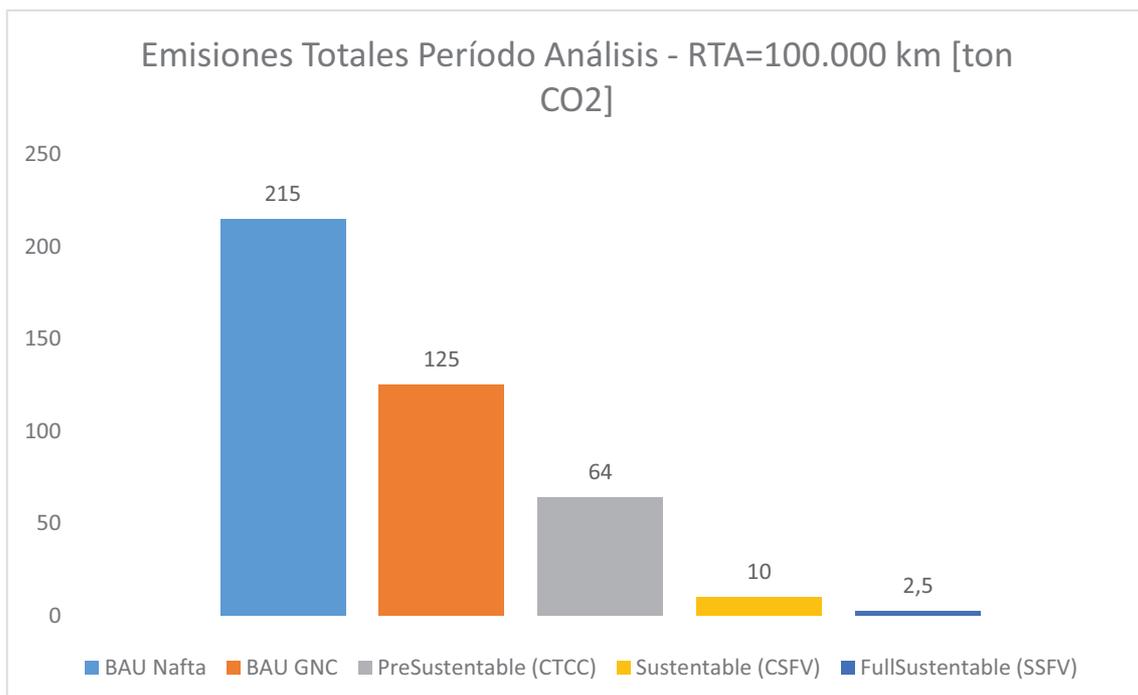


Gráfico 19 Emisiones WTW Totales para todos los casos, período de 10 años y RTA=20000km/año.
Fuentes: L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018); Woo, J., Choi, H., & Ahn, J. (2017). Elaboración Propia

Emisiones totales de CO₂ para el Período de Análisis de 10 años, con RTA 100.000km/año:

Por otra parte, se tomó el valor más alto de RTA considerado en este trabajo, 100000km/año, a fin de visualizar los valores máximos de emisiones. Para todos los casos, lo que se observó es que aumentan al 500% las emisiones de CO₂ respecto del gráfico anterior, por el simple hecho que en esa misma proporción aumenta la distancia que recorren los VMCIC y VEC en todo el período de análisis de 10 años. No se tuvieron en cuenta aumento de emisiones por desgaste de los MCI.



Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

*Gráfico 20 Emisiones WTW Totales para todos los casos, período de 10 años y RTA=10000km/año.
Fuentes: L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018); Woo, J., Choi, H., & Ahn, J. (2017). Elaboración Propia*

Resultados y Conclusiones:

En esta sección se presentan los resultados que se desprenden de los análisis realizados sobre los aspectos centrales de este trabajo: el análisis de viabilidad económico-financiera, el análisis de Eficiencia de los VE y el análisis de Emisiones de CO₂, todo para los casos de estudio presentados en la sección de Resumen y luego desarrollados.

Para resumir los resultados más importantes remarcados en la sección anterior y poder extraer las conclusiones de esta sección de análisis, se confeccionó la siguiente tabla:

<u>CASOS / PARÁMETRO</u>		<u>PRESUSTENTABLE</u>		<u>SUSTENTABLE</u>		<u>FULLSUSTENTABLE</u>		<u>GERENCIAL</u>	
<u>Tasa de descuento (r)</u>		10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%
ΔCTP>0	VMCI Nafta-VE	USD1009 @20000km/año	USD5836 @20000km/año	USD1623 @ 20000km/año	USD6271 @ 20000km/año	USD749 @20000km/año	USD5508 @20000km/año	USD1380 @30000km/año	USD1151 @20000km/año
	VMCI GNC-VE	USD4715 @60000km/año	USD880 @40000km/año	USD573 @ 50000km/año	USD1749 @ 40000km/año	USD3930 @60000km/año	USD215 @40000km/año	-	-
VAN DIFERENCIAL	VE-VMCI Nafta	USD714 @20000km/año	USD5427 @20000km/año	USD1058 @ 20000km/año	USD5861 @ 20000km/año	USD454 @20000km/año	USD5099 @20000km/año	USD5011 @40000km/año	USD7679 @30000km/año
	VE-VMCI GNC	USD3703 @60000km/año	USD378 @40000km/año	USD4735 @ 60000km/año	USD1247 @ 40000km/año	USD2918 @60000km/año	USD2089 @50000km/año	-	-

Tabla 29 Resumen de resultados observados en gráficos 1 al 14.

En **negrita** los resultados del caso Sustentable que resulta el más favorable económicamente.

Elaboración Propia.

Se observa que, recorriendo tan solo 20000km/año, lo cual es un RTA completamente normal para un vehículo particular, el Costo Total de Propiedad para los casos Pre-Sustentable, Sustentable y FullSustentable, con tasa de descuento 10%, resultó menor para el VE respecto del VMCI Nafta, en USD1009, USD1623 y USD749, respectivamente. Paralelamente, se ve que, para una tasa de descuento del 5%, el CTP también pasó a ser menor para el VE, para los tres casos, a los 20000km/año, pero ahora en USD5836, USD6271 y USD5508, respectivamente.

Siguiendo la misma secuencia, pero enfocada ahora en la diferencia entre VMCI GNC y VE, los valores fueron, en favor del VE y con tasa de 10%, USD4715, USD573 y USD3930, que se dieron a los 60000km/año para los casos Pre y Full Sustentable y a los 50000km/año para el caso Sustentable. Paralelamente, para el análisis con tasa de descuento del 5%, los valores fueron de USD880, USD1749 y USD215, en todos los casos a los 40000km/año.

En cuanto al VAN, para el escenario diferencial VE-VMCI Nafta y los casos Pre-Sustentable, Sustentable y FullSustentable, a tasa 10%, los valores fueron positivos a los 20000km/año, siendo de USD714, USD1058 y USD454, respectivamente. Por su parte, fueron de USD5427, USD USD5861 y USD5099, a tasa de descuento del 5%.

Para el VAN diferencial VE-VMCI GNC, respetando el mismo orden de casos, los valores fueron USD3703, USD4735 y USD2918, los tres a los 60000km/año y tasa de descuento del 10%. Para la variante con tasa de descuento del 5%, los valores resultaron ser de USD378, USD1247 y USD2089, a los 40000km/año para los dos primeros y 50000km/año para el último.

Para el caso de vehículos gerenciales, se dieron los valores de CTP menores para el VEC, de USD1380, a los 30000km/año y tasa de descuento 10%, y USD1151 a los 20000km/año y tasa

5%. Paralelamente, el VAN resultó positivo con un valor de USD5011, a los 40000km/año y tasa 10%, mientras que fue de USD7679 a los 30000km/año y tasa 5%.

En conclusión, los gráficos y la Tabla 29 muestran que el VEC puede ser económicamente más conveniente que el VMCIC Nafta siempre que se considere un RTA de no menos de 20000km/año. Esto se mantiene para los tres casos de suministro de energía eléctrica, siendo el caso Sustentable (energía adquirida en el MATER) el más conveniente, acentuándose la ventaja para el valor de tasa de descuento de 5%.

A su vez, el VEC también puede ser más conveniente que el VMCIC GNC, siendo el caso Sustentable el más tempranamente notorio, dándose la ventaja económica a partir de los 50000km/año, mientras que a los 60000km/año para los restantes dos casos.

Como observación, referido a las tasas de descuento que con hipótesis expresas se utilizaron, el hecho de variar del 10 al 5% tuvo como efecto adelantar, tanto la disminución del costo de propiedad del VE respecto de las dos tecnologías de VMCI, como también adelantar el paso por el punto de equilibrio del VAN. No se aplicaron tasas mayores en dólares norteamericanos, ya que el contexto macroeconómico actual así lo vislumbra (Ver Tabla 3). No se consideró ese escenario, por la incertidumbre justamente en este contexto. Sin embargo, si se hubieran tenido en cuenta tasas mayores, el efecto sobre los cálculos de CTP y VAN hubiera sido el de desplazar los cruces de las curvas de estos parámetros hacia valores más altos de RTA, desfavoreciendo a los VE, por su elevado precio inicial de compra.

Relativamente a la eficiencia energética, se evidenció la gran ventaja que representa la utilización de los VE en general, y los VEC en particular de este trabajo. Si bien la eficiencia teóricamente se mantiene del grado de utilización, cuantificando la energía total utilizada en los casos extremos Bau Nafta y FullSustentable, es indiscutible el ahorro energético resultante.

En cuanto a emisiones de Dióxido de Carbono - las únicas emisiones gaseosas de la combustión de un MCI que se cuantificaron en este análisis - se observó que la diferencia entre los casos extremos Bau Nafta y FullSustentable es extremadamente notoria. Esto es para los VE en general, y en particular de este trabajo para los VEC, un aspecto diferencial a favor muy evidente respecto de los VMCI, sobre todo para países en los que se ha decidido adoptar fuertes políticas de descarbonización, y las mismas empresas públicas o privadas, en ciertas ocasiones, son invitadas por el estado nacional a acompañarlas.

Notas Cuerpo Principal

¹ Granos argentinos sometidos a certificación sustentable ASC-CPIA:

<http://www.cpia.org.ar/agropost/201810/nota5.html>

² Comisión Europea - Ecolabel: <https://ec.europa.eu/environment/ecolabel/> y

³ Políticas de la CE sobre la producción sustentable: https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/rp_sustainable_europe_es_v2_web.pdf

⁴ Imagen disponible en Electric Vehicles News:

<https://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyIII.htm>

⁵ Imagen disponible en Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico

⁶ Peso de tren de potencia eléctrico incluyendo banco de baterías - Power Engineering International:

<https://www.powerengineeringint.com/smart-grid-td/energy-storage/heavy-metal-the-battle-to-lose-weight-in-ev-engines/>

⁷ Tamaño motor Tesla vs MCI - Quora: <https://www.quora.com/How-big-is-the-Tesla-Motor-compared-to-an-IC-engine-and-where-do-they-put-it>

⁹ Imagen disponible en Nissan-Global: https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_powertrain.html

¹⁰ Imagen disponible en Autoblog: <https://autoblog.com.ar/2019/10/03/todo-lo-que-siempre-quisiste-saber-sobre-motores-electricos-y-nunca-te-atreviste-a-preguntar/>

¹¹ Imagen disponible en Dreamstime: <https://es.dreamstime.com/motor-de-coche-desmontado-muchas-piezas-image114959696>

¹² Gráfico recuperado de Autonoción: <https://www.autonocion.com/motores-combustion-diesel-gasolina-vs-electricos-par/>

¹³ Sistema Start-stop: Un vehículo con Start-Stop permite que, pasado un tiempo determinado que el vehículo se detiene, el motor del VMCI se apaga. Para que esto suceda, se debe estar en marcha neutra y el pedal del freno apretado.

¹⁴ Aseveración sobre sistema start-stop hecha en base a búsqueda en Google, donde se encontraron mayoría de opiniones negativas:
https://www.google.com/search?q=how+many+cars+in+the+world+have+autostop%3F&rlz=1C1SQJL_e_sAR878AR878&oq=how+many+cars+in+the+world+have+autostop%3F&aqs=chrome..69i57.30873j1j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

¹⁵ Servicios de carsharing y carpooling en Argentina: <https://www.toyotamobility.com.ar/> y <https://www.nissan.com.ar/corporativo/noticias-eventos/awto-argentina.html>

¹⁶ EDENOR – Generación Distribuida: (<https://www.edenor.com/nota/generacion-distribuida>)

¹⁷ EPE – Prosumidores: <https://www.santafe.gob.ar/ms/prosumidores/quiero-ser-prosumidor/maximo-prosumidor/>

¹⁸ Precio Nissan Leaf: <https://www.nissan.com.ar/vehiculos/nuevos/nissan-leaf/precios.html>

¹⁹ Precio Peugeot 5008: <https://www.autocosmos.com.ar/catalogo/vigente/peugeot/5008-suv>

²⁰ Precios Renault Kangoo ZE: <https://www.renault.com.ar/electricos/kangoo-ze.html>

²¹ Precios Renault Kangoo naftera:
https://www.renault.com.ar/automoviles/kangoo.html?ORIGIN=sea_defensive&CAMPAIGN=ar-jul-2020-search-ads-360-l-newcar-aosem&&gclid=EAlaIqOBChMIq-3Z1KS_6gIVBYGRCh2NjgLjEAAAYASAAEgJ-D_D_BwE&pdv=c

²² Precio Renault Kangoo con equipo de GNC. Ver referencia precio Equipo GNC.

²³ Valores de financiación NISSAN / Renault Kangoo: <https://www.nissan.com.ar/oportunidades-nissan.html#category=Financiaci%C3%B3n>; <https://www.renault.com.ar/legales-oportunidades.html>

²⁴ Tasa FED: <https://www.telam.com.ar/notas/202007/495996-tasas-reserva-federal-de-los-estados-unidos.html>

²⁵ Estimación del riesgo país: <https://www.iprofesional.com/finanzas/310575-que-es-el-riesgo-pais-y-como-afecta-nuestra-economia>

²⁶ Estimación hecha a partir de Datosmacro.com: <https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/argentina#:~:text=La%20variaci%C3%B3n%20mensual%20del%20IPC,es%20del%2022%2C3%25>.

²⁷ Créditos MiPyMes BNA para capital de trabajo en USD:

<https://www.bna.com.ar/Empresas/Pymes/Creditos> y <https://www.tuplazofijo.com.ar/plazos-fijos/tasas/dolares/>

²⁸ Valores de servicio de Renault Kangoo:

<http://sites.renault.com.ar/services/services3.php?id=9&z=2&s=60>

²⁹ Valores de referencias de servicio de mantenimiento anuales de Nissan Leaf:

<https://forococheelectricos.com/2019/06/cuanto-cuesta-el-mantenimiento-de-un-coche-electrico-nissan-leaf.html> y <https://www.nissan.com.ar/faq-leaf-main/faq-leaf.html>: “Los vehículos eléctricos son menos complejos mecánicamente que los de motor de combustión. Por eso son más amigables con el medio ambiente y también con su billetera, ya que los costos de mantención son menores (en promedio 15% menos que el costo de mantención de un vehículo que usa nafta, de 0 a 60 mil km, por ejemplo).”

³⁰ Valores de referencias de servicio de mantenimiento anuales de Peugeot:

http://peugeotargentina.com.ar/mantenimiento_rapide_duo/index.php/mantenimientos/ver

³¹ Precio histórico promedio de la nafta premium en Argentina en USD:

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EP.PMP.SGAS.CD?end=2016&locations=AR&start=1992&type=shaded&view=chart>

³² Variación del Precio de las naftas en el territorio argentino:

<https://www.infobae.com/economia/2020/01/11/las-diferencias-en-los-precios-de-los-combustibles-en-todo-el-pais-por-que-son-mas-baratos-en-la-ciudad-de-buenos-aires/> y <http://fecra.com.ar/las-diferencias-en-los-precios-de-los-combustibles-en-todo-el-pais-por-que-son-mas-baratos-en-la-ciudad-de-buenos-aires/>

³³ Precio equipo de GNC: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-812951733-equipo-gnc-5ta-generacion-tomasetto-achille-24- JM#position=2&type=item&tracking_id=a29e1a7f-4771-467a-ba22-cf49e1af738f

³⁴ Conversación telefónica con personal de ABAGAS GNC: <http://www.abagas.com.ar/>

³⁵ Cambio embrague + MO:

https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-838048358-cambio-kit-embrague-kangoo-original-16-16v-k4m-frances- JM?quantity=1#position=2&type=item&tracking_id=019dbd94-6a3c-448b-b502-fe8e1db43235

³⁶ Autonomía y capacidad de la batería de Kangoo ZE: <https://www.renault.com.ar/electricos/kangoo-ze/bateria-y-carga.html>

³⁷ Autonomía y capacidad de la batería de Nissan Leaf:

<https://www.nissan.com.ar/vehiculos/nuevos/nissan-leaf/autonomia-recarga.html>

³⁸ Precios de referencia de recarga de batería: <https://www.electrifyamerica.com/pricing/>, <https://www.myeve.com/research/ev-101/what-it-costs-to-charge-an-electric-vehicle#:~:text=While%20the%20ChargePoint%20network%20allows,in%20states%20where%20that's%20permitted> y <https://chargedevs.com/newswire/is-ionitys-prodigious-price-increase-designed-to-steer-customers-to-mobility-services/>

En muchas partes del mundo, establecimientos gastronómicos, shoppings, supermercados y otros similares, ofrecen la recarga de vehículos eléctricos como un servicio a sus clientes sin costo adicional. Ese supuesto y el hecho de que el recorrido diario pueda ser completado luego de un reabastecimiento de carga en planta, son los motivos por los cuales se consideró una sola recarga adicional fuera de la empresa.

³⁹ Carga Nissan Leaf en CA y CC: <https://www.nissan.com.ar/vehiculos/nuevos/nissan-leaf/autonomia-recarga.html>

⁴⁰ Ver²⁵

⁴¹ Calculado de CAMMESA junio 2020: precio estabilizado de energía de Cammesa a distribuidora, tarifa residencial: AR\$1764 + Precio Monómico + Tpte. Cammesa: AR\$4500. Convertido a dólares de la fecha.

⁴² Precio de MATER tomado de CAMMESA junio 2020, Ver doc. en pág. 9:
<https://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/Mater/Informe%20Renovables%20JUN%202020.pdf>

⁴³ Resultante de la división entre el costo total de la inversión del SSFV y la energía total (en MWh) que se estimó que son generados en los 10 años de evaluación del proyecto.

⁴⁴ Estimación extraída de ABCNissan: <https://www.abcnissan.com/blog/2018/october/19/how-long-does-a-nissan-leaf-battery-last.htm>

⁴⁵ Datos tomados de BNEF: <https://www.bloomberg.com/quicktake/batteries>

⁴⁶ Dato respaldado en base a ENRG: <https://enrg.io/how-much-does-a-nissan-leaf-battery-replacement-cost/> y MyNissanLeaf: <https://www.mynissanleaf.com/viewtopic.php?t=30857>,
<https://mynissanleaf.com/viewtopic.php?f=4&t=17168&start=1220>

⁴⁷ Aseveración tomada en base a noticia de revista Parabrisas:
<https://parabrisas.perfil.com/noticias/novedades/los-autos-hibridos-y-electricos-se-ahorran-hasta-335335-pesos-de-patente-por-ano-ciudad-de-buenos-aires-caba-ecologicos-modelos-verdes.phtml> y Autoblog: <https://autoblog.com.ar/2019/08/06/los-autos-hibridos-y-electricos-no-pagaran-patente-en-la-ciudad-de-buenos-aires/>

⁴⁸ VAN: es un indicador económico, que contabiliza el flujo, descontado a valor presente con una tasa determinada, de los ingresos y egresos netos originados por un proyecto de inversión, del cual se quiere evaluar su factibilidad económica.

⁴⁹ Aseveración verificada en Sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/otto-cycle>

⁵⁰ La eficiencia de una planta solar puede considerarse 1, puesto que la energía proveniente del sol no se contabiliza, ya que es libre y no se paga. Es sabido que se está avanzando en el desarrollo de paneles más eficientes para mejorar el aprovechamiento del recurso solar.
https://www.huffpost.com/entry/the-truth-about-efficiency-in-solar-power-generation_b_5a028d5fe4b02f3ab3377e60

⁵¹ Cálculo y valores obtenidos de Fueleconomy - Find and Compare Cars:
<https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=42562&id=42297>. Última fecha de consulta: 4 de abril de 2020.

Anexo 1 - Contaminación Atmosférica, Ambiental y Sonora. Efectos en la Salud, el Medio Ambiente y el Clima. Aportes de la Electromovilidad a Mitigar la Contaminación.

Rol del Estado

Desde el punto de vista de una política de Estado, el principal motivo detrás de la promoción de la EM está relacionado a los beneficios en el medio ambiente.

La participación del Estado en la promoción de la EM se justifica con el fin de disminuir las externalidades asociadas al uso de Vehículos De Combustión Interna (VMCI), tales como la menor calidad del aire y la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Se ha observado que, incluso si las fuentes de generación eléctrica mantuviesen la composición actual, el VE, al ser más eficiente que el VMCI, se reduce el consumo de energía primaria, tal como se muestra en la Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

Adicionalmente, la matriz de generación eléctrica tiene una mayor participación de fuentes con bajas o nulas emisiones (nuclear, hidráulica, renovables, gas) en comparación al sector de transporte convencional, donde la fuente de energía proviene de la combustión de derivados del petróleo (naftas, gasoil, fueloil, etc.). Incluso en opciones de combustible menos contaminantes, como el gasohol o el gas natural, el VE continúa siendo la opción más amigable en términos ambientales, reduciendo la contaminación WTT casi a cero. Un estudio que hizo la Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente muestra que un VE es siempre más amigable con el medio ambiente que un VMCI.[1]

En efecto, los VE que operan en un sistema cuya generación se basa en recursos renovables, reducen la cantidad total de emisiones y podrían llegar a cero (ver tabla 2). Surge entonces la necesidad evidente de acompañar la electrificación del transporte de una adecuada promoción de las energías renovables. Todos estos factores generan una reducción de las emisiones de GEI y de emisiones de material particulado en las ciudades.

En muchos países en desarrollo los combustibles más contaminantes terminan siendo los más baratos, pero los precios del mercado no están reflejando el costo que imponen a la sociedad en su conjunto (costo ambiental y costo en salud). Una de las razones que sustentan la transición hacia los VE es justamente la gran reducción de GEI y la sustancial mejora de la calidad del aire.

Más aún, el desarrollo sostenible constituye actualmente la máxima prioridad de la comunidad internacional y es uno de los objetivos centrales de la agenda de las Naciones Unidas. Los tres pilares del desarrollo sostenible son de índole económico, social y ambiental.

En el marco de la edición 70 de la Asamblea General de Naciones Unidas, celebrada el 25 de septiembre de 2015, se aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual consta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos se componen por 169 metas, algunas de las cuales podrían recibir buena contribución por parte de la Electromovilidad. (Ver Ilustración 9)



Ilustración 9. Objetivos de Desarrollo Sostenible determinados por la ONU.
Fuente y elaboración: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible.

Existen ODS a los cuales la Electromovilidad puede contribuir de manera importante por su potencial en el uso de energías limpias, reducción de la contaminación del aire (y, por tanto, de las enfermedades asociadas) y mitigación del cambio climático. Son los siguientes:

Objetivo Tres: La Salud y el Bienestar.

Una de sus metas es abordar la mejora de la salud, por medio de la reducción de las emisiones de los contaminantes atmosféricos que generan enfermedades. Una política para apoyar esa reducción es la adopción de un transporte menos contaminante, como la Electromovilidad.

Objetivo Siete: Energía Asequible y no Contaminante.

El potencial de la Electromovilidad en la mejora del medio ambiente se incrementa cuando la energía utilizada es generada en base a recursos renovables. Mediante políticas que promuevan la electrificación del transporte, se asegura que los ciudadanos tengan acceso a servicios energéticos que contribuyen a la eficiencia energética y que reducen el impacto ambiental.

Objetivo Once: Ciudades y Comunidades Sostenibles.

Se enfoca en los problemas generados por el crecimiento poblacional desmedido y la saturación de las ciudades que se dará en los próximos años. Una de las metas se enfoca en disminuir el impacto negativo per cápita por esas condiciones de las ciudades, prestando atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos. La Electromovilidad contribuiría notablemente al primer aspecto; en cuanto al segundo; se analiza en otro anexo el posible impacto que pueda generar el descarte de las baterías de los VE.

Objetivo Trece: Acción por el Clima.

En el contexto de estos objetivos, los Estados se fijan metas para luchar contra el cambio climático, para lo cual será fundamental migrar hacia fuentes menos contaminantes de energía, como la EM, entre otras.

En este sentido, la promoción de la EM, tanto para el transporte público como para el privado, aparece como una medida fuertemente alineada con esos objetivos: los VE representan una alternativa de solución a distintos problemas perjudiciales para la sociedad, relacionados con la salud pública, la contaminación, el aumento de gases de efecto invernadero, la seguridad energética (Ver Anexo 5) y el transporte.

En muchos países en desarrollo los combustibles más contaminantes terminan siendo los más baratos, pero los precios del mercado no están reflejando el costo que imponen a la sociedad en su conjunto (costo ambiental y costo en salud). Una de las razones que sustentan la transición hacia los VE es justamente la gran reducción de GEI y la sustancial mejora de la calidad del aire.

La predominancia de la tecnología de los VMCI ha impuesto sobre la sociedad en su conjunto y sobre el planeta, costos en salud e impacto ambiental que no son asumidos por los usuarios. Así, la principal justificación para la participación del Estado es la de remediar las externalidades, buscando una solución a la contaminación y la emisión de GEI por parte del parque automotor. Según la Sociedad Europea de Cardiología (ESC), la vida de las personas está siendo acortada en un promedio de 3 años por causa de diferentes tipos de contaminantes del aire. [2]

Disminución de emisiones de Dióxido de Carbono por el uso del VE

Las emisiones de CO₂ y metano, son causantes del calentamiento global, y la mayor parte liberada a la atmósfera de estos GEI tiene origen antropogénico (León G. y Benavides H, 2007) [3].

El CO₂ es uno de los más importantes GEI asociados a actividades humanas y el segundo gas más relevante en el calentamiento global, después del vapor de agua (León G. y Benavides H, 2007). Así, los VE se conciben como una alternativa de solución de suma importancia para mitigar el calentamiento global, en contraposición a los vehículos con motor de combustión interna.

A modo de ejemplo, en Estados Unidos, en los estados con recursos energéticos renovables (RER) predominantes, existe una mayor disminución en la emisión de CO₂ en cuanto al uso de los VE. El mismo caso se observa con los híbridos enchufables, en estados con 100% de participación de RER, las emisiones de CO₂ se reducen a cero. [4]

Además, los sistemas de generación de energía distribuida mediante RER, presentan la ventaja adicional de ser producidos en forma descentralizada, y así conectarse directamente con los puntos de carga de los autos eléctricos. Esto hace que se reduzca la congestión en las líneas de transmisión y, además, bajen las pérdidas de energía asociadas al transporte de electricidad (Ver Anexo 5-Aportes de la Electromovilidad al Sistema Eléctrico).

Mediante la metodología WTW (Well to Wheel, del inglés, pozo a la rueda), que contempla las sub-metodologías WTT (Well to Tank, del inglés, pozo a tanque) y TTW (Tank to Wheel, del inglés, tanque a la rueda), se puede determinar la cantidad de kilogramos de CO₂ que un automóvil de una determinada tecnología emitiría a lo largo de todo el proceso de su funcionamiento, desde la extracción de la energía primaria hasta su propio funcionamiento como tal.

Disminución de la contaminación local por el uso del VE

La salud pública se ve severamente afectada por el tráfico y la contaminación, sobre todo en ciudades donde predominan una flota de transporte antigua y un sistema ineficiente de transporte público. La calidad del aire en Europa ha mejorado notoriamente como consecuencia de las medidas del coronavirus y se estima que ha evitado 11.300 muertes prematuras. Esa es la conclusión del Centro de Investigación sobre Energía y Aire Limpio en Helsinki (Finlandia). Sólo en Bélgica, se evitaron 250 muertes prematuras [5].

Es válido considerar la mejora de la calidad del aire como la ganancia en reducciones de la morbilidad y mortalidad prematura causadas por la mala calidad de este. Además, bajarían los costos asociados a enfermedades respiratorias y cardiovasculares producto de la contaminación aérea.

Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016), una de cada nueve muertes en el mundo se debe a este problema. Además, dentro del continente americano, 93.000 muertes en países de ingresos bajos y medios y 44.000 en países de ingresos altos, se atribuyen a la contaminación atmosférica.

Como informa la Organización Panamericana de la Salud, la contaminación del aire representa un problema debido a que es causa del 36% de muertes por cáncer de pulmón, del 34% de los accidentes cerebrovasculares, del 35% de enfermedades pulmonares crónicas y del 27% de las cardiopatías isquémicas.

En China, conocida la contaminación del aire que compromete a sus ciudades conglomeradas, un incremento del 1% del material particulado menor o igual a 2.5 micrones, representa un incremento del 2,942% en el gasto doméstico en salud. A su vez, el Decimotercer Plan Quinquenal de Protección Ecológica y Ambiental que han delineado en ese país (13er FYP) evidencia que anualmente el gasto en salud, relacionado a la prevención y cura de enfermedades causadas directamente por la contaminación del aire en las ciudades, se reduciría en 47,36 mil millones de dólares, lo que representa un 0,64% del producto bruto interno de China. (Jing Yang, Bing Zhang, 2018).

Un VE apenas emite 2,5g de CO₂ a la atmósfera por km contra 215 de un VMCI a Nafta, evitando más de 210g/km. En el gráfico a continuación los valores calculados:

A continuación, y no menos importante, se dedica el resto de este anexo a detallar los distintos contaminantes que surgen de la actividad humana, en particular el transporte que usa como fuente de energía los combustibles fósiles.

La actividad humana genera diversos contaminantes cuyo conocimiento resulta indispensable a fin de evaluar las ventajas que ofrece la Electromovilidad como contribución a mejorar la calidad del aire en las ciudades y a la mitigación del cambio climático.

La diferencia entre los GEI y los contaminantes radica en que los primeros tienen un alcance global, mientras que los segundos tienen un efecto a nivel local y su reducción incide directamente en la salud de las personas debido a una mejor calidad del aire.

En el transporte automotor, en particular el de VMCI, los productos y subproductos contaminantes atmosféricos producidos por los Vehículos de Motores De Combustión Interna (VMCI) pueden resumirse en la siguiente lista [6]:

- NO_x
- CO
- HC
- **Calor**
- CO₂
- H₂O
- Material Particulado (MP)
- SO_x

Cuando se produce la combustión del hidrocarburo dentro del cilindro, gran parte de la energía contenida por el hidrocarburo es liberada al ambiente en forma de calor. Esto además de ser un desaprovechamiento de la energía (por ende, pérdida de eficiencia), contribuye al calentamiento del ecosistema de las ciudades que cuentan con una considerable circulación de VMCI, sumando al fenómeno conocido como “isla de calor”.

Los otros subproductos que se aprecian en la lista son los contaminantes atmosféricos más frecuentes emitidos por los VMCI y se dividen por su forma física en dos grandes grupos: materiales particulados y contaminantes gaseosos (gases y vapores). Según su origen se pueden clasificar en primarios y secundarios (ver Tabla 30). Los primarios provienen directamente de la fuente de emisión, mientras que los secundarios se originan a partir de reacciones químicas que ocurren entre contaminantes primarios o entre contaminantes primarios y elementos de la atmósfera.

Contaminantes primarios	Material particulado	PM _{2.5}
		PM ₁₀
	Contaminantes gaseosos	Compuestos de azufre
		Compuestos de nitrógeno
		Compuestos de carbono
		Compuestos halogenados y derivados
Contaminantes secundarios	Oxidantes fotoquímicos	Compuestos orgánicos volátiles
		Ozono troposférico
		Aldehídos
		Nitratos de peroxiacilo
		Peróxido de hidrógeno

Tabla 30. Tipos de Contaminantes atmosféricos según su origen.
Fuente Osinergim

Descripción de Contaminantes atmosféricos y Efectos sobre la Salud y el Clima

Material particulado atmosférico

(PM, por sus siglas en inglés de particulate matter)

Es el conjunto de partículas que se encuentra en la atmósfera en estado sólido o líquido. Según su mecanismo de formación, el material particulado atmosférico se clasifica en partículas primarias, emitidas directamente en estado sólido a la atmósfera; y secundarias, que se forman en la atmósfera por reacciones químicas o físicas. Las partículas pueden originarse a partir de alguna actividad antropogénica o natural. Las de interés para este trabajo son primeras, las cuales es común hallarlas en las zonas urbanas, como consecuencia de actividades industriales, del transporte o mineras. Según su diámetro se clasifican en:

Partículas PM₁₀: su diámetro oscila entre 2.5 y 10 μm y están formadas por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos.

Partículas PM_{2.5}: su tamaño es igual o inferior a 2.5 μm , y provienen, sobre todo, de fuentes antropogénicas, como las emisiones de los VMCI.

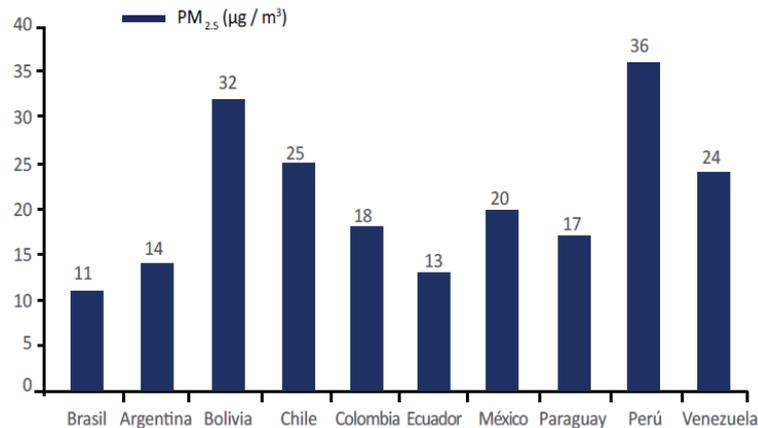


Gráfico 21 Material particulado 2.5 (PM2.5) en los países de Latinoamérica.

Fuente: Hincio (2017) <http://namasenergia.minem.gob.pe//Content/fileman/Uploads/Images/menu-centroinformacion/Diaq%C3%B3stico%20NAMA%20Transporte%20Limpio.pdf>.

La principal vía de ingreso del material particulado atmosférico en el organismo es mediante el sistema respiratorio. Mientras más pequeñas sean las partículas, mayor será la capacidad de penetración en el sistema respiratorio, y, por ende, mayor la gravedad de sus efectos en la salud humana.

En cuanto al clima, el material particulado en forma de deposición seca o húmeda contribuye al fenómeno de la lluvia ácida [7]. A su vez, tiene la capacidad de absorber las radiaciones electromagnéticas y contribuir al incremento del efecto invernadero.

Contaminantes gaseosos

Compuestos de Azufre - Óxidos de azufre (SOX): los principales óxidos de azufre presentes en la atmósfera son el dióxido (SO₂) y el trióxido (SO₃). El primero puede ser emitido por fuentes naturales y fuentes antropogénicas como la combustión de fósiles cuando se enciende la calefacción doméstica y los VMCI. El SO₂ se puede oxidar en SO₃, gas muy reactivo y oxidante que, en un contexto de humedades altas, se transforma en ácido sulfúrico (H₂SO₄), un componente de la lluvia ácida.

Según la OMS cuando los SOX en combinación con agua se transforman en ácido sulfúrico (H₂SO₄) y son inhalados por las personas, afectan el sistema respiratorio. Además, el ácido sulfúrico es el principal componente de la lluvia ácida junto con el ácido nítrico.

Compuestos de Nitrógeno - Óxidos de nitrógeno (NOX): al combinarse el nitrógeno con el oxígeno, en condiciones fuera de las normales de la atmósfera, forman óxidos de nitrógeno que representan contaminantes altamente nocivos. El más severo es el dióxido de nitrógeno (NO₂), que, al juntarse con algunas partículas, puede verse como una capa de color marrón rojiza en muchas áreas urbanas. Los NOX se forman cuando el combustible se quema a altas temperaturas, por lo cual son generados principalmente por los VMCI.

Los NOX pueden reaccionar con los compuestos orgánicos volátiles en el aire y, en presencia de calor, originar ozono troposférico, lo cual ocasiona enfermedades pulmonares en las personas. Al igual que el material particulado atmosférico, tienen la propiedad de retener las radiaciones EM y contribuir al efecto invernadero significativamente.

Compuestos de Carbono:

Monóxido de carbono (CO): es altamente tóxico. Su origen antropogénico ocurre por la combustión incompleta (reacción estequiométricamente desequilibrada) de sustancias como gas, gasolina, carbón, petróleo, tabaco o madera. El CO se adhiere a la sangre, formándose carboxihemoglobina (COHb), que tiene la propiedad de disminuir la capacidad de esta para transportar oxígeno y, en consecuencia, puede provocar daños cardiovasculares y efectos neuroconductuales. En cuanto al clima, en elevadas cantidades puede contribuir a la formación de GEI (metano y ozono troposférico).

Dióxido de carbono (CO₂): en sí no es tóxico, pues se encuentra en la atmósfera de forma natural, pero es sabido que, en altas concentraciones, es uno de los gases más importantes que produce el efecto invernadero, ya que tiene la característica de absorber intensamente el calor, debido a su gran capacidad para retener las radiaciones EM. Los principales factores antropogénicos que aumentan las concentraciones de CO₂ son la combustión a partir de combustibles fósiles que se aplica en procesos industriales y el transporte con VMCI. Entonces, altas concentraciones, a largo plazo pueden causar asfixia por desplazamiento del oxígeno y, en mayor magnitud, una disminución de la concentración de este.

Metano (CH₄): es el hidrocarburo más abundante de la atmósfera. Su origen antropogénico se debe, principalmente, al transporte por VMCI, la ganadería, las refinerías de petróleo y la evaporación de disolventes orgánicos. Su característica más resaltante es la propiedad que tiene de retener el calor en la atmósfera. Inhalar CH₄ puede causar irritaciones en la mucosa nasal, bucal y ocular y devenirse en enfermedades respiratorias. En cuanto al clima, es uno de los gases más importantes en la formación del efecto invernadero, luego del dióxido de carbono.

Compuestos orgánicos volátiles (COV): son hidrocarburos o derivados que debido a su alta presión pueden emitir vapores a temperatura ambiente fácilmente de inhalar. También los alcoholes, glicoles, cetonas, ésteres, éteres y aldehídos pertenecen a esta clase de contaminantes. Sus emisiones provienen de diversas fuentes antropogénicas, como el transporte de VMCI, la minería, industrias de disolventes. Los COV pueden causar daños en el sistema nervioso central y generar mayor probabilidad de sufrir leucemia y otros tipos de cáncer. Además, participan indirectamente como GEI.

Oxidantes fotoquímicos: son contaminantes secundarios que resultan de la reacción entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, la cual ocurre en un ambiente de luz solar. El ozono troposférico (O₃) es el oxidante fotoquímico más característico. Perteneció a la composición de la atmósfera, pero a bajas alturas es un contaminante oxidante, corrosivo, tóxico y altamente reactivo para generar compuestos secundarios. Puede causar problemas en el sistema respiratorio, como irritación en la garganta y dolores en el pecho; también agravar el asma en pacientes que padecen esta condición. Es uno de los gases contribuyentes más importantes al efecto invernadero luego del dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄); también puede generar smog fotoquímico.

Compuestos halogenados (CH): contienen cloro (Cl), flúor (F) e hidrógeno (H) en el caso de sus derivados. Destacan el cloruro de hidrógeno (HCl), el ácido fluorhídrico (HF) y los clorofluorocarburos (CFC). Proviene de fuentes antropogénicas, como los VMCI, las fábricas e incineraciones. Los CH puede provocar irritación ocular, reducción de la función pulmonar,

síntomas gastrointestinales, acné y disfunciones hepática. En cuanto al clima, son considerados GEI directos.

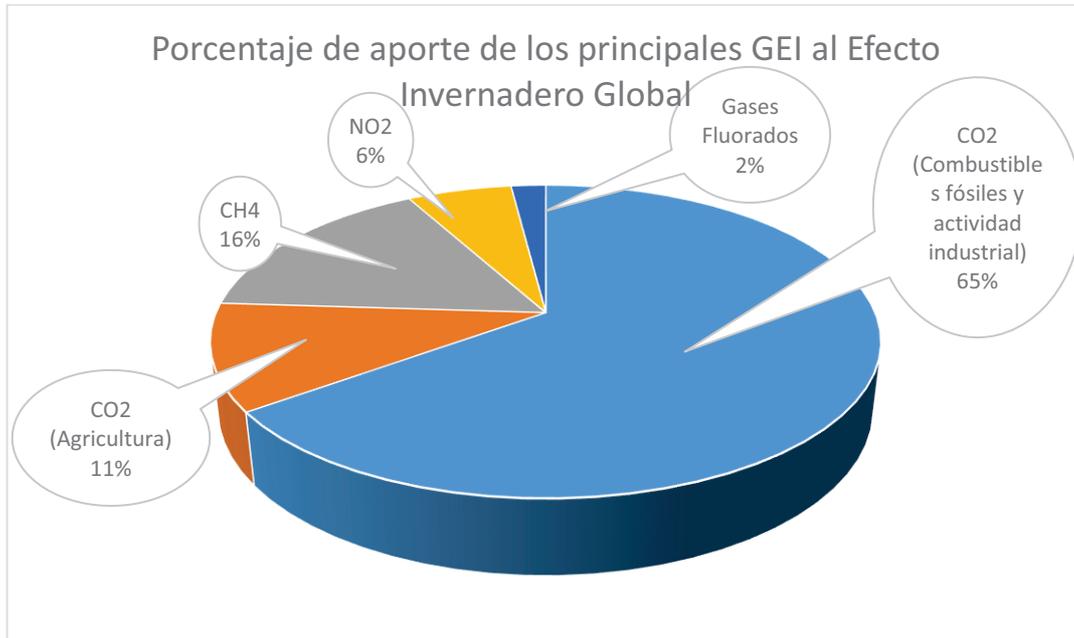


Gráfico 22 Porcentaje de aporte de los Principales GEI al Efecto Invernadero Global.
Fuente: EPA⁸. Elaboración Propia.

Contaminación relacionada a las baterías de litio - Impactos de la minería de litio [9]

El litio se encuentra en la salmuera de las salinas. Se perforan agujeros en las salinas y la salmuera se bombea a la superficie, dejándola evaporar en estanques. Esto permite extraer el carbonato de litio mediante un proceso químico.

La extracción de litio tiene importantes impactos ambientales y sociales, especialmente debido a la contaminación y el agotamiento del agua.

Además, se necesitan productos químicos tóxicos para procesar el litio. La liberación de dichos químicos a través de lixiviación, derrames o aire.

Las emisiones pueden dañar a las comunidades, los ecosistemas y la producción de alimentos. Además, la extracción de litio daña inevitablemente el suelo y también causa contaminación del aire [10].

Los salares donde se encuentra el litio se encuentran en territorios áridos. En estos lugares, el acceso al agua es clave para las comunidades locales y sus medios de vida, así como para la flora y fauna local.

Contaminación Sonora

El sonido es un fenómeno físico que consiste en la propagación de vibraciones mecánicas en medios elásticos como el aire, provocando así una sensación auditiva. El ruido se define como un sonido desagradable. La intensidad de los ruidos se mide en decibeles (dB). El umbral de audición de las personas varía de 0 dB hasta los 120 dB. La contaminación se manifiesta cuando existen

niveles de ruido en el ambiente que ocasionan molestia o afectan a la salud y bienestar de las personas por estar por encima de cierto umbral de tolerancia.

Se ha comprobado que el tránsito vehicular es la principal causa de ruido y contaminación sonora en la ciudad. Los VE contribuyen a disminuir notablemente este aspecto. Sin embargo, esta disminución sonora trae aparejado un inconveniente que es no ser advertidos por los peatones y ciclistas.

La contaminación sonora provoca múltiples efectos en la salud, tales como el deterioro auditivo, disminución del rendimiento cognitivo, insomnio y estrés, entre otros.

Uno de los principales elementos diferenciadores de los vehículos eléctricos es que, comparados a aquellos de motor de combustión interna, no generan ruidos en su funcionamiento. Sin embargo, paradójicamente, los fabricantes de vehículos eléctricos están invirtiendo en conseguir un sonido que identifique a sus vehículos de producción, con el fin de evitar accidentes viales [11].

En Estados Unidos se aprobó en 2010 una normativa que compromete a los vehículos más silenciosos a emitir un ruido que alerte de su presencia a los peatones.

Notas Anexo 1

¹ Dato recuperado de Newmobility.news: <https://newmobility.news/2020/04/21/ev-emits-on-average-almost-3-times-less-co2/>

² Dato recuperado de ESC: <https://www.escardio.org/The-ESC/Press-Office/Press-releases/The-world-faces-an-air-pollution-pandemic>; y newmobility.news: <https://newmobility.news/2020/03/11/esc-air-pollution-far-more-dangerous-than-coronavirus/>

³ Dato respaldado en artículos varios de la OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>, <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health> y <https://www.who.int/globalchange/publications/en/Spanishsummary.pdf?ua=1>

⁴ Dato recuperado de U.S Department de Energy: "Emissions from Hybrid and Plug-In Electric Vehicles". https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions.html

⁵ Dato obtenido de Newmobility.news: <https://newmobility.news/2020/04/30/11-000-fewer-premature-deaths-by-improved-air-quality/>

⁶ Obtenido de presentación de Alberto Garibaldi Ingeniería

⁷ La lluvia o deposición ácida es un fenómeno natural que se produce a partir de la transformación de los óxidos de azufre y nitrógeno en ácido sulfúrico y ácido nítrico, respectivamente. Estos compuestos, al combinarse con el vapor de agua y el material particulado, forman precipitaciones de carácter ácido.

⁸ Datos obtenidos de EPA: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

⁹ Información obtenida mayormente de Friends of Earth Europe: https://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/13_factsheet-lithium-gb.pdf

¹⁰ Aseveraciones obtenidas de IFG: Democracy Center Special Report, Bolivia and its Lithium: Can the "Gold of the 21st Century" Help Lift a Nation out of Poverty? May 2010. <http://www.ifg.org/pdf/DClithiumfullreportenglish.pdf>

¹¹ Dato obtenido de FORBES: <https://www.forbes.com/sites/dbloom/2019/11/20/film-composer-hans-zimmer-gives-bmws-electric-cars-a-noteworthy-voice/>

Anexo 2 - Transición Tecnológica hacia la Electromovilidad

Breve historia del automóvil eléctrico [1]

Si bien puede creerse que el VE es uno de los desarrollos recientes de la industria, el primero en su tipo data de la década de 1830 y fue inventado por Robert Anderson. La comercialización de los VE inició en 1852, pero estos presentaban un inconveniente: la autonomía, las baterías no se podían recargar y no cubrían largos recorridos. La creación de las baterías recargables por Gaston Planté en 1859 y la invención (1880) de Camille Faure de un procedimiento electroquímico que aumentaba la capacidad de carga de la batería, permitieron que se pueda hablar de vehículos eléctricos operativos, pero que aún no podían cubrir una extensa ruta.

En la primera década del siglo XX, los VE se habían vuelto populares, representaban cerca de la tercera parte del parque automotor de las grandes ciudades del mundo, donde su rango limitado no era una desventaja. Empresas como Electric Vehicle Company, Woods Motor Vehicle Company, Detroit Electric, General Vehicle Company y Milburn Light Electric estaban presentes en el mercado. En la década de 1860, llegó el motor de combustión interna. Pese a que eran difíciles de arrancar y emitían mucho humo y ruido, estos autos tuvieron gran acogida por la mayor autonomía que poseían con respecto a los VE. Ni siquiera las baterías de níquel-hierro introducidas por Thomas A. Edison les hicieron competencia.

En 1908, Ford estableció la cadena de montaje, dando paso a un nuevo sistema socioeconómico, el fordismo. Este se basaba en la producción industrial en serie y le permitía bajar el precio de venta notablemente a su producto estrella, el Ford Model T. Unido a la caída del precio de la gasolina por el descubrimiento de grandes reservas petroleras en todo el mundo, la situación hizo que los VE pierdan su posición en el mercado hasta casi desaparecer.

Se retomó el interés por la electricidad como energía para el transporte gracias a la crisis del petróleo de la década de 1970, las mejoras en la tecnología y concientización por parte de los países occidentales de la desmesurada dependencia y contaminación de los combustibles fósiles.

En las últimas décadas los gobiernos empezaron a promover activamente la adopción de VE para combatir la contaminación y el cambio climático. Sin embargo, también hubo importantes obstáculos para la adopción, tales como la incertidumbre sobre la longevidad y el valor de reventa, la seguridad y, nuevamente, el rango que dichos vehículos permitían alcanzar.

En 2007, Nissan y Renault formaron una alianza que buscaba posicionarlos como líderes en el terreno de los vehículos eléctricos. Lanzaron al mercado el primer motor eléctrico producido masivamente: el desarrollo del Nissan Leaf tomó tres años, llegando a coronarse como el VE más vendido en el mundo en su época. Hubo empresas que no lograron adaptarse a este tipo de mercado y se declararon en bancarota, por ejemplo, Fisker en 2014. Posteriormente, con la fundación de Tesla y los lanzamientos de las líneas Roadster y Model S, acompañados de los superchargers, la EM volvía a ser una realidad viable (aunque solo para la clase social con mayores ingresos). En la actualidad, casi todos los fabricantes de automóviles tienen (o tendrán en breve) un automóvil eléctrico en su oferta.

Panorama actual del sector automotriz argentino y mundial

Actualmente, la industria automotriz comprende una amplia gama de empresas y organizaciones involucradas en el diseño, desarrollo, fabricación, comercialización y venta de vehículos. Por su nivel de ingresos anuales, la industria automotriz es uno de los sectores económicos más grandes del mundo medido por ingreso [2].

A su vez, dentro de la industria automotriz, el segmento de vehículos de pasajeros es el que mayor peso que tiene dentro de esta industria en cuanto a la cantidad de unidades producidas [3], según puede apreciarse en el siguiente gráfico:

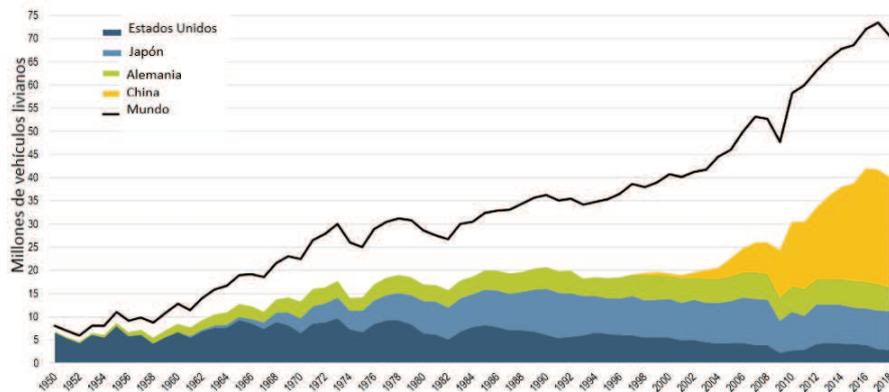


Gráfico 23 Evolución del número de vehículos livianos producidos en el mundo, sin los comerciales.
Fuente: The Geography of Transport Systems⁴. Elaboración propia.

En Argentina la tendencia es similar, según muestra el siguiente gráfico:

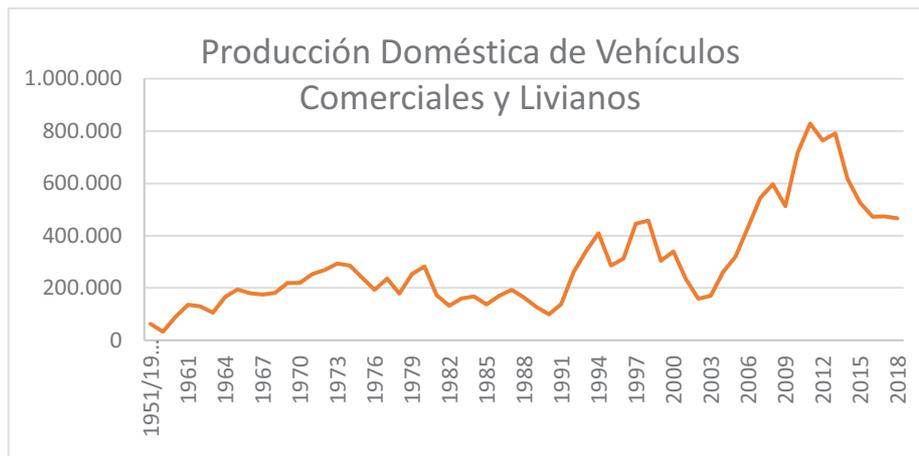


Gráfico 24 Evolución de la producción de Vehículos Livianos y Comerciales en Argentina.
Fuente: ADEFA⁵. Elaboración Propia.

También, se observa en el siguiente gráfico que la cifra de vehículos per cápita en el mundo tiene una tendencia creciente, de lo cual se desprende la inevitable deducción que el parque automotor es cada vez mayor.

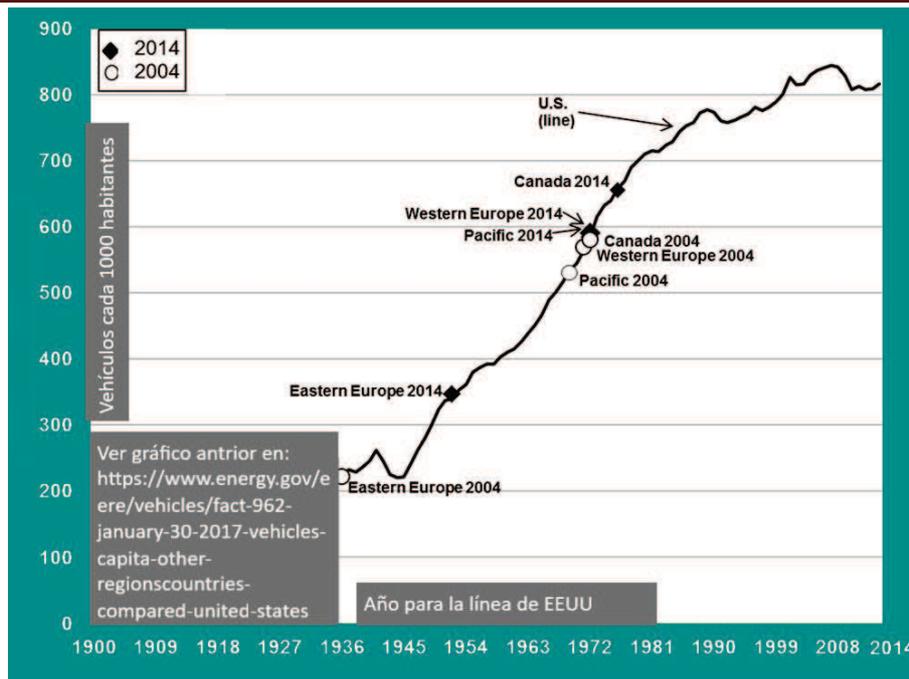


Gráfico 25 Evolución del número de vehículos livianos per cápita en EE. UU. y otros países del mundo.
Fuente: Energía de los EE. UU.⁶. Elaboración propia.

En Argentina la evolución es creciente, aunque no tan marcada como lo observado en el gráfico anterior, sobre todo en comparación con los EE. UU.

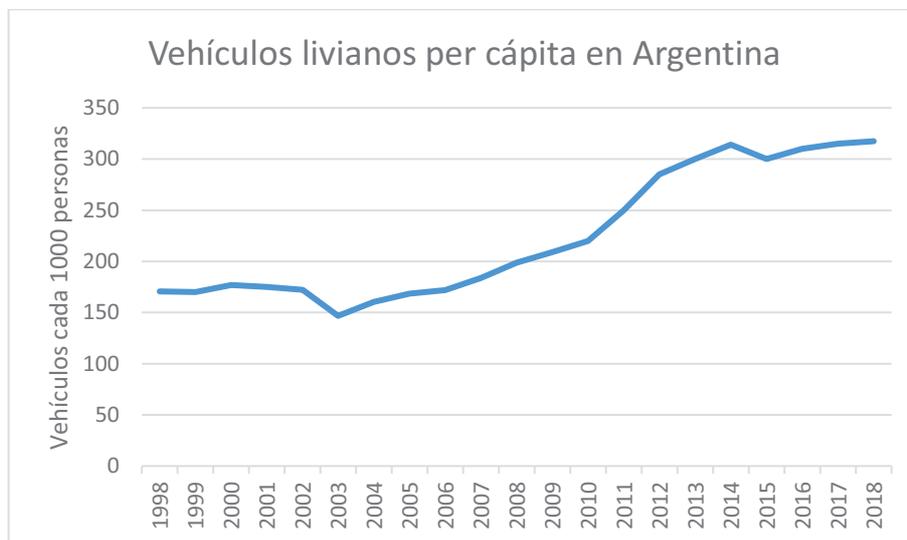


Gráfico 26 Evolución del número de vehículos livianos per cápita en Argentina.
Fuente: ADEFA e INDEC⁷. Elaboración propia. (Algunos datos fueron estimados.)

En países como Estados Unidos, la industria automotriz tiene una participación de 3% en el Producto Bruto Interno (PBI) y sumaba casi dos millones de empleados en 2011. Estas son cifras que han ido en aumento y que no han hecho más que reafirmarla como una de las más grandes de ese país (Osinergim).

En Argentina, la producción de vehículos automotores ha venido creciendo sostenidamente en el período de años 2002-2013. La fabricación de vehículos automotores representa el 1,6% del Valor

Bruto de Producción medido a precios básicos, y el 0,5% del Valor Agregado Bruto de toda la economía. Si a esto le adicionamos actividades que están claramente vinculadas a este sector, tales como fabricación de carrocerías y remolques, junto con autopartes elevan su participación al 2,7% y 1,5% respectivamente. En conjunto representan más 8% del valor de producción industrial [8].

La industria automotriz es un sector dinámico, con una apuesta permanente y creciente año a año en investigación y desarrollo, alcanzando 70 mil millones de Euros en el período 2018/2019 [9], como puede apreciarse en el siguiente gráfico.

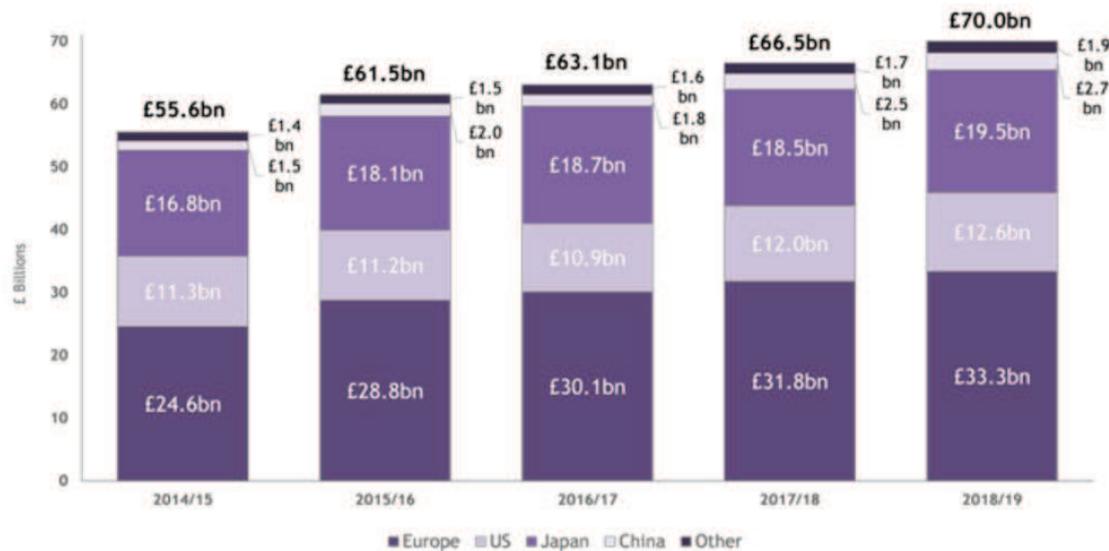


Gráfico 27 Inversión Mundial en I+D en el sector automotriz.
Fuente y elaboración: BDO.

Sólo en Europa, la inversión anual de la Unión Europea en I + D por parte del sector automotriz y la cadena de suministro de autopartes ha aumentado un 7,4% hasta alcanzar un máximo histórico de 53.800 millones de euros en 2018 [10].

Por ejemplo, el Grupo Volkswagen está invirtiendo fuertemente en la movilidad del futuro: un tercio de sus inversiones planificadas para desarrollo se destinarán a la movilidad eléctrica, la digitalización y los nuevos servicios de movilidad, por un total de alrededor de 44 mil millones de euros. De este total, el Grupo gastará 30 mil millones de euros exclusivamente en movilidad eléctrica. Las fusiones de empresas que VW ha conformado en China invertirán otros 15 mil millones de euros en los próximos años [11].

Transición Tecnológica hacia la EM

La introducción de los VE representa la disrupción tecnológica de la electrificación que, de ser exitosa, desembocará en un cambio en el régimen sociotécnico dominante, es decir en una transición tecnológica. La transición tecnológica es el paso de un régimen sociotécnico a otro y requiere cambios convergentes en tres niveles:

- i. Nivel micro

Las innovaciones se desarrollan en nichos, los cuales se benefician de aprendizajes técnicos.

ii. Nivel meso

Los cambios en el nivel meso son más lentos y pueden generar resistencia o “bloqueo”, porque los actores que forman parte del régimen existente obtienen beneficios por mantenerlo.

iii. Nivel macro

Los cambios se realizan de manera aún más lenta. Es el conjunto de todos los elementos de tipo social, cultural, económico y ambiental de nuestra sociedad.

A modo de introducción del término *smart mobility* (o movilidad inteligente), se lo puede definir como “la utilización de una combinación de sistemas, tecnología y datos a lo largo de la red de transporte, a fin de dar información para la toma de decisiones y permitir cambios en el comportamiento (Papa y Lauwers, 2015).

La EM inteligente además de la electrificación del transporte, debe incorporar algunos cambios al statu quo. Estos incluyen la aparición de la economía colaborativa, preferencia por el acceso a la movilidad inteligente en vez de la propiedad de vehículos y la preocupación por la contaminación del aire y los GEI, entre otros aspectos.

Se considera que son tres las disrupciones tecnológicas que deberían suceder para favorecer el desarrollo actual de la movilidad eléctrica inteligente: la electrificación, la automatización y la conectividad. (Rieck F. G et al., 2017)

En cuanto a la electrificación, hoy cada vez son más las ciudades que renuevan sus flotas de buses, taxis y automóviles particulares hacia VE. Eso debería empezar a masificarse para que se genere la tendencia hacia la Electromovilidad.

Muy posiblemente como segunda disrupción tecnológica uno de los pasos sea la automatización de la conducción. Hoy en día esto es una tecnología que está en desarrollo y algo discutida, debido a la resistencia a la aceptación del reemplazo de toma de decisiones por parte del conductor humano.

La tercera disrupción tecnológica es la conectividad al internet de las cosas (IoT, del inglés Internet of Things), con lo cual se logra, mediante la gestión de la información disponible, mayor eficiencia en la implementación de la EM.

Notas Anexo 2

¹ Información obtenida en su mayoría de OSINERGIM (Ver Bibliografía)

² Aseveración obtenida de IBIS: Biggest Industries by Revenue Global in 2020:

<https://www.ibisworld.com/global/industry-trends/biggest-industries-by-revenue/>

³ Aseveración obtenida de ACEA: <https://www.acea.be/automobile-industry/passenger-cars>

⁴ Geography of Transport Systems: https://transportgeography.org/?page_id=1343

⁵ Datos obtenidos de ADEFA (algunos fueron estimados):

<http://www.adefa.org.ar/upload/anuarios/anuario2018/4.pdf>

⁶ Datos obtenidos de Energía de los EEUU: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/fact-962-january-30-2017-vehicles-capita-other-regionscountries-compared-united-states>

⁷ Datos de Población obtenidos de INDEC:

https://sitioanterior.indec.gob.ar/nivel2_default.asp?id_tema=2&seccion=P

⁸ Impacto de la industria automotriz en la economía de Argentina - UNSAM:

http://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia_regional/Industria%20automotriz.pdf

⁹ Datos y gráficos obtenidos de BDO:

<https://www.bdo.co.uk/en-gb/news/2019/top-20-carmakers-r-d-spend-tops-70bn-in-a-year>

¹⁰ Datos obtenidos de ACEA : <https://www.acea.be/press-releases/article/54-billion-spent-on-rd-by-eu-auto-sector-per-year-latest-data-show>

¹¹ Dato obtenido de Volkswagen: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/09/battery-cell-assembly--pilot-line-started.html#>

Anexo 3 - Vehículos de Motor de Combustión Interna vs Vehículos Eléctricos [1]

El primer automóvil eléctrico se creó en la década de 1830. Sin embargo, debido a diversas razones, su lanzamiento fue postergado por décadas a beneficio de los automóviles de combustión interna. Con el pasar de los años, la preocupación por el desarrollo sostenible provocó que los países empiecen a considerar las opciones eléctricas como una alternativa.

Para comprender sus beneficio y posibles limitaciones, deben exponerse las características de la tecnología detrás de los VMCI y VE, además de los tipos de infraestructura de recarga para vehículos eléctricos.

Vehículos de motor de combustión interna (VMCI)

Pueden ser convencionales u operar con combustibles alternativos. Dentro del grupo de los convencionales están aquellos que operan con gasolina o diésel, mientras que en el de los que operan con combustibles alternativos encontramos a aquellos que se alimentan GLP, gas natural (sea gas natural comprimido, GNC, o gas natural licuado, GNL), biocombustible (bioetanol, biodiesel y biogás) o hidrógeno.

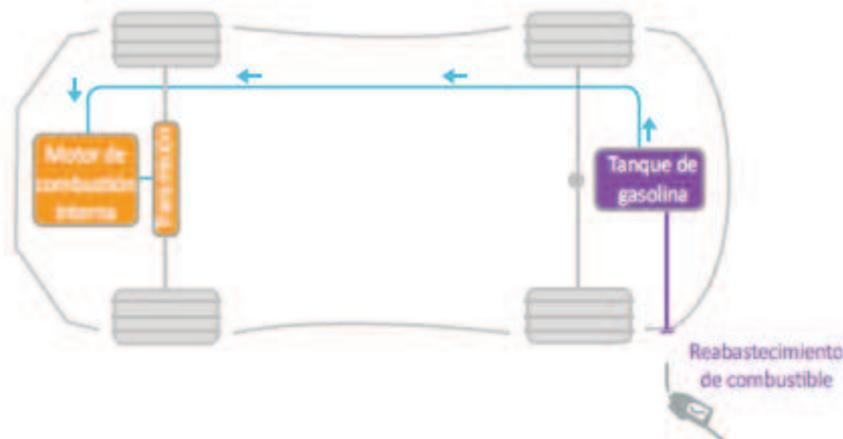


Ilustración 10 Esquema de un VMCI.
Fuente DelftX (2019a). Elaboración: Osinergim.

Los motores de combustión interna utilizan un proceso químico que, tras la combinación de combustible y aire, libera energía. En este mecanismo, la ignición (o encendido) y combustión se producen dentro del motor. Asimismo, cuentan con cilindros fijos y pistones móviles. Al producirse la combustión por efecto del calor, se generan gases que empujan los pistones dentro de los cilindros. Este movimiento repetitivo logra hacer girar una pieza llamada cigüeñal, que permite convertir el movimiento rectilíneo generado por los pistones en uno circular mediante el mecanismo biela-manivela (ver ilustraciones 2-1 y 2-2). Así, mediante un sistema de engranajes, termina impulsando las ruedas del vehículo.

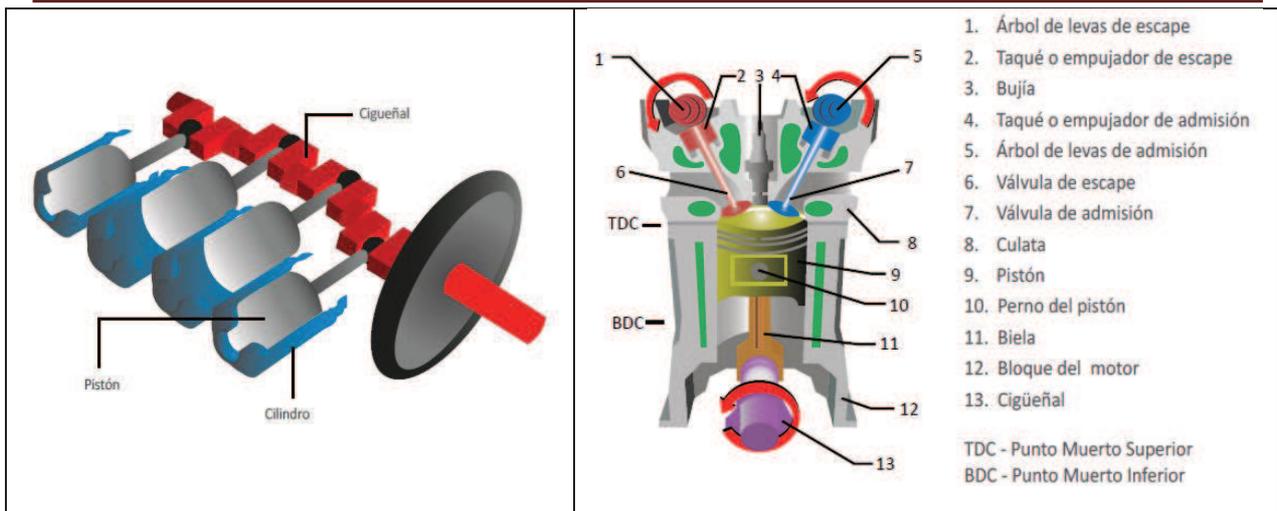


Ilustración 11 Partes de un motor de combustión interna.

Izq.: conjunto de pistones, cilindros y cigüeñal. Der: Corte conjunto cilindro, pistón, válvulas, cigüeñal.

Fuente <https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/ice-components-systems/how-an-internal-combustion-engine-works/>. Elaboración Propia.

Los que operan con gasolina utilizan un motor de encendido por chispa que, durante el proceso de admisión, absorbe una mezcla de aire y combustible. Como consecuencia de la combustión, los gases se expanden empujando el pistón.

Los vehículos que operan con diésel funcionan con un motor de encendido por compresión, que en la etapa de admisión solo introduce aire que se comprime luego. Después, el combustible es rociado en aire comprimido caliente, lo cual provoca el encendido. Mediante un sistema de transmisión se logra que el combustible (gasolina o diésel) se transforme en la energía que permite el movimiento de las ruedas del vehículo.

Vehículos Eléctricos (VE)

Por otra parte, los vehículos eléctricos se caracterizan por tener un grupo de motopropulsión eléctrico, es decir, que funcionan utilizando la electricidad como ‘combustible’ o fuente de energía. Esta representa la principal diferencia con los que operan con motor de combustión interna

Componentes de los Vehículos Eléctricos

Todo vehículo eléctrico cuenta con las siguientes partes:

i) Puerto de carga

En el que se introduce un conector unido a un cable, lo que permite recibir electricidad desde una fuente externa para su recarga.

ii) Batería de tracción

También llamada banco de baterías o baterías de alto voltaje. Permite el almacenamiento de energía en el vehículo eléctrico. Esta es una de las partes más importantes de los vehículos

eléctricos. Su propósito es almacenar energía para permitir el funcionamiento y la propulsión del vehículo. Tiene un sistema que regula voltaje, corriente, temperatura y estado de carga.

iii) Cargador a bordo

Es un conversor electrónico de potencia CA-CC que toma la electricidad de corriente alterna que ingresa vía el puerto de carga y la convierte en energía CC para recargar la batería de tracción.

iv) Conversor electrónico de potencia

En un VE, la energía fluye del banco de baterías al motor y a los accesorios del vehículo. La potencia entre estas partes, la regula un conversor electrónico de potencia.

v) Transmisión

Es el componente encargado de transferir la energía mecánica del motor de tracción a fin de accionar las ruedas.

vi) Conversor de la batería

En el caso del funcionamiento del motor, un conversor de CC a CC aumenta el voltaje de CC de la batería de tracción a uno de CC más alto.

vii) Inversor (motor drive).

Es el componente que controla la velocidad, torque y dirección rotativa del motor de tracción. Controla el flujo de energía de la batería. Es bidireccional, pues puede dar energía para la propulsión, pero también quitársela para el frenado regenerativo o de recuperación.

viii) Motor eléctrico de tracción

Permite la propulsión al convertir la energía eléctrica que proviene de la batería de tracción en energía mecánica para poner en marcha las ruedas. A diferencia de los VMCI que utilizan distintos engranajes, los eléctricos usan un solo engranaje con diferencial, es decir, los VE son “automáticos” por defecto.

ix) Controlador electrónico de potencia

Es el dispositivo que controla de manera directa el flujo de energía eléctrica en los diferentes conversores electrónicos de potencia y, por tanto, de manera indirecta, el funcionamiento de la batería, los motores y el vehículo. Se basa en la interacción entre el acelerador y el pedal de freno utilizado por el conductor para seleccionar el modo de operación (conducción o frenado regenerativo). Del mismo modo, controla el cargador a bordo y la carga de la batería, incluyendo su sistema de administración y gestión (BMS, del inglés, Battery Management System).

x) Batería auxiliar

Su función es proporcionar electricidad para arrancar antes de que se active la batería de tracción (o banco de baterías) y alimentar los accesorios del vehículo.

En las siguientes imágenes de una modelación, se pueden apreciar la mayoría de los componentes mencionados. Los que no señalan son componentes encapsulados difíciles de identificar.

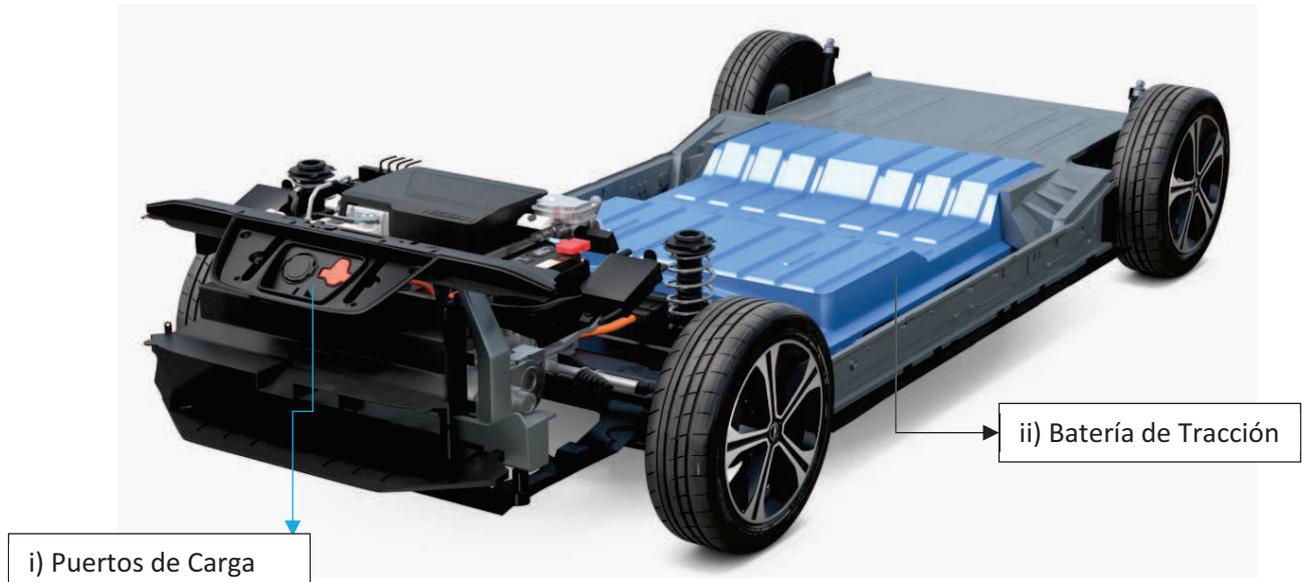


Ilustración 12 Vista general conjunto de Nissan Leaf. Puertos de Carga y Batería de Tracción.
Fuente: Turbosquid¹, elaboración propia.

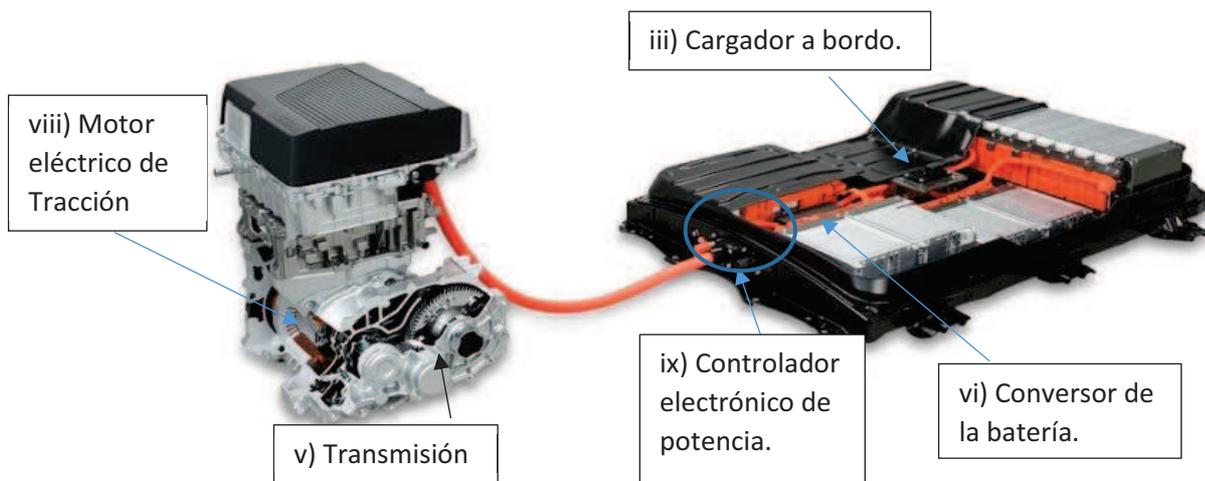


Ilustración 13 Detalle Conjunto Motor - Baterías de tracción Nissan Leaf.
Fuente: Turbosquid, elaboración propia.

¹ Imágenes disponibles en Turbosquid: <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/nissan-leaf-engine-chassis-model-1426290>

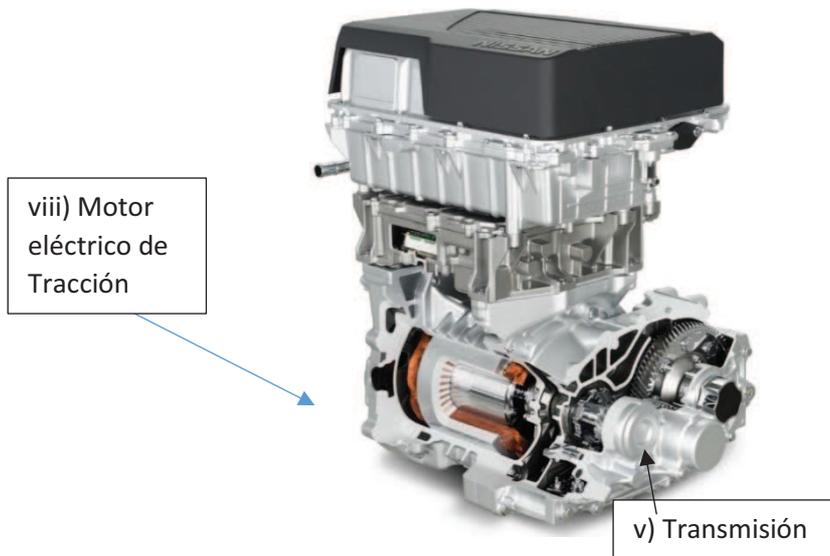


Ilustración 14 Detalle del motor eléctrico y transmisión Nissan Leaf.
Fuente: Turbosquid. Elaboración propia.

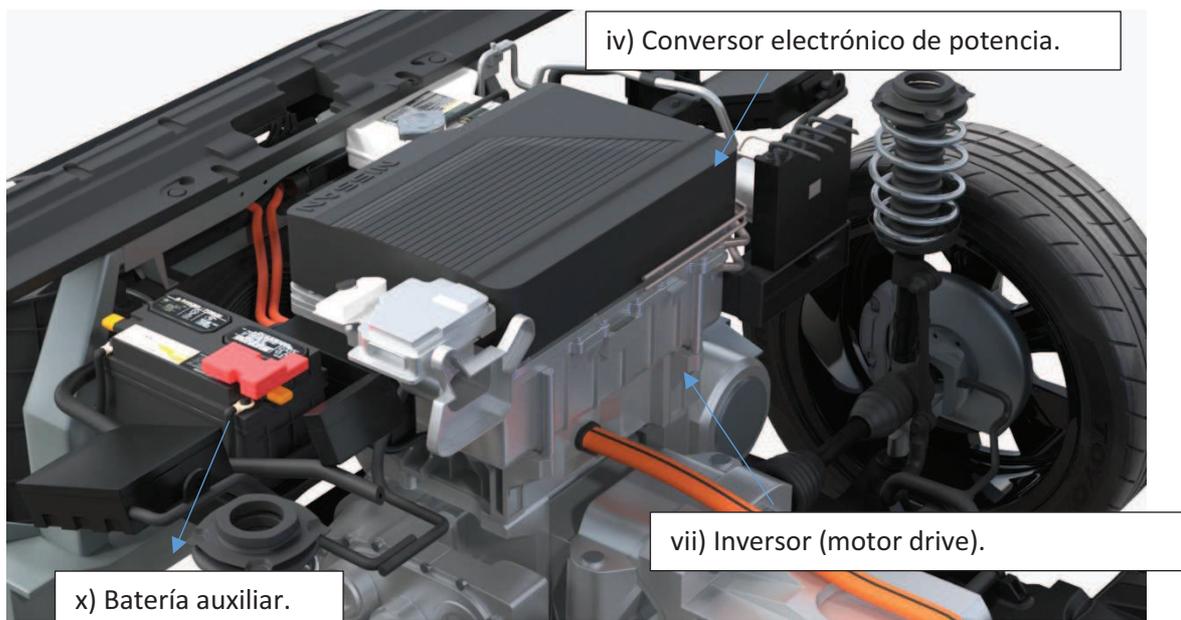


Ilustración 15 Detalle de conversor electrónico de potencia, Inversor (motor drive) y batería auxiliar.
Fuente: Turbosquid, elaboración propia.

Tipos de VE

Los vehículos eléctricos se caracterizan por tener un grupo de motopropulsión eléctrico. Pueden dividirse de acuerdo con su fuente de energía, sus dispositivos de propulsión y el grado de hibridación que presentan.

Vehículos eléctricos con cierto grado de hibridación

Aquí se encuentran tanto los vehículos eléctricos híbridos (VEH) como los vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE).

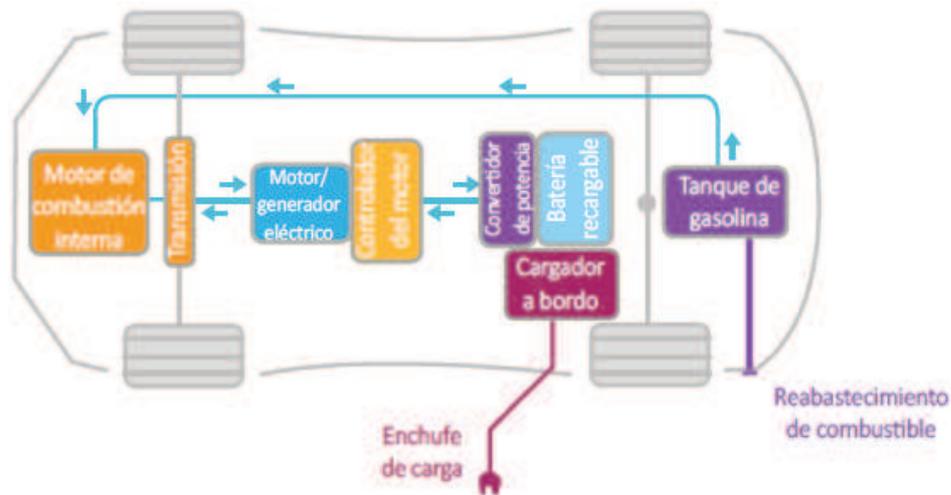


Ilustración 16 Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido enchufable.
Fuente DelftX (2019a). Elaboración :Osinergim.

Los VEH utilizan combustible como fuente de energía para el funcionamiento de un motor de combustión interna, como los vehículos convencionales. También poseen un motor eléctrico que actúa como generador: obtiene energía del motor y logra almacenarla en una batería, para usar posteriormente dicha energía en la propulsión del vehículo. Es llamado vehículo “en paralelo”, pues tanto el motor de combustión interna como el eléctrico pueden impulsar las ruedas a la vez.

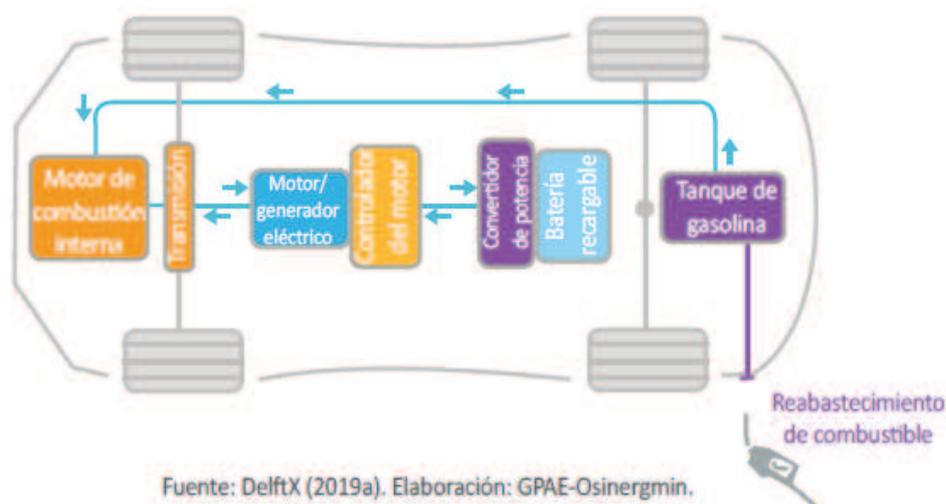


Ilustración 17 Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido en paralelo.
Fuente DelftX (2019a). Elaboración: Osinergim.

También existen vehículos eléctricos híbridos “en serie”, en los cuales el motor de combustión interna no está asociado a la transmisión del auto, sino a un generador que provee de energía eléctrica para el motor de tracción y para su almacenamiento en la batería del vehículo. El motor de tracción es el único conectado a la transmisión.

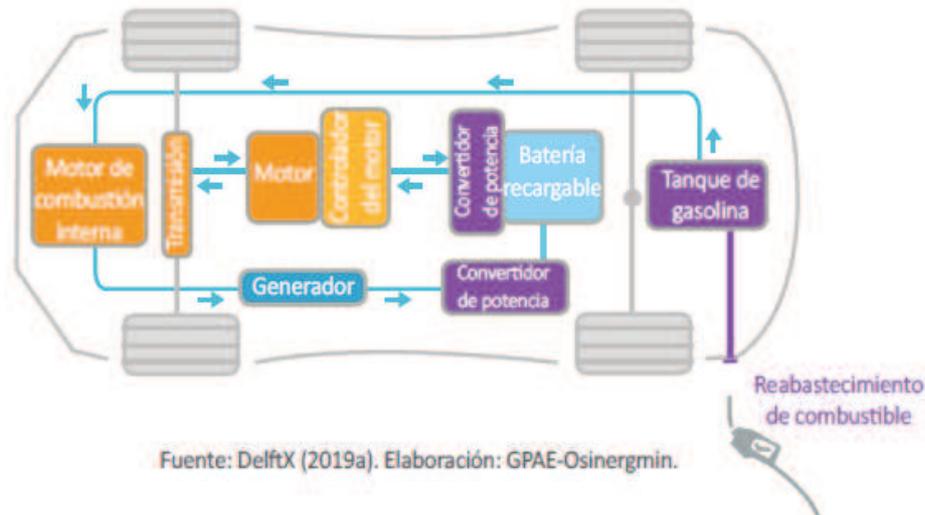


Ilustración 18 Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido en serie.
Fuente DelftX (2019a). Elaboración: Osinergim.

Un tercer tipo de vehículo eléctrico híbrido es el dual, que opera ‘en paralelo’ y ‘en serie’ usando un separador de potencia. Cuenta con un generador que permite cargar la batería, pero también con uno que impulsa las ruedas. La transmisión se encuentra conectada tanto al motor de combustión interna mediante el separador de potencia, como al eléctrico.

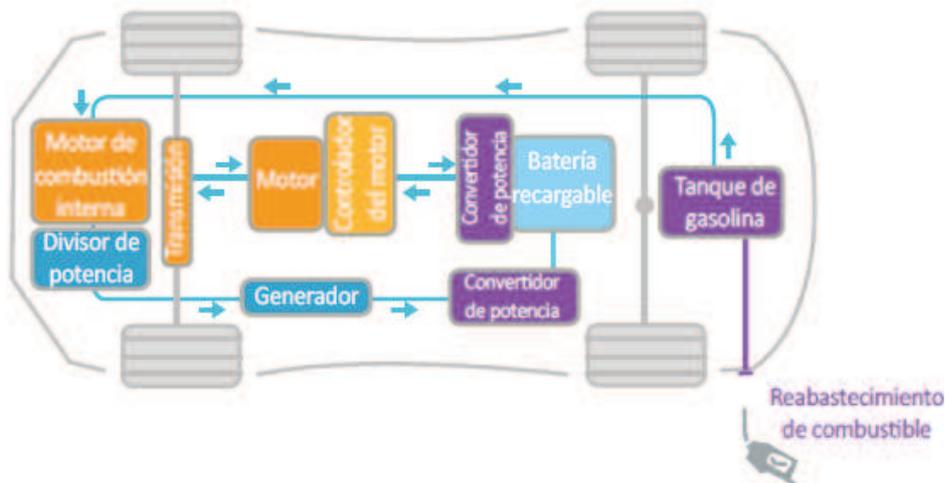


Ilustración 19 Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico híbrido dual.
Fuente DelftX (2019a). Elaboración: Osinergim.

Vehículos eléctricos no híbridos

Para todos los casos utilizan un motor eléctrico para su propulsión, aunque con distintas fuentes de energía para su carga. En primer lugar, encontramos a los vehículos eléctricos de batería (VEB) que se conectan a una fuente de energía eléctrica externa. El vehículo requiere que el banco de baterías esté cargado para poder poner en marcha el motor eléctrico que pone en funcionamiento las ruedas.

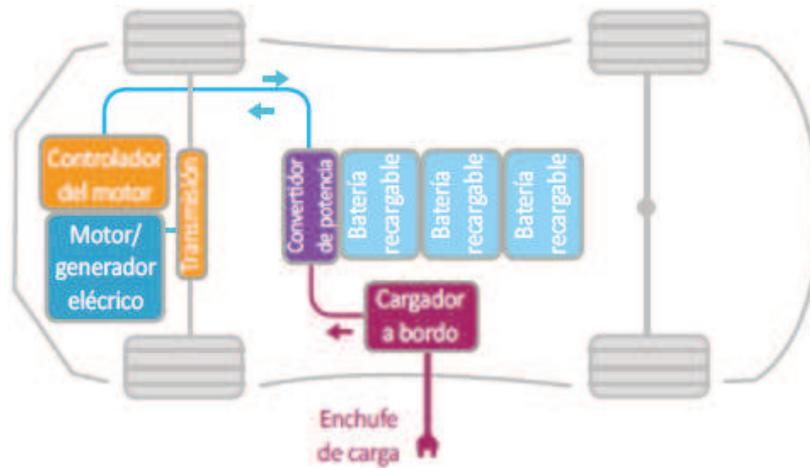


Ilustración 20 Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico de batería (VEB).
Fuente DelftX (2019a). Elaboración: Osinergim.

Aun no tan difundidos, los vehículos eléctricos con pila de combustible (VEPC), usan el hidrógeno como fuente de energía. No tienen un banco de baterías grande como en el caso de los VEB, sino una pila de celdas de combustible que permite generar electricidad a partir del hidrógeno. Sí requiere de una batería pequeña para alimentar el motor eléctrico.

Se diferencian significativamente de los VEB en que la celda de combustible no tiene propósito de almacenamiento, sino de generación de corriente a partir de una reacción química.

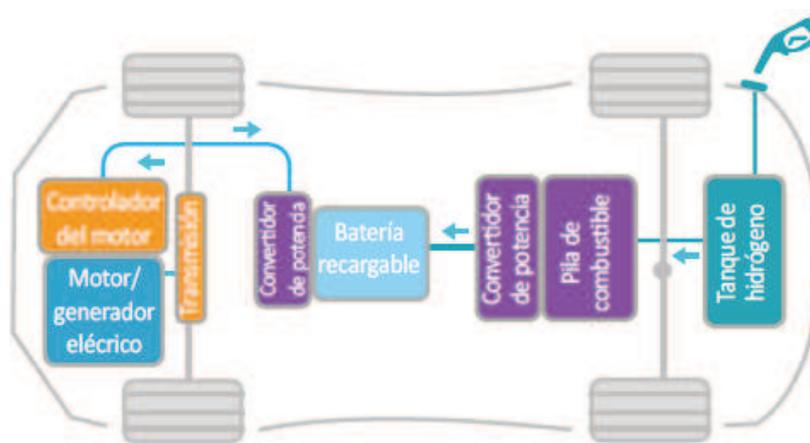


Ilustración 21 Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico con pila de combustible (VEPC).
Fuente DelftX (2019a). Elaboración: Osinergim.

Finalmente, ya existen algunos vehículos eléctricos solares, que tienen como fuente directa a los paneles solares incorporados a ellos. Actualmente existen VEB que incluyen paneles solares en su carrocería o pinturas fotosensibles como complemento para la recarga de las baterías.

Notas Anexo 3

¹ Información referenciada en la gran mayoría a OSINERGIM (ver Bibliografía)

Anexo 4 - Simulación de Sistema Solar Fotovoltaico

A continuación, se muestra el informe generado por el Software PVSyst V6.70., en el cual se simuló un SSFV de 3,5kWp, instalado en una empresa genérica en Buenos Aires, contando con apropiadas superficie y orientación y sin sombreados para la instalación del sistema.

PVSYSY V6.70		20/09/20	Página 1/3
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación			
Proyecto : Techo Solar On Grid Estacionamiento Empresa			
Lugar geográfico	Buenos Aires	País Argentina	
Ubicación	Latitud -34.58° S	Longitud -58.48° W	
Hora definido como	Hora Legal Huso hor. UT-3	Altitud 21 m	
Datos climatológicos:	Buenos Aires	MeteoNorm 7.1 station - Síntesis	
Variante de simulación : Nueva variante de simulación			
	Fecha de simulación	20/09/20 20h51	
Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	Sheds on a building	
Orientación Plano Receptor	Inclinación 30°	Acimut 0°	
Modelos empleados	Transposición Perez	Difuso Perez, Meteonom	
Perfil obstáculos	Sin perfil de obstáculos		
Sombras cercanas	Sin sombreado		
Características generador FV			
Módulo FV	Si-mono	Modelo	STP270S-20/Wew
Original PVSyst database	Fabricante	Suntech	
Número de módulos FV	En serie	7 módulos	En paralelo 2 cadenas
N° total de módulos FV	N° módulos	14	Pnom unitaria 270 Wp
Potencia global generador	Nominal (STC)	3780 Wp	En cond. funciona. 3384 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	V mpp	193 V	I mpp 18 A
Superficie total	Superficie módulos	22.8 m²	Superf. célula 20.4 m²
Inversor			
	Modelo	Growatt 3600MTL-10	
Original PVSyst database	Fabricante	Growatt New Energy	
Características	Tensión Funciona.	120-600 V	Pnom unitaria 3.60 kWac
Banco de inversores	N° de inversores	2 * MPPT 50 %	Potencia total 3.6 kWac
			Relación Pnom 1.05
Factores de pérdida Generador FV			
Pérdidas por polvo y suciedad del generador		Fracción de Pérdidas	1.0 %
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const) 15.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador 125 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.0 % en STC
LID - "Light Induced Degradation"		Fracción de Pérdidas	2.0 %
Pérdida Calidad Módulo		Fracción de Pérdidas	-0.8 %
Pérdidas Mismatch Módulos		Fracción de Pérdidas	1.0 % en MPP
Strings Mismatch loss		Fracción de Pérdidas	0.10 %
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05
Indisponibilidad del sistema	7.3 días, 3 períodos	Fracción de tiempo	2.0 %
Necesidades de los usuarios :	Carga ilimitada (red)		

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

*Tabla 31 Hoja 1 de 3 de Informe de Simulación de SSFV con PVSyst. Parámetros de Simulación
Elaboración Propia.*

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

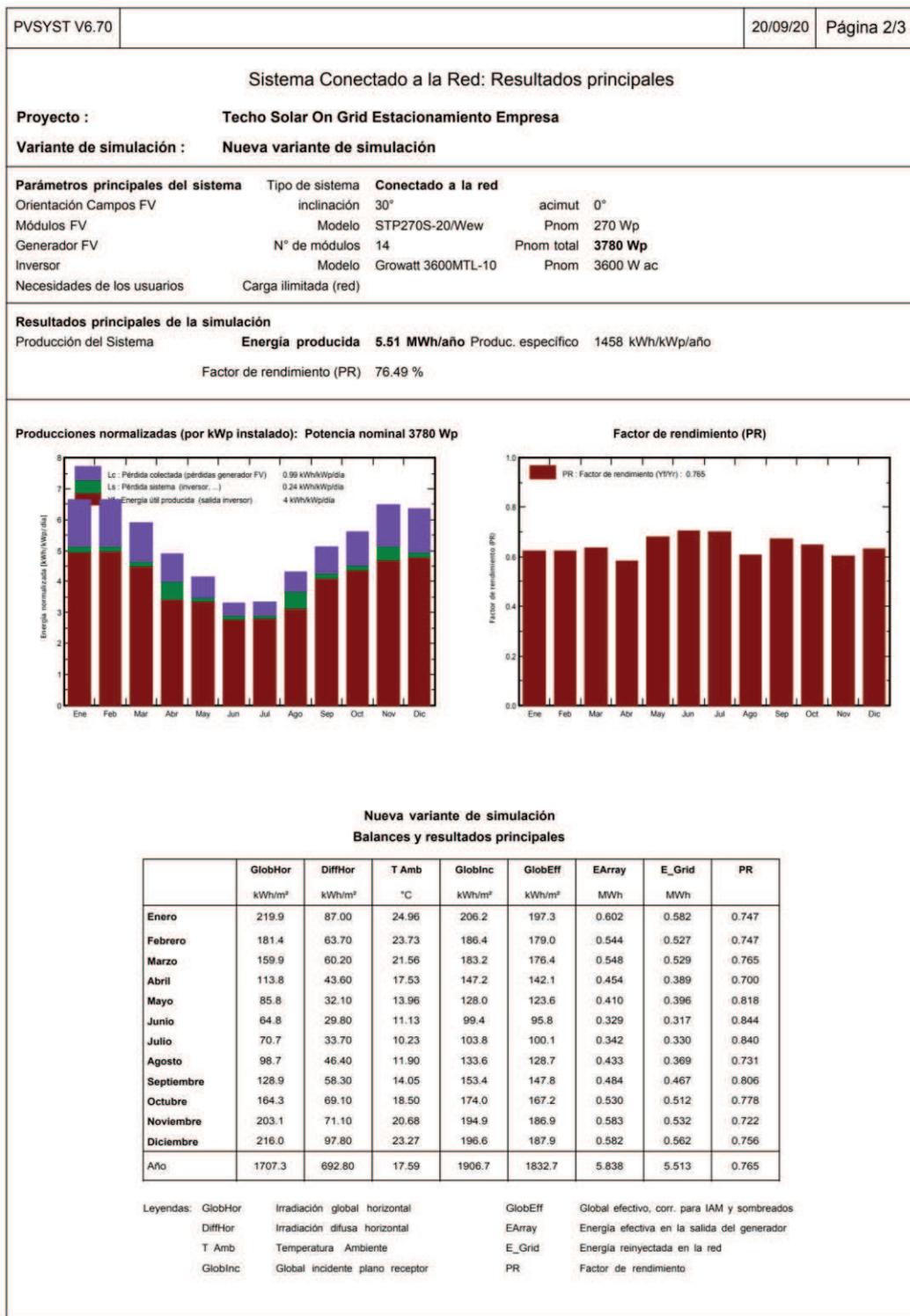


Tabla 32 Hoja 2 de 3 de Informe de Simulación de SSFV con PVSystem. Resultados Principales
Elaboración Propia.

Proyecto Final Integrador
Análisis de Variantes de Carga y Uso de Vehículos Eléctricos

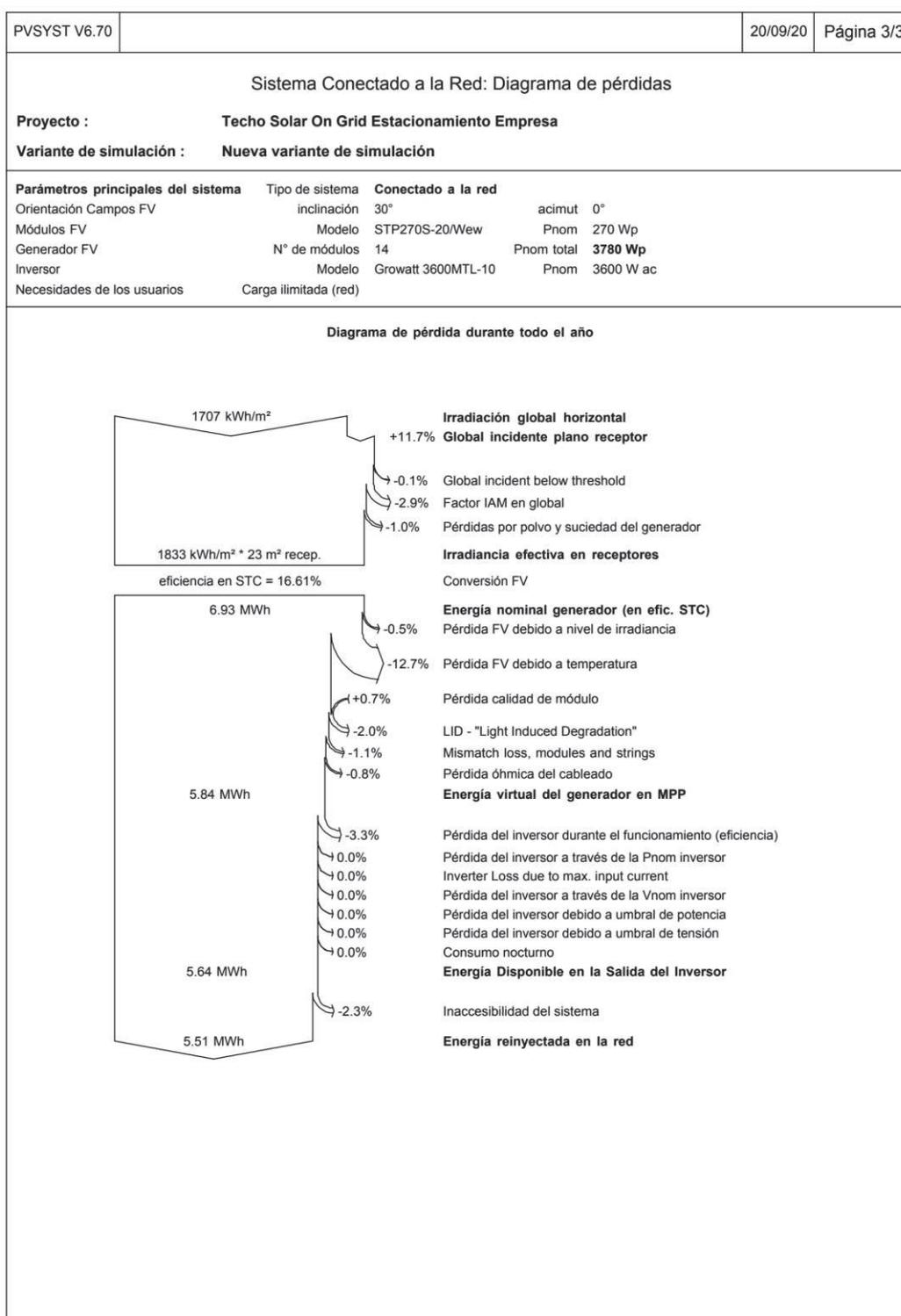


Tabla 33 Hoja 3 de 3 de Informe de Simulación de SSFV con PVSyst. Diagrama de pérdidas.
Elaboración Propia.

Para poder incluir los resultados de la simulación representativamente en los cálculos económicos, se consideraron, por sugerencia de profesionales del sector, costos de 1000 USD/kWp instalado y USD200 por mantenimiento anual del SSFV. A su vez, se aproximó el valor de generación específica a 1600 kWh/kWp/año ya que suele considerarse ese como típico para Buenos Aires, en CABA y cercanías.

Anexo 5 - Aportes de la incorporación de VE a la flexibilidad global del sistema eléctrico

Durante el último siglo y hasta la actualidad, la matriz de generación eléctrica global muestra una fuerte dependencia en los hidrocarburos (entre el 60 y casi el 75% entre 1971 y 2015 [1]). En la Argentina, la participación fósil en la generación eléctrica históricamente siempre fue mayor al 60% [2]. Históricamente, los precios nacionales e internacionales de los hidrocarburos están sujetos a una alta volatilidad, trasladando en consecuencia incertidumbre a los costos de generación eléctrica. Esto lleva necesariamente a ineficiencias que impactan en forma directa en los precios del MWh, impactando en el desarrollo económico. Por el contrario, las energías renovables vienen reduciendo consistentemente su estructura de costos, teniendo actualmente la energía solar fotovoltaica y eólica costos de generación competitivos frente a los de la generación eléctrica fósil, además de continuar una clara tendencia a la baja, y no poseer la componente de variabilidad más allá de la natural del recurso (la cual es predecible), lo cual reduce sus riesgos económicos.

La generación renovable distribuida, especialmente mediante energía solar fotovoltaica, modificará los flujos eléctricos, aportará robustez y eficiencia a las redes de distribución. Se estima que, gracias a la tecnología y las normativas presentes a nivel global y en nuestro país, un número creciente de usuarios se irá convirtiendo en productores de electricidad. El vehículo eléctrico aparece, en este contexto, como un elemento central para contrarrestar el aspecto negativo de la intermitencia del recurso solar, mediante la capacidad de almacenamiento de energía.

Además de dichos ahorros potenciales, los vehículos eléctricos tienen el potencial de ofrecer beneficios a la red eléctrica. Aunque el desarrollo en este aspecto es incipiente, se espera un dinamismo cercano por su capacidad para solucionar problemática asociadas a la expansión de los Recursos de Energía Renovable (RER), tales como la intermitencia en la disponibilidad del recurso y la necesidad de almacenamiento de energía. Es decir, los vehículos eléctricos contribuirían a darle flexibilidad al sistema eléctrico debido a que tienen la capacidad de retroalimentar a la red con la energía no empleada, lo cual complementa la producción irregular de electricidad de los RER. Es importante

Con el fin de optimizar la generación de energía a partir de los RER, especialmente considerando la intermitencia asociada con su producción, es importante combinar la inclusión de sistemas de almacenamientos flexibles, que permitan especialmente establecer un balance eficiente entre la producción de energía, el almacenamiento y el consumo. Los VE representan una solución a la variabilidad de las fuentes de energía renovables, pero también podrían poner en peligro la estabilidad de la red si todos los conductores se conectan en horas de máxima demanda, ya que se podría presentar una congestión importante en la red de distribución (Ver ilustración 1).

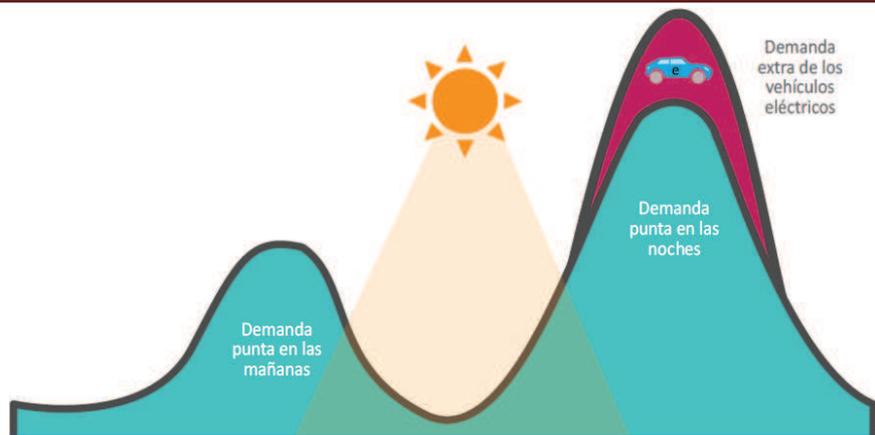


Ilustración 22 Curva de carga con demanda extra de VE.
Fuente: DelftX (2019a). Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Redes Inteligentes

En las Redes Inteligentes (RI, en inglés Smart Grids), en las cuales el flujo de energía ocurre en ambas direcciones, mejorando así la capacidad de control y promoviendo la participación directa del consumidor en la gestión de la energía, la integración de los VE juega un rol fundamental, siendo estos prácticamente “centrales de generación portátiles”.

Por lo antes mencionado, es importante que la adopción de VE se piense como un sistema de almacenamiento de energía durante las horas de baja demanda, y más aún, de producción de generación mediante RER, para dar estabilidad a la red en las horas de demanda pico. Al estar estacionados la mayor parte de las horas valle de demanda, sus baterías pueden permitir que la electricidad fluya entre estos y la red. De este modo, los VE serían como RER descentralizados móviles, pero con las ventajas respecto de la generación distribuida convencional, que tienen demanda/inyección de electricidad controlable (mediante carga inteligente-automatizada), capacidades para el almacenamiento/inyección de energía descentralizado (baterías con excedentes de acumulación) y potencial como fuente de energía “a domicilio”. Estas modalidades pueden observarse de manera esquemática en la siguiente imagen introductoria de las redes inteligentes.



Ilustración 23 Integración de los VE a las Smart Grids. Fuente: Electronic Engineering Times³.
Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Entonces, en conjunto, los VE pueden configurarse como una flota colectiva de baterías para inyectar en horas pico (enviar energía a la red cuando la demanda es alta), evitando recargar los VE en estos momentos para reducir la carga máxima del sistema, y recargar en horas valle (por la noche cuando la demanda es baja), nivelando la carga. Esto contribuye a darle más flexibilidad al sistema eléctrico, de tal modo que la capacidad de generación de energía se iguale con la máxima demanda. (Ver Gráfico 28 y V2G a continuación)

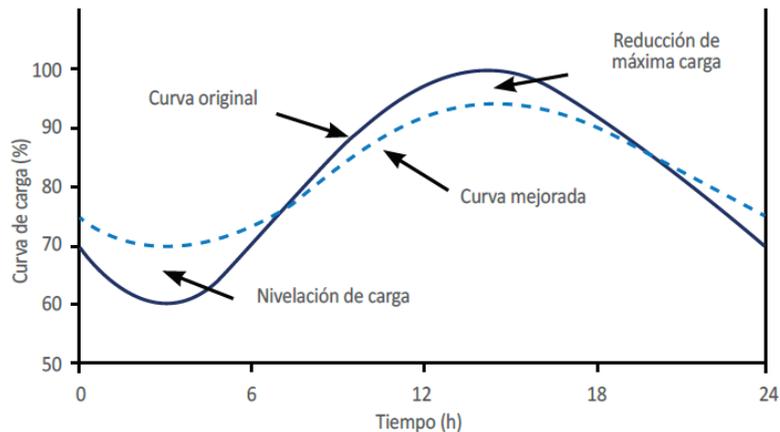


Gráfico 28 Posible Mejoramiento de curva de carga del sistema con inyección de energía de los VE.
Fuente y elaboración: Osinergim

Tipos de implementación, beneficios, retos y desventajas de las Redes Inteligentes

Las RI en conjunto con los VE apuntan, entre otros aspectos, a la optimización de la curva de carga. Lo ideal es controlar que la recarga de las baterías se realice en función de la disponibilidad de la capacidad de red y procurando aprovechar las franjas horarias de menor costo de la energía.

La interacción de los VE con el sistema eléctrico mediante las RI puede ser dividida en cuatro niveles, según sus denominaciones en inglés: Vehicle-to-Grid (V2G), Vehicle-to-Home (V2H), Vehicle-to-Building (V2B) y Vehicle-to-Load (V2L).

V2G:

Esta modalidad consiste en reinyectar parte de la energía almacenada en la batería del vehículo a la red eléctrica. Existe un agregador - agente encargado de coordinar la flexibilidad del sistema - que, basado en la disposición de los conductores de VE y la capacidad de su batería, gestiona la energía de los vehículos eléctricos a fin de lograr una carga y descarga inteligente. Esto se puede ver en la ilustración siguiente, donde se observa que el flujo de la energía - flechas entrantes hacia los VE (recarga) y salientes (inyección) - es gestionado por el agregador, mediante una intra-red hacia los usuarios y una inter-red hacia los proveedores de energía (distribuidoras, operadoras, transmisoras, etc).

Operación del sistema V2G

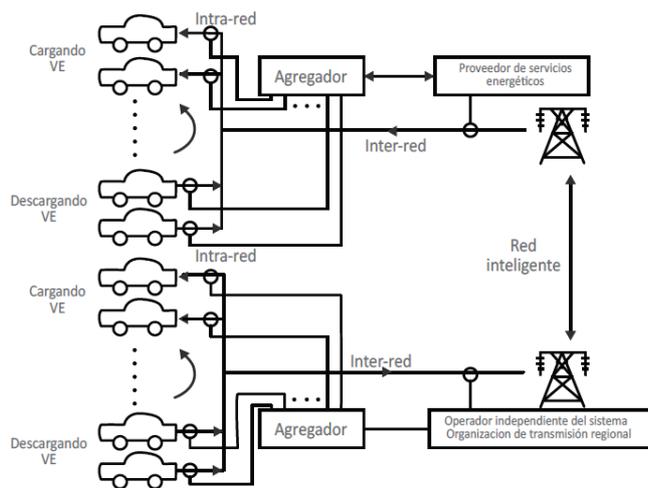


Ilustración 24 Operación de la modalidad V2G.
Fuente: Folkson. Elaboración: GPAE-Osinergmin

V2H y V2B:

La tecnología V2H permite suministrar energía eléctrica al hogar desde el VE. Esto funciona como una fuente de respaldo ante cortes de suministro de la red. Asimismo, para hogares que no estén conectados a la red de distribución, funciona como el banco de baterías de un sistema de generación distribuida convencional.

En esa misma línea, mediante la tecnología V2B, los vehículos eléctricos pueden conectarse con un edificio para vender servicios, como el suministro de electricidad o la regulación de su tasa de carga. De este modo, ofrece flexibilidad a nivel comunitario y gestión inteligente de edificios o condominios de viviendas.

Como se aprecia en la imagen siguiente, el VE se recarga durante el día, (idealmente, mediante fuentes renovables), directamente en los sitios de trabajo, o bien en sitios públicos. Al regresar a los hogares, el usuario del VE lo conectaría su red domiciliaria para abastecerse de energía en la hora pico de demanda, permitiendo así ahorrar electricidad en este horario, en el cual la misma es más costosa. Si el VE se descargara por completo, el mismo puede ser recargado durante la noche (el valle de demanda), o bien, repetir el proceso al día siguiente.

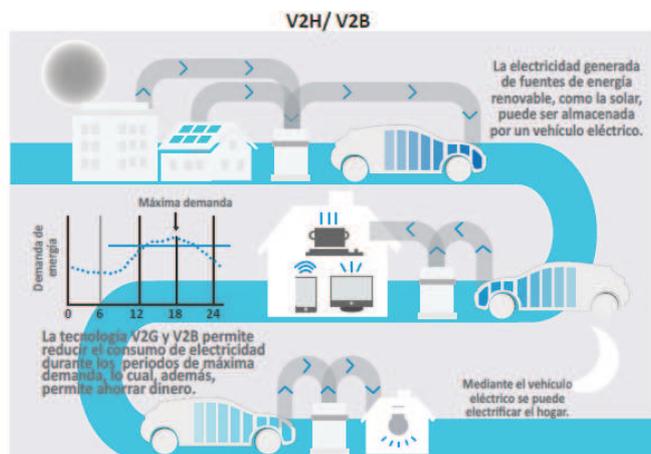


Ilustración 25 Diagrama de implementación de tecnologías V2H y V2B.

Fuente: Nissan. Elaboración: GPAE-Osinergmin

V2L:

Funciona como una fuente de suministro en lugares remotos, donde las necesidades energéticas se dan en periodos cortos de tiempo o en situaciones extremas de catástrofe, ante la indisponibilidad de la red eléctrica. A diferencia de la modalidad V2G, en este caso la carga (podría ser una casa con determinado consumo fijo) está aislada de la red de distribución, siendo destinada la energía que entrega el VE directamente a las cargas que se presentan en dicho punto, y no entregado el excedente a la red.

En términos económicos, la integración de los autos eléctricos a las Smart Grids, mediante cualquiera de las modalidades anteriormente presentadas, permite introducir nuevas oportunidades de generación de ingresos para los propietarios de vehículos, debido a que debería haber una contraprestación por la reinyección de la energía y el mejor aprovechamiento de la infraestructura de generación, transporte y distribución. Esto contribuiría a la reducción de los costos asociados a la adquisición de los autos eléctricos.

Como beneficio técnico adicional a los mencionados, los procesos de carga y descarga de las baterías son mucho más rápidos que los de apagado y puesta en marcha de los generadores convencionales que se acoplan a la red en los horarios de demanda pico de energía.

Como reto, particularmente para la modalidad V2G, es importante contar con una red **totalmente** integrada y definir el marco regulatorio aplicable a fin de que esta modalidad realmente sea tomada en cuenta en la planificación de la cobertura de la demanda de energía. **Se estimó que cuando en Argentina haya una cantidad de autos eléctricos de 1 millón y, dado que cada VE puede almacenar y entregar energía eléctrica entre 10 a 56 kWh, el concepto V2G tendrá un impacto significativo.** En otras partes del mundo ya hay empresas de distribución de energía eléctrica que ofrecen beneficios a sus clientes a cambio de conectar sus VE a la red eléctrica y entregar la energía acumulada en sus baterías [4].

Comparación de almacenamiento en VE vs. Central Hidroeléctrica con embalse

En Argentina, el parque automotor superó en 2019 los 14,3 millones de vehículos [5]. Continuando con la aseveración del párrafo anterior, en el contexto actual, alcanzar rápidamente un millón de VE en el país, aproximadamente el 7% del total, resulta muy difícil debido a factores varios como la situación micro y macroeconómica argentina, el elevado costo de inversión de los VE disponibles en nuestro mercado y la falta de una infraestructura de carga difundida y diversificada (ver anexo 7), entre otros.

Se supone entonces que se alcanza la penetración de VE de 7%, más razonablemente en un período de 10 años, o sea a 2030, a una tasa de penetración anual de 100 mil VE/año (se estima que en EE. UU. se alcanzará ese porcentaje para ese mismo año [6], en función de las penetraciones actuales en los distintos estados de ese país [7] y la tendencia mundial[8]). Si en el año 10, el millón de VE alcanzado, durante el horario de demanda pico de los hogares (de 18 a 21hs), a diario entregan a la red al menos un 50% de la energía que almacenan sus baterías (mediante la modalidad V2G directamente y la modalidad V2H indirectamente), considerando 40kWh como capacidad total media de las baterías de ese parque de VE, el resultado de ese flujo aportante de energía hacia la red es de 20GWh.

Para obtener comparación con sistemas que almacenan energía y la entregan en horario pico de demanda, se escogió el Complejo Hidroeléctrico Salto Grande en Argentina. Según datos

obtenidos de su página oficial, la potencia instalada de diseño es de 1,89GW [9]. Suponiendo que durante el período de demanda pico el complejo está generando a su máxima potencia, se calcula que entregaría al Sistema Interconectado Nacional algo menos que 6GWh, el 30% del valor de energía que se estimó que puede entregar 1 millón de VE.

Por otro lado, para enfocar la comparativa desde el punto de vista del almacenaje total del embalse, se toma el dato del volumen total del mismo de 5500hm^3 ($5,5.109\text{m}^3$) que representa $5,5.1012\text{kg}$ de agua embalsada, y la cota del dique (diferencia de altura) de 35m [10]. Suponiendo que el volumen, y por lo tanto la cota, se mantienen constantes - lo cual es lógico, ya que el flujo normal del río Uruguay así lo permite - se estimó que la energía potencial que almacena el embalse es de $1,8865.1015\text{Nm}$, que equivalen aproximadamente a 524GWh ($1.106\text{Nm}=0,28\text{kWh}$).

Ahora bien, si todo ese volumen de agua pasara por todas las máquinas de generación del complejo, al caudal ideal de diseño de la obra de $8300\text{m}^3/\text{s}$ [11], o sea, generando a la máxima potencia de diseño de 1,89GW, representa 348GWh de energía generada con el volumen total de agua embalsada, en 184 horas de pasaje, o sea, 7,66 días. Si se multiplican los 20GWh/día de los VE por esos 7,66 días, resulta en 153GWh de energía entregada por los VE, casi el 43% de lo que genera el Complejo Hidroeléctrico Salto Grande, con las ventajas que implican tomar e inyectar energía en las redes locales existentes de distribución.

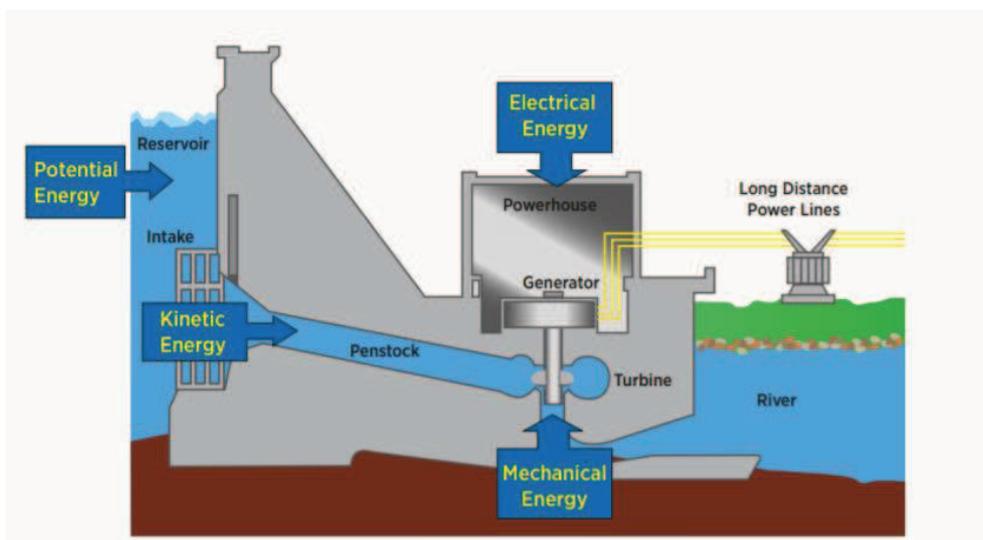


Ilustración 26 Diagrama típico de planta de generación Hídrica de Baja Cota con Acumulación.
Fuente y Elaboración: IRENA.

Por último, a fines de comparar los costos de generación y almacenaje de energía eléctrica, se recurrió a los parámetros LCOE y LCOS (del inglés, *Levelized Cost of Energy* y *of Storage*, respectivamente, significando Costo Nivelado o Total de la Energía o de Almacenamiento, respectivamente). El Complejo Hidroeléctrico Salto Grande es considerado una central de generación hidroeléctrica de gran escala con almacenamiento, y, dentro de esta categoría, es relativamente grande. El LCOE para esta categoría está en el rango de 0,02-0,19 USD/kWh. Los costos anuales de mantenimiento, expresados en % de los costos de inversión, están dentro del rango del 2 al 2,5%, mientras que los costos de inversión propiamente oscilan ampliamente entre 1050 a 7650 USD/kW [12].

Entonces, se comparó, por un lado, el CTP de una Central Hidroeléctrica como Salto Grande, que involucra la inversión e incluye su OyM por 10 años, y, por el lado de los VE, el CTP obtenido como parte de este trabajo, multiplicado por un millón de unidades. En el primer caso, se estimó el CTP del Complejo Hidroeléctrico Salto Grande, multiplicando un valor intermedio de los costos de inversión (del párrafo anterior) de 3300 USD/kW por la potencia de diseño de la central

y sumándole el 2,25% anual por OyM, resultando en USD 7.640.325.000; por el lado de cada VE, el CTP para 10 años, incluyendo un posible cambio de la batería, es de USD71.723 (Ver Gráfico 14 - Caso FullSustentable Gerencial). Multiplicando por 1 millón de VE, resulta en un CTP de USD 71.723.000.000, casi diez veces mayor que el complejo Salto Grande.

A su vez, el LCOS de las baterías de los VE es mayor que el de las centrales hidroeléctricas, según se aprecia en la siguiente imagen.

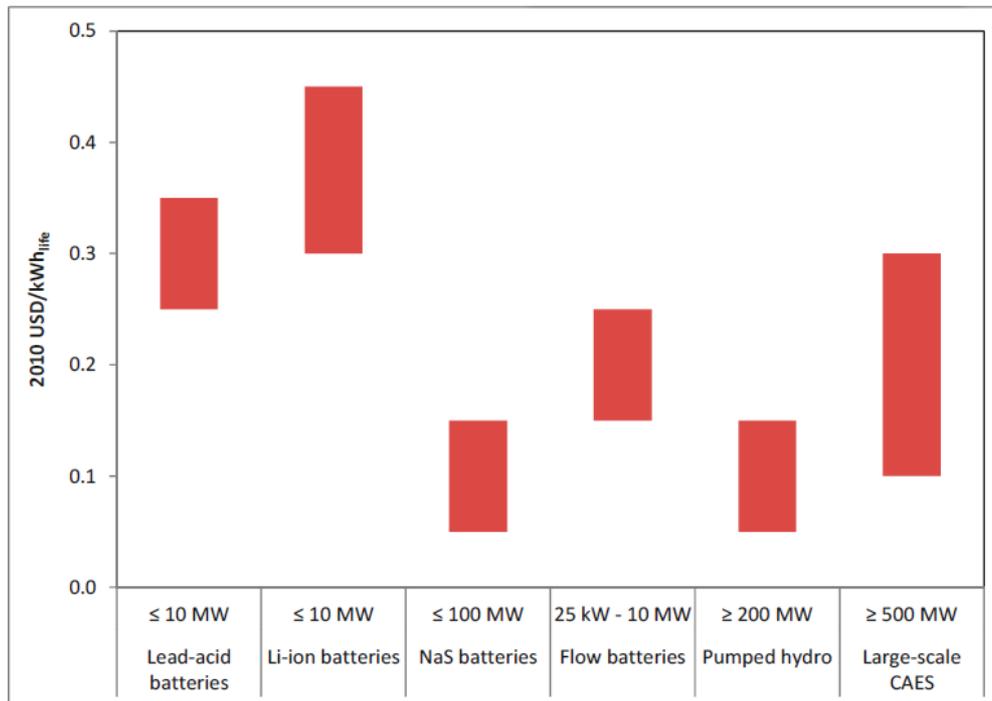


Gráfico 29 Costo Nivelado de algunas Tecnologías de Almacenamiento (LCOS)
Fuente y Elaboración: IRENA 2012

No obstante los aspectos analizados anteriormente, se remarca que las ventajas de la incorporación de la energía almacenada en las baterías de los VE se relacionan con que la inversión es escalonada y efectuada por parte de los usuarios privados; que la inyección y el consumo de energía se dan en el mismo sitio, por medio de redes de distribución locales ya existentes, sin la necesidad de líneas de transmisión en AT para la energía entregada por un central; y que el VE naturalmente ofrece las prestaciones de transporte para las cuales fue concebido, y que esta utilidad secundaria de almacenaje y entrega de energía a la red va en adición.

Además, retomando el análisis del Gráfico 28, el aporte de los VE contribuiría a desplazar el pico de demanda, en una cifra que podría alcanzar un 10%, hacia el horario de demanda valle, cuando posiblemente el millón de VE se recargue nuevamente con energía de la red, sin considerar la situación óptima de recarga diurna mediante un SSFV (Ver Anexo 4).

Un aspecto negativo de esta tecnología es el doble uso que se le da a las baterías, lo cual acorta su vida útil para la operación normal del VE. Para restarle peso a esa desventaja que enfrentan los usuarios de VE que inyectan a una RI, una de las salidas probables que se está empezando a implementar para el mejor aprovechamiento de las baterías que ya no son útiles para los VE, es el uso para almacenamiento masivo de energía asociado a plantas generadoras de cualquier tipo, pero preferentemente las que generan con RER oscilantes.

Por otro lado, la eficiencia de carga de la red a la batería es de 70–80%, mientras que la eficiencia de descarga de la batería a la red es de 80–90%, y la eficiencia global de carga y descarga de la

batería para la operación V2G no mejora del 60-70%. Esto se determinó en un estudio que explica que, si bien la mayoría de los VE modernos usan celdas de Li-ion que pueden alcanzar una eficiencia de global superior al 90% [13], se le atribuye la mayoría de las pérdidas a los otros componentes del sistema de carga que no son la batería. La electrónica de potencia, como los convertidores CA-CC, suele dominar las pérdidas generales. Sin embargo, la eficiencia general depende de varios factores y puede variar ampliamente [14]. Estos aspectos son profundizados en el Anexo 8 (Historia del Arte de las Baterías).

Notas Anexo 5

¹ Dato obtenido de Ourworldindata: Electricity share by fuel source, World, 1971 to 2015:

<https://ourworldindata.org/grapher/world-electricity-by-source>

² Dato obtenido de Estructplan: <https://estructplan.com.ar/evolucion-de-la-matriz-electrica-argentina/>

³ Imagen disponible en: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279457#

⁴ Aseveración obtenida de Newmobility.news: <https://newmobility.news/2020/04/23/equigy-15-000-km-for-free-with-your-ev-as-backup-for-the-grid/>

⁵ Dato obtenido de:

<https://www.telam.com.ar/notas/202006/471357-parque-automotor-crecimiento-2019.html#:~:text=El%20parque%20automotor%20nacional%20super%C3%B3,los%2011%2C7%20a%C3%B1os%20promedio.>

⁶ Aseveración obtenida de Edison Electric Institut:

<https://www.eei.org/resourcesandmedia/newsroom/Pages/Press%20Releases/EEI%20Celebrates%201%20Million%20Electric%20Vehicles%20on%20U-S-%20Roads.aspx>

⁷ Dato verificado en EVADOPTION: <https://evadoption.com/ev-market-share/ev-market-share-state/>

⁸ Dato verificado en IEA: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019#key-findings>

⁹ Dato de Unidades Hidrogeneradoras Complejo Salto Grande obtenido de:

<https://www.saltogrande.org/instalaciones.php#:~:text=El%20Complejo%20Hidroel%C3%A9ctrico%20de%20Salto,de%20dise%C3%B1o%20de%206.700%20GWh.>

¹⁰ Capacidad total de evacuación del embalse Salto Grande obtenido de:

https://www.saltogrande.org/rio_uruguay.php

¹¹ Caudal Ideal Complejo Salto Grande obtenido de:

https://www.saltogrande.org/generacion.php#navcaudal_es

¹² Dato obtenido de IRENA:

https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-hydropower.pdf

¹³ Dato obtenido de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid#Peak_load_leveling

¹⁴ Aseveración hecha en base a ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/314301528_Measurement_of_power_loss_during_electric_vehicle_charging_and_discharging, Tablas 4 a 6.

Anexo 6 - Análisis Económico Financiero de los casos de estudio

Se dedica este anexo a explicar los indicadores económicos financieros empleados en el presente trabajo, que pueden presentar o no beneficios para los usuarios de VE, en comparación con los de los VMCI. Estos indicadores son el Costo Total de Propiedad (CTP) y el Valor Actual Neto (VAN).

El CTP consiste en la contabilización de los futuros flujos salientes (y eventualmente entrantes) por inversión y operación y mantenimiento, para un periodo determinado de análisis, descontados al valor presente a una tasa de descuento. Esta es acorde, por lo general, a la tasa en dólares norteamericanos de financiamiento de los créditos que otorgan las entidades bancarias.

Por su parte, el VAN es usualmente empleado para determinar si un proyecto es viable/rentable o no respecto de otro. Se recomienda aplicarlo en proyectos que son mutuamente excluyentes, debido a que considera la diferencia en la envergadura de las inversiones alternativas, como lo es este caso.

En este trabajo, los flujos fueron siempre egresos, a excepción del caso FullSustentable que tuvo leves recuperos. Por ese motivo los CTP resultan todos negativos. Entonces para aplicar el VAN correctamente, y que sea útil para reforzar las decisiones que toma el individuo al momento de adquirir un auto eléctrico o uno a combustión interna, en este trabajo se aplicó el concepto de VAN a la diferencia entre los flujos de dos casos a comparar.

Por empezar, el precio de adquisición de un VE ha venido siendo una de las preocupaciones más importantes para el despliegue de la Electromovilidad en todo el mundo, debido principalmente al alto costo de fabricación de la batería, lo cual incrementa su precio de venta al público. En el gráfico siguiente pueden observarse precios de venta de EE. UU., comparativos de VE y VMCI:

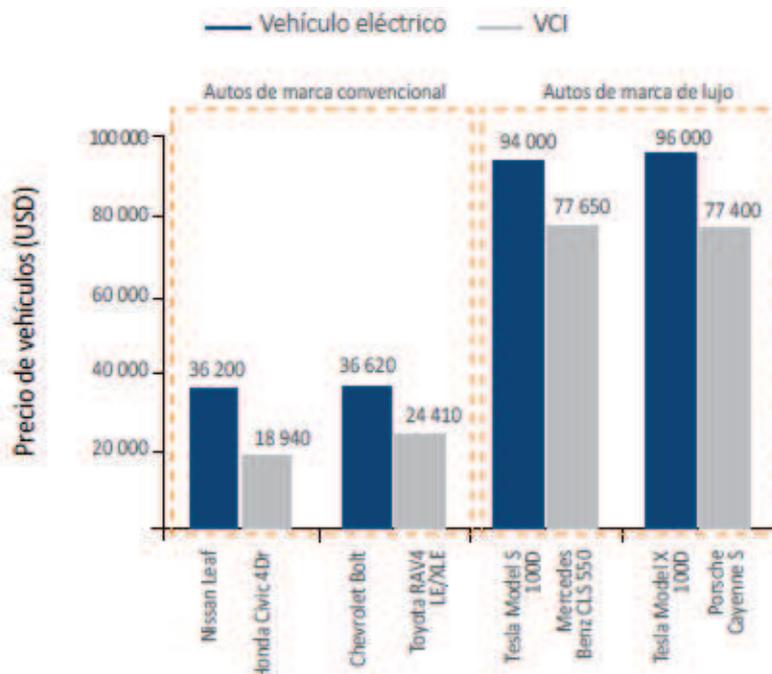


Gráfico 30 Precios representativos de VE vs. VMCI.
Fuente: U.S. Department of Energy. Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Sin embargo, no es correcto comparar dichos vehículos solamente por los precios de venta. Se deben incorporar los costos futuros en los que se incurrirá cada tecnología, es decir, considerar el

mantenimiento y combustible, impuestos, gastos fijos, entre otros. Se estima que, para los VE, estos son mucho más bajos que para los convencionales debido a que, por su mecánica más simple y facilidad de manejo, no ameritan mayor mantenimiento.

Además, considerando un precio competitivo de la electricidad, en comparación con el equivalente de combustibles fósiles, los usuarios se beneficiarán de una disminución significativa en el costo operativo de recargar los VE.

Entonces, si la comparación se realiza agregando los costos de operación y mantenimiento del usuario durante la vida útil del vehículo, la diferencia del precio que se plantea inicialmente, se puede diluir significativamente dentro del cálculo del CTP.

Las siguientes fórmulas son las que se aplicaron para contabilizar el CTP de los VE y los VMCI, en los distintos casos de análisis de este trabajo:

$$CTP_{VE} = I_{VE} + \sum_{i=1}^N \frac{O\&M_{VEi}}{(1+r)^i}$$
$$CTP_{VMCI} = I_{VMCI} + \sum_{i=1}^N \frac{O\&M_{VMCIi}}{(1+r)^i}$$

I_{VE} e I_{VMCI} son las inversiones realizadas en VE+cargador y un VMCI, respectivamente, mientras que $O\&M_{VEi}$ y $O\&M_{VMCIi}$ son los flujos salientes por gastos en operación y mantenimiento correspondientes, válidos para el i -ésimo año dentro del período N de evaluación de estos dos proyectos de aplicación alternativa.

En este trabajo, en ninguno de los casos se trata de proyectos en los cuales se pretenda tener ganancias, y si las hubiera en el caso de los VE, no se espera que sean excepcionales, sino que actúen como flujos de caja entrantes para acortar la considerable diferencia actual entre $I_{VE} > I_{VMCI}$, según se apreció en el Gráfico 30. Sin embargo, en los siguientes años podría ser aproximadamente el mismo que uno de combustión interna, lo cual se debe, sobre todo, a las innovaciones tecnológicas en la producción de baterías a nivel mundial (ver Anexo 8 Historia del arte de las Baterías).

Una particularidad es que actualmente los autobuses y algunos camiones pueden competir con los camiones y autobuses tradicionales de diésel, al considerar el CTP. Esto se debe a que este grupo de vehículos es utilizado con fines comerciales, recorriendo mayores distancias anuales, por lo cual es más probable que el comprador base su decisión en el análisis del CTP que simplemente en el valor inicial de compra. Justamente en aspecto es el que se tuvo en cuenta en el análisis del CTP de este trabajo, en el que se consideró un vehículo comercial, usando como variable principal de sensibilidad, el Recorrido Total Anual realizado.

Anexo 7 - Infraestructura de carga de baterías de Vehículos Eléctricos

La infraestructura de recarga es una pieza fundamental en el proceso de promoción de la Electromovilidad. El Estado debería intervenir para facilitar su difusión e incluso dar las condiciones adecuadas para la inversión privada, sobre todo si se trata de un país que haya adoptado una política de descarbonización del transporte. Una red de infraestructura de carga pública se puede dar mediante tres formas y, usualmente, en este orden:

- a) Provisión directa del Estado: representa una inversión bastante elevada la que el sector público debería asumir, aunque únicamente en una etapa inicial de la implementación, con el objetivo de sentar antecedentes, dar las señales al mercado y marcar el rumbo a seguir.
- b) Otorgamiento de concesión: el Estado le da a una empresa que cumpla con ciertos requisitos predeterminados, el derecho de operar una red de cargadores, proporcionando posiblemente, al menos en un principio de la campaña de promoción, incentivos financieros adicionales para reducir el riesgo que afronte la empresa, como *early adopter*.
- c) Libre entrada de las empresas: implica el libre mercado de competencia entre empresas privadas, pero con el riesgo inevitable de que haya mucha disparidad de precios de recarga, provocando posiblemente el acobardamiento de algunos potenciales usuarios. Esta modalidad debería estar regulada por el Estado, o bien, correr el riesgo antes mencionado y dejar que el mismo mercado lo regule.

Tipos de recarga de las baterías de los VE

La conveniencia, disponibilidad, distribución urbana y accesibilidad a la infraestructura de carga son factores que influenciarán al usuario para la toma de decisión sobre la compra o no de un VE. Por tal motivo, resulta útil revisar cómo se recargan las baterías de los VE y qué tipo de tecnologías existen en la actualidad.

El proceso de recarga de un vehículo se realiza mediante la conexión de un cargador al puerto de carga del vehículo, que recibe energía eléctrica de una fuente externa. La electricidad de la mayoría de las redes de distribución de energía eléctrica se encuentra en corriente alterna (CA), mientras que la batería del vehículo requiere para su recarga corriente continua (CC). Por este motivo, para realizar una carga mediante un cargador que presenta tensión y corriente en CA, se necesita un cargador-conversor *a bordo* CA-CC para realizarla. Su capacidad por lo general es limitada, ya que, por cuestiones de diseño del automóvil, no puede ser ni muy grande ni muy pesado. A continuación, un esquema que ejemplifica lo mencionado.

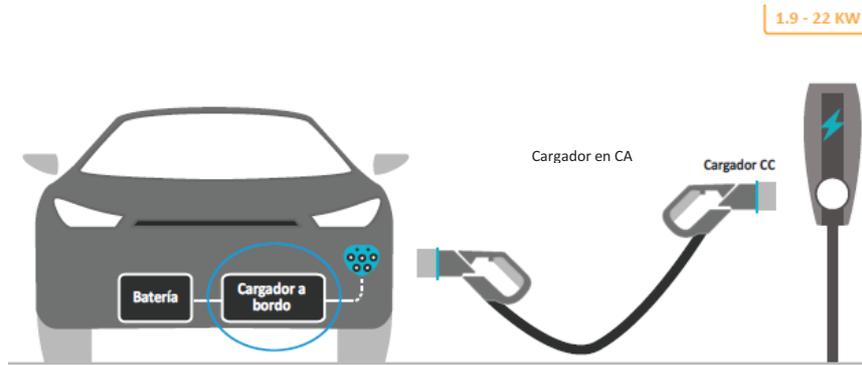


Ilustración 27 Carga en CA con cargador-conversor CA-CC a bordo.
Fuente: DelfX (2019a); Elaboración: GPAE-Osinergim.

La solución al problema ocasionado por la restricción de peso y tamaño del cargador a bordo es trasladar el conversor CA-CC fuera del vehículo, por lo cual la energía es suministrada al vehículo directamente en CC.



Ilustración 28 Carga en CC. con cargador-conversor externo.
Fuente: DelfX (2019a); Elaboración: GPAE-Osinergim.

Tipos de conectores

La industria de vehículos eléctricos no ha llegado a un consenso sobre un conector en específico y, por el contrario, éste varía entre regiones dependiendo de la marca del vehículo.

Los conectores varían según la región geográfica, o más precisamente, según la norma que se haya implementado o adoptado en ella. De allí que se cuenta actualmente con tres tipos de conectores para recarga en CA, en función de la región en donde se fabrican los vehículos.



Ilustración 29 Tipos de conectores para CA, según región de fabricación.
Fuente: DeltfX (2019a); Elaboración: GPAE-Osinergim.

Para el caso de recarga en corriente continua existe un cuarto tipo de conector llamado CHAdeMO, que se utiliza, sobre todo, en la fabricación de vehículos en Japón. En Estados Unidos y Europa existe una combinación (CCS, Combined Combo System) que permite cargar de manera combinada en CC y CA. Si se compara con el conector de CA, se nota una adición en la parte inferior, por lo cual un puerto de carga de “combo” es compatible con los cargadores de corriente alterna y continua en dichas regiones.



Ilustración 30 Tipos de conectores en CC, según región de fabricación.
Fuente: DeltfX (2019a); Elaboración: GPAE-Osinergim.

Niveles de carga

La tecnología de recarga, de acuerdo con su potencia, puede clasificarse en tres niveles:

Las recargas de niveles 1 y 2, aplicables en corriente alterna y continua y que tienen una potencia de hasta 10 kW y entre 10 y 50 kW, respectivamente.

La recarga de nivel 3, solo es aplicable en corriente continua y tiene una potencia mayor a los 50 kW, pudiendo llegar hasta los 350 kW.

En la tabla 1 se visualizan los niveles de carga según potencia del equipo de carga y tipo de corriente.

Nivel	Corriente	Potencia
1	CA	0 – 10 kW
	CC	
2	CA	10 – 50 kW
	CC	
3	CC	> 50 kW (hasta 350 kW)

*Tabla 34 Niveles de carga según potencia.
Fuente: DeltfX (2019a); Elaboración: GPAE-Osinergim.*

Por lo general, la recarga de nivel 1 se lleva a cabo en el hogar, utilizando el cargador que se encuentra incluido al comprar el vehículo. Consta de un cable que en un extremo tiene un enchufe convencional que puede conectarse a cualquier tomacorriente y del otro, un conector que, como hemos visto, varía de acuerdo con el modelo del vehículo.

Sin embargo, en edificios multifamiliares no suele haber suficientes tomacorrientes en las cocheras, ni tampoco están individualizados los consumos por departamento, entonces la distribución es un problema, por lo que hay que avanzar hacia soluciones de identificación/registro, mediante tarjetas de identificación, RFID, por ejemplo.

El tiempo de recarga de la batería en el nivel 1 puede tardar un máximo de 20 horas en cargarse por completo, obteniendo un rango de 200 km¹. Se considera que una persona promedio suele utilizar su automóvil para desplazamientos cortos durante el día y difícilmente recorrerá 200 km.

La recarga de nivel 2 también se realiza en casa, pero los cargadores no son los que vienen incluidos con la compra del vehículo, sino que se adquieren por separado, opcionalmente al momento de la compra del VE. Las ventajas en tiempo de recarga en nivel 2 son notables frente al nivel 1: puede recargarse en entre 3 a 6 horas, dependiendo del vehículo y del cargador[2] y [3].

Finalmente, la recarga de nivel 3, también llamada *fast charging*, tiene asociado un alto costo de inversión y se da de la forma de centros públicos de carga, localizándose cerca de estacionamientos, centros comerciales o a lo largo de rutas y autopistas. Está pensada para personas que se encuentren haciendo viajes largos y tienen que hacer una parada a recargar la batería. El costo de la recarga en estas estaciones suele ser mucho mayor al costo residencial de la electricidad, debido a que, por la baja tasa de utilización del equipo y la alta inversión inicial en el mismo, el propietario, para recuperar la inversión y tener un negocio rentable⁴, debe colocar una tarifa que se lo permita, sin quedar fuera de mercado, lógicamente.

En la siguiente tabla se resumen los tiempos de carga aproximados, según los distintos niveles de carga, para proporcionar la misma autonomía en kilómetros:

Nivel	Tiempo aproximado de carga (con batería descargada)
1	20 horas (200 km)
2	5 horas (200 km)
3	30 minutos (80% de los 200 km)

*Tabla 35 tiempos estimados de carga según niveles.
Fuente: ChargeHub; Elaboración: GPAE-Osinergim.*

Alternativas de recarga de baterías de VE

La recarga de baterías en un futuro cercano puede tender a modalidades ya existentes en el mundo, como iniciativas aisladas. Algunos de los avances tecnológicos que ya existen, pero cuya masificación puede tomar algunos años son:

<p>Estaciones de intercambio de baterías</p> 	<p>Vehículos solares</p> 
<p>Recarga inalámbrica en carreteras.</p> 	<p>Por el momento la tecnología no ha avanzado al punto de generar energía suficiente para operar el VE al 100%, sirve para complementar la recarga de las baterías en tiempos muertos. Sin embargo, existe al menos una categoría de fórmula de carreras de autos solares en Estados Unidos[5]</p>

Ilustración 31. Alternativas de recarga de baterías de VE.

Arriba Izq.: Una estación de cambio de baterías para taxis en la India. Foto: Plugindia.; Arriba der.: Un bus urbano eléctrico con paneles solares. Foto: Shutterstock; Abajo izq.: Proyecto de carril para recargar vehículos eléctricos. Foto: New Atlas16.

Hay tres ubicaciones donde pueden instalarse las estaciones de carga: zonas residenciales, lugares de trabajo y estaciones públicas. Las más usadas y las que más rápidamente han crecido son las de carga regular en el hogar y en los centros laborales (cargadores privados). En contraposición, las estaciones públicas no se han desarrollado como se esperaba en Argentina.

Para desarrollar una infraestructura de carga, es necesario entender cómo los conductores recargan sus vehículos. Los VMCI, por lo general, se reabastecen de combustible cuando el tanque de gasolina está casi vacío y es usual que se llene al máximo. En el caso de los VE, los conductores recargan la batería, a menudo al 80%, en caso se utilice para viajes diarios o cortos que estén dentro del alcance de la batería o al 100%, si se va a realizar un trayecto largo.

En la actualidad, las partes interesadas en el desarrollo de la infraestructura de carga, tanto de los sectores público como el privado, implementan modelos de políticas, infraestructura y negocios, basados, en gran medida, en los patrones actuales de movilidad y propiedad de vehículos, para determinar cuáles son las decisiones por tomar con relación a la evolución de la infraestructura de carga mejor adecuada a cada país.

Notas Anexo 7

¹ “2019 Guide on How to Charge Your Electric Car with Charging Stations”. Información disponible en <https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>

² “Level 1 vs Level 2 EV Charging Stations”. Información disponible en <https://www.clippercreek.com/level-1-level-2-charging-stations/>

³ “Levels of Charging”. Información disponible en <http://www.evtown.org/about-ev-town/ev-charging/charging-levels.html>

⁴PPS I Pedro Díaz Vélez-r14pdv-2019-04-08 - Carga Rápida de Vehículos Eléctricos en Argentina – Factibilidad Económica

⁵ Información obtenida de AAU: <https://www.aau.edu/research-scholarship/featured-research-topics/formula-sun-grand-prix-features-solar-powered>.

Anexo 8 - Historia del Arte de las Baterías [1]

La acumulación de energía eléctrica puede darse para aplicaciones móviles o estacionarias. En el campo de la movilidad en general, o sea, aplicaciones móviles, existen actualmente tres grupos aplicables a la acumulación de energía, que son el hidrógeno, los supercondensadores y las baterías electroquímicas (Alberto García Gorría, 2017). En este último grupo es en el que se centra este anexo y que se aplica en los VE.

Breve teoría y descripción de las baterías electroquímicas.

Las baterías suponen actualmente la principal forma de almacenamiento a pequeña escala, aunque también en los últimos años está tomando mayor importancia su utilización a gran escala. Cuentan con multitud de aplicaciones, muchas más que cualquier otro tipo de sistema de almacenamiento, debido en parte, a que son el método más antiguo para almacenar energía.

Una batería es un sistema de almacenamiento de energía que emplea procedimientos electroquímicos y que tiene la capacidad de entregar luego dicha energía casi en su totalidad, ciclo que puede repetirse un determinado número de veces. La unidad básica de una batería se denomina “celda galvánica o voltaica”, en honor a Luigi Galvani y Alessandro Volta, respectivamente. Se reserva el nombre batería a la unión de dos o más celdas conectadas en serie, en paralelo o en ambas formas combinadas para conseguir la capacidad y la tensión deseada de la batería a construir.

La celda está formada por los siguientes componentes: electrodos (cátodo (+) y ánodo (-)), electrolito (sustancia que contiene iones en su composición orbitando libremente, lo que le ayuda a comportarse como un conductor eléctrico) y separadores (para realizar una separación de los componentes de su interior).

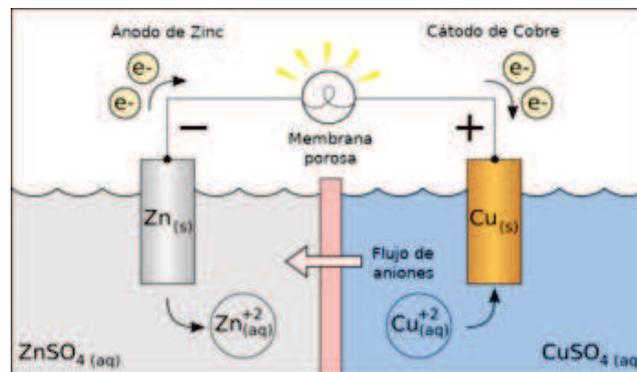


Ilustración 32 Esquema básico de una celda galvánica o voltaica de Zn-Cu.
Fuente Wikipedia

La energía eléctrica es almacenada o liberada mediante reacciones electroquímicas que transportan electrones entre electrodos, que se encuentran interiormente conectados por un electrolito (soluciones líquidas, polímeros conductores sólidos, gel), para llevar a cabo reacciones específicas de reducción/oxidación. Frecuentemente se utilizan catalizadores para acelerar las tasas de reacción a niveles más útiles.

El principio de funcionamiento de una batería se debe básicamente a un proceso químico reversible llamado reducción-oxidación, donde uno de los componentes se oxida (el ánodo pierde electrones) y el otro componente se reduce (el cátodo gana electrones). Por lo tanto, se trata de un proceso en el que los componentes no se consumen, sino que únicamente cambian su estado de oxidación. Por otro lado, dichos componentes pueden retornar a su estado original en las

circunstancias adecuadas, que son el cierre del circuito externo durante el proceso de descarga y la aplicación de una corriente externa durante el proceso de carga.

Los ciclos de carga/descarga definirán la vida útil de las baterías. A medida que una batería es descargada y cargada, su capacidad sufre alteraciones, de manera que, tras un cierto número de ciclos, la batería pierde calidad y no consigue completar con éxito las reacciones químicas. La carga en exceso es también perjudicial para su vida útil.

Las baterías también sufren un efecto denominado “auto descarga” cuando no se utilizan. Se basa en que, a pesar de que no se empleen, la energía almacenada en su interior va disminuyendo progresivamente con el paso del tiempo de forma espontánea, debido a distintos factores, en los cuales no se profundiza en este anexo.

Otro fenómeno que sufren algunos tipos de baterías es el llamado “efecto memoria”. Consiste en un fenómeno que reduce la capacidad de la batería si las cargas se realizan parcialmente. Se produce cuando se realiza la carga de una batería sin llegar a haber sido descargada completamente, lo que genera la creación de una especie de cristales en el interior que debilita los electrodos y hace que la batería pierda parte de su capacidad real de recarga.

Principales parámetros eléctricos y cualitativos de baterías

Existen diferentes variantes de baterías y son sus componentes los que determinan sus cualidades, tales como las capacidades de carga y descarga, capacidad de almacenamiento, densidad de energía o ciclabilidad. Los parámetros principales que nos permitirán definir las especificaciones de las baterías son los siguientes:

Tensión de circuito abierto (V_{OC} , Open Circuit Voltage): voltaje máximo que puede suministrar una batería, que depende de la distribución interna de las celdas.

Hay que tener en cuenta que la batería posee una resistencia interna, por lo que:

$$V_{CARGA} = V_{OC} + I \cdot R_{INTERNA}$$

Tendrán una tensión en la carga algo variable en función del tiempo, debido a la variación de esta resistencia interna.

Capacidad de almacenamiento: se trata del parámetro más importante en la especificación de una batería y se mide en Ah (Amper-hora). La capacidad de la batería está relacionada con la tasa o capacidad de descarga de la misma; cuanto mayor es esta, menor es la capacidad de almacenamiento. Generalmente se cuenta con una curva típica de descarga, establecida por el fabricante, que nos proporciona una determinada capacidad, la cual variará según el régimen de descarga al que sea sometida.

Estado de carga (SOC, State of Charge): indica el porcentaje de carga de la batería. Aunque en teoría el recorrido de carga/descarga de una batería es de 0-100%, en la práctica, en muchos tipos de baterías no es posible o recomendable descargar hasta menos de un 20-30%.

Corriente de descarga máxima: una batería puede entregar una corriente máxima que, cuanto mayor sea, menor cantidad de energía podrá suministrar al sistema, dado que, si aumenta la corriente de descarga, disminuye la capacidad de la batería, porque la tasa de descarga es elevada.

Estado de funcionamiento: mediante este parámetro se comprueba si la batería funciona correctamente, verificando la tensión especificada a la salida y sin la existencia de fallos en los otros parámetros.

Profundidad de descarga (DOD, Depth of Discharge): es el parámetro que indica el porcentaje de descarga que se puede alcanzar en una batería. Como se ha dicho antes, en muchas ocasiones no es posible subpasar este límite porcentual inferior de carga.

Vida de la batería (SOH, State of Health): se refiere a la vida útil que posee la batería. Esta disminuirá en mayor o menor medida dependiendo de su uso, la profundidad de descarga alcanzada en los sucesivos ciclos, número de ciclos completados, etc.

Principales parámetros químicos y cuantitativos de baterías

A su vez, se vuelcan en la siguiente tabla los parámetros más relevantes que se suelen considerar, dependiendo de la química de las baterías, para las más desarrolladas, mayormente utilizadas y difundidas [2]:

Parámetros		Baterías de Pb-ácido	Baterías de LiFePo	Baterías de Li-Ion	Baterías de Li-Metal
Físico-químicos	Densidad de Energía [Wh/l]	90-100 (*)	300-500	200-630	1400
	Energía Específica [Wh/kg]	30-50 (*)	190-250	750	500-1000
	Densidad de Potencia [W/l]			1000-1500	>1500
	Potencia Específica [W/kg]	30-80	70-300	200-700	500-1000
Operativos	Vida útil (ciclos de trabajo a igual % de descarga (DoD))	750 @ 80% 1250 @ 50%	3000 @ 80% 5000 @ 50%	3000 @ 80% 7000 @ 50%	1000 @ 80% 2000 @ 50%
	Rango Térmico de Operación [°C]	0-40	-20-60	-40-60	-40-50
	Seguridad y Comportamiento Térmico	Pueden explotar debido a la liberación de H ₂ .	No muestran dispararse térmicamente	No muestran dispararse térmicamente	No muestran dispararse térmicamente
Económicos - Estratégicos	Costo del kWh instalado (usd/kWh/ciclo)	0,30-0,35 (1)	0,14-0,16 (2)	0,14-0,7	0,14-0,34
Observaciones	(*) Depende de la razón de descarga (2 hasta 20 hs.) (1) Aprox. 200-250 usd/kWh (2020) & 50% DoD (2) Aprox. 350-400 usd/kWh (2020) & 70% DoD				

Tabla 36 Parámetros de comparación de distintas tecnologías de baterías.

Fuentes: Presentación de Juan Pablo Zagorodny de VZH, trabajo "Tecnologías de almacenamiento de energía en la red eléctrica, Alberto García Gorriá, 2017", NASA³, CE⁴, Universidad de Washington⁵, Battery University⁶, Markets and Markets⁷. Elaboración propia.

Evolución de las baterías y otros aspectos

Se espera que el precio de las baterías, uno de los componentes que representa en la actualidad parte importante de la estructura de costos de los VE (entre 1/3 y 1/4 del total [8]), experimente un notable descenso en los próximos años.

Con la actual tecnología, baterías más grandes serían pesadas, caras y restarían espacio al interior del VE. Ante esta situación, se vienen propiciando tecnologías relacionadas al desarrollo de baterías de ion-litio, las que se emplean en los VE. Actualmente, se trabaja en las de cuarta generación, que son capaces de aumentar considerablemente las densidades de energía y alcanzar el rango de los vehículos convencionales.

En la ilustración siguiente se evidencia cómo para una batería de 20 kWh, la batería de ion-litio pesa 180 kg, mientras que la de plomo-ácido pesa 550 kg, es decir, tres veces más.

Peso de una batería de 20 kWh	
Plomo y ácido	550 kg
Níquel y cadmio	500 kg
Níquel – metal hidruro	350 kg
Ion-litio	180 kg

Tabla 37 Comparativa de pesos de baterías de distintas tecnologías e igual capacidad.
Fuente: DelftX (2019a)⁹. Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Algunos casos de desarrollos actuales

General Motors: lanzó en el mes de marzo de 2020 una plataforma común para su nueva generación de VE y, la nueva batería Ultium, que promete rangos superiores a 400 millas (643 km) [10]. Las baterías constan de varias celdas de un volumen relativamente grande, con el argumento que así los módulos pueden apilarse horizontal o verticalmente, logrando adaptarse mejor al diseño del vehículo (según la plataforma de GM), combinándose de a 6, 8, 12 o 24 módulos en serie y/o paralelo, para lograr el voltaje correspondiente. Los 24 módulos sería la configuración "vertical" para el Hummer GMC eléctrico, por ejemplo, con un grosor de unos 45 cm, aproximadamente. En sedanes y cruceros, las celdas se colocarán horizontalmente. [11]

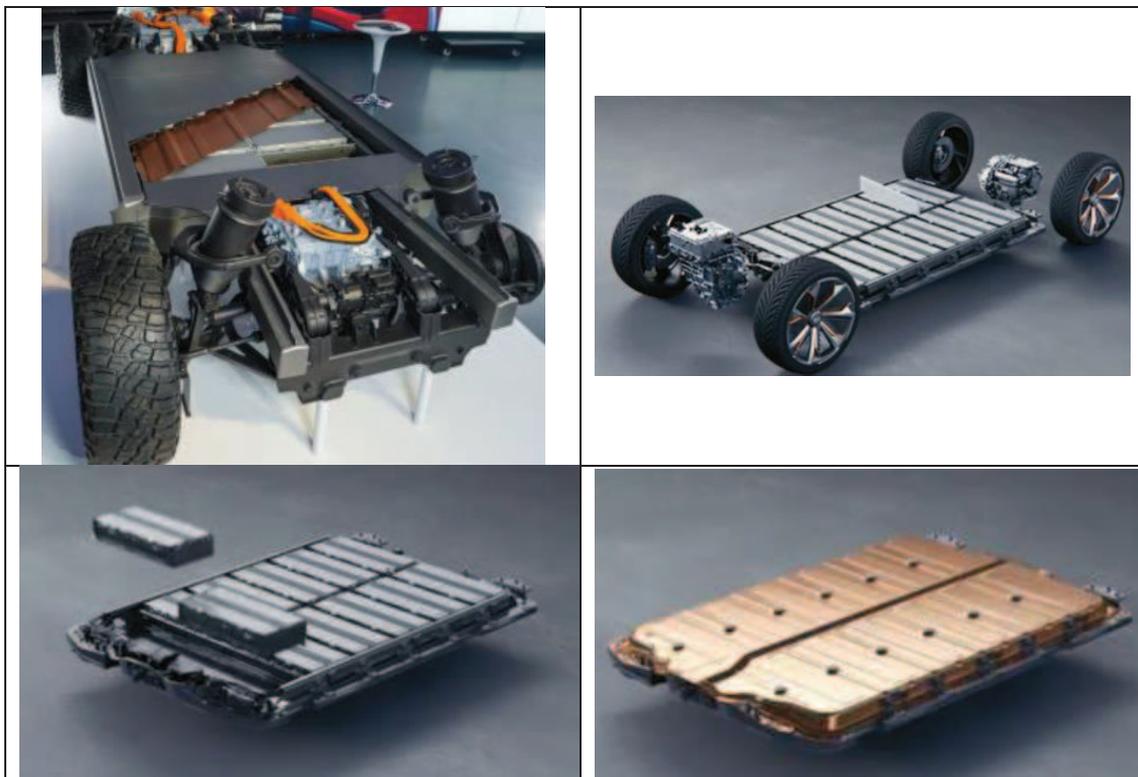


Ilustración 33 Plataforma de batería de tracción Ultium de GM.

Arriba izq.: Corte de batería Ultium en chasis; Arriba der.: Celda independiente Ultium de gran volumen extraída de pack; Abajo izq.: Ensamblaje de packs en bloque de batería; Abajo der.: Bloque completo de batería Ultium. Fuente GM, elaboración propia.

La batería Ultium de GM se enfoca en la química del conjunto "NMCA" (níquel, manganeso, cobalto, aluminio) en lugar del NMC, ya conocido. Al utilizar aluminio, la dependencia del cobalto, el cual es difícil y costoso de obtener, se puede reducir en un 70%. Por lo tanto, los costos de la batería, que será producida en *joint-venture* con la surcoreana LG Chem, una de las mayores productoras mundiales de baterías, bajarían a u\$s100 por kWh, o menos, en la medida que la tecnología evolucione. Comparativamente, la batería del Chevrolet Bolt actualmente tiene un precio de u\$s145 por kWh.

Esta baja en el costo de la batería se debe también a que el BMS, *Battery Management System*, está integrado a cada módulo independiente, lo que ayuda a ahorrar un 80% en el cableado. Debido a esto es también que el costo de la celda representa casi el 80-90% del costo de la batería, mientras que con tecnologías anteriores sólo representaba el 60-65% y el resto correspondía a cableado, encapsulado y otros componentes.[12]

Además de la ventaja en costos, el hecho de integrar a cada módulo el BMS, permite que éste esté programado con el tipo de química de ese módulo en particular, y así poder manipular la energía que dicho módulo entrega. Esto es, porque GM prevé que en el futuro otras químicas de celdas sean desarrolladas, y entonces, gracias a la "inter-compatibilidad" que los BMS integrados brindan, puedan ser combinados en un mismo pack, módulos de distintas tecnologías.

Los paquetes de baterías Ultium se diseñarán desde 50 kWh hasta 200 kWh, el doble de la capacidad de las baterías de los VE más grandes de la actualidad, el Tesla *Model S* y *X*. Sin embargo, esto no quiere decir que el rango que proporcione esta batería sea mayor, ya que dicho modelo de la automotriz Tesla, el *Model S Long Range*, casi puede alcanzar las 400 millas con una batería de 100kWh.

GM ha publicado en su página corporativa 3 documentos, los cuales se enfocan en la visión "Cero emisiones", cada uno desde un eje distinto:

- a) Cómo esperan captar todo tipo de clientes del mercado con esta nueva plataforma;
- b) Cuáles serán las cifras por invertir, en cantidad y calidad para esta nueva política;
- c) Qué pasos tomará la compañía para que la carga de sus VE sea fácil, eficiente y rápida, como uno de los principales pilares para alentar el desarrollo masivo de la EM.

BYD

Recientemente en el mes de abril de 2020, la automotriz china BYD anunció el lanzamiento de su nueva Batería *Blade* (Cuchilla), un desarrollo establecido para mitigar temas concernientes a la seguridad de la batería de un VE. [13]

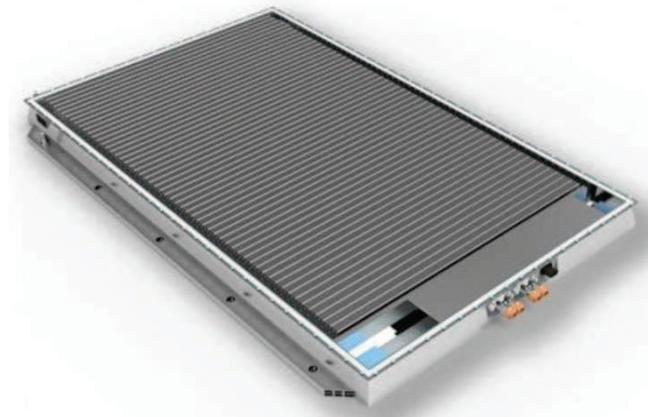


Ilustración 34 Batería Cuchilla de BYD.
Fuente Insideevs

BYD exhibió un video de la Batería Cuchilla, donde se la muestra pasando con éxito una prueba de penetración con clavos, la cual se considera la forma más rigurosa de probar el disparo térmico de baterías, debido a la gran dificultad en realizarla. En este caso, se simplificó el ensayo con una sencilla prueba de cocción de un huevo.

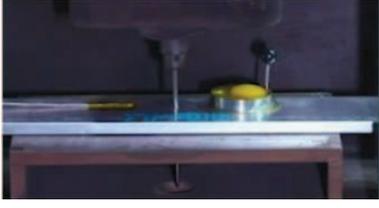
El huevo explotó	El huevo fue carbonizado	El huevo no se cocinó
		
Batería de NCM Li: Severamente dañada. Temperatura de Superficie superó los 500°C.	Batería bloque de LiFePo: No se observó fuego ni humo. Temperatura de Superficie entre 200 y 400°C.	Batería Cuchilla: No se observó fuego ni humo. Temperatura de Superficie entre 30 y 60°C.

Tabla 38 prueba de disparo térmico de baterías de distintas tecnologías.
Izq.: NMC Li, ctro.: LiFePo, der.: Cuchilla. Fuente: BYD, Elaboración: propia.

La Batería Cuchilla no emitió humo ni fuego después de ser penetrada, y su temperatura superficial permaneció entre 30 y 60 °C. En las mismas condiciones, una batería ternaria de litio excedió los 500 °C y se quemó violentamente, y, aunque la batería convencional de LiFePo (Litio-Hierro-Fosfato) no emitió a la vista llamas o humo, su temperatura superficial alcanzó temperaturas peligrosas de 200 a 400 °C. Esto implica que los vehículos eléctricos equipados con la Batería Cuchilla serían mucho menos susceptibles a incendiarse, incluso si están gravemente dañados.

También superó otras condiciones de prueba extremas, como ser aplastada, doblada, calentada en un horno a 300 ° C y sobrecargada en un 260%. Ninguno de estos resultó en un incendio o explosión.

Además, la Batería Cuchilla presenta ventajas en términos de reducción de costos y densidad de energía. Las celdas independientes están dispuestas de manera conjunta en un arreglo, que es insertado luego en un paquete de batería. De esta manera, debido a la optimización de la estructura de dicho paquete, la utilización del espacio de este se ve mejorada en un 50% comparando con bloques de baterías de LiFePo convencionales.

BYD argumenta esto con el fundamento que, convencionalmente, sólo alrededor del 40% del volumen del paquete de baterías es ocupado por baterías propiamente (las celdas toman el 80% de un módulo y los módulos toman el 50% del paquete). En el caso del nuevo diseño, tecnología a la que denominan Cell-to-pack, las baterías ocupan el 60% del volumen del paquete, lo que representa una mejora del 50%.

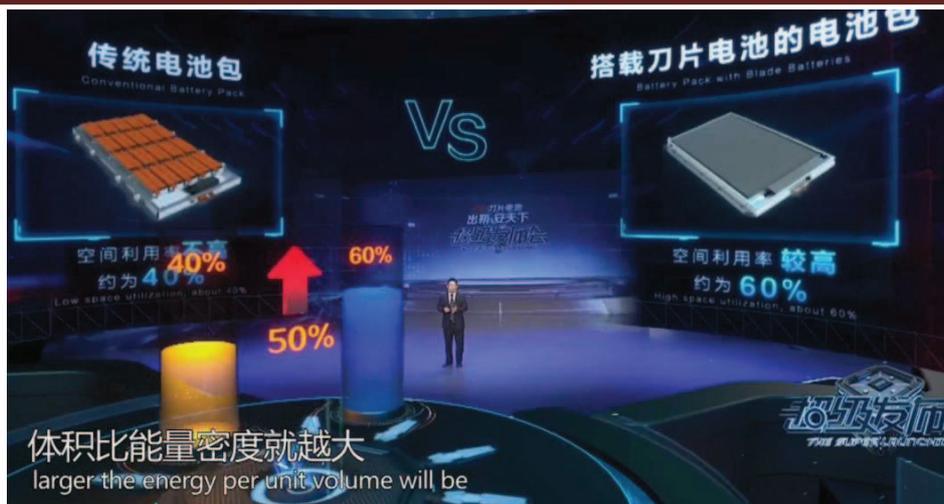


Ilustración 35 Mejora de utilización del espacio de Batería Cuchilla de BYD vs. LiFePo.
Fuente Insideevs.

BYD logró esto reemplazando las celdas prismáticas de LiFePo convencionales por celdas más delgadas y alargadas, las cuales fueron diseñadas para conformar la estructura (como vigas) del paquete como tal. Eso simplifica el diseño del paquete.

Volkswagen:

Por su parte, Volkswagen, similarmente a GM, ha desarrollado su plataforma llamada MEB (del alemán: *Modularer E-Antriebs-Baukasten*; en español, Plataforma Modular de Propulsión Eléctrica), a base de la cual planea desarrollar sus VE para todas sus marcas y subsidiarias del mundo, entre 2019 y 2025, y, para 2030, lograr la transición completa de todos sus modelos actuales de VMCI a VE.[14]

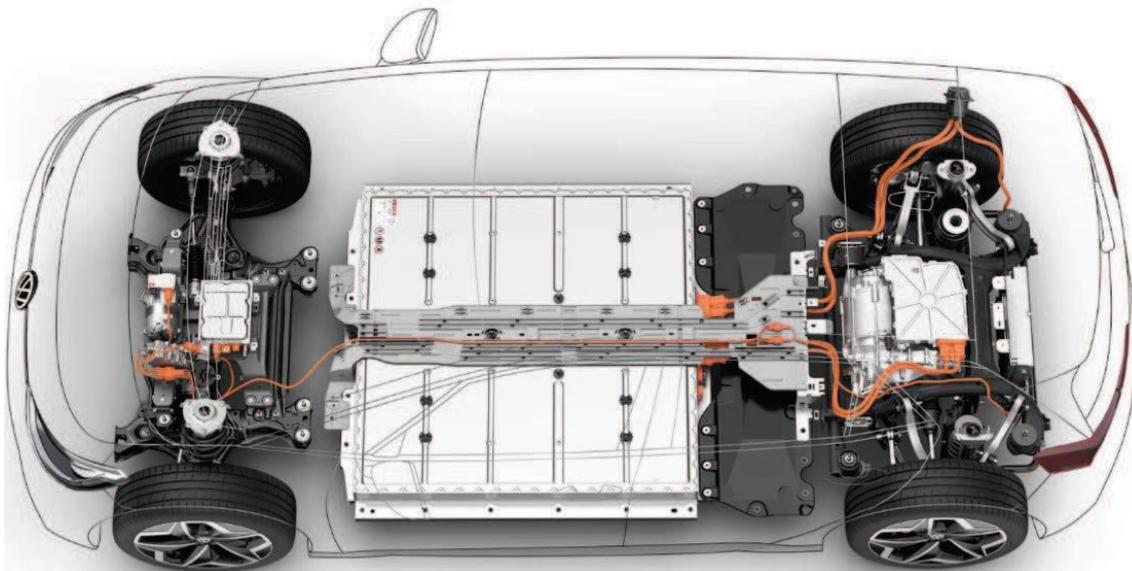


Ilustración 36 Esquema de un VE de Volkswagen en base a la nueva plataforma MEB.
Fuente Insideevs.

Además, el nuevo pack de baterías presentado por la marca en diciembre de 2019, e, ID.3 MEB battery pack, es fabricado en la planta del grupo en Brunswick, Alemania, con la ambición de producir 500.000 packs cada año[15].

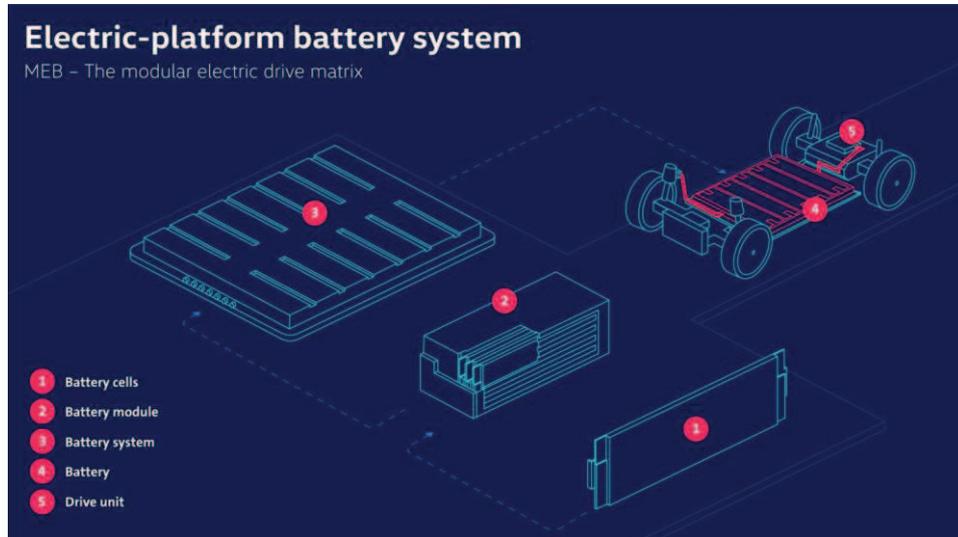


Ilustración 37 Componentes y subcomponentes que conforman la plataforma MEB.
Fuente Insideevs.

Respecto a la cadena de suministro de baterías, el grupo VW quiere ser propietario de la tecnología de sus baterías y la estrategia a tomar en el grupo. Esto apunta a lograrlo de varias maneras, una de ellas aliándose con la compañía sueca Northvolt [16] o mediante otras alianzas europeas “multi-estados” y otras adquiriendo participaciones en fabricantes asiáticos.

En este mismo sentido, VW invierte cifras millonarias en su centro de Excelencia en Salzgitter, para desarrollar su propia tecnología de baterías, con el agregado en investigación para el reciclado de baterías de Li-ion a bajo costo, bajas emisiones y alta tasa de reutilización de los recursos.[17]

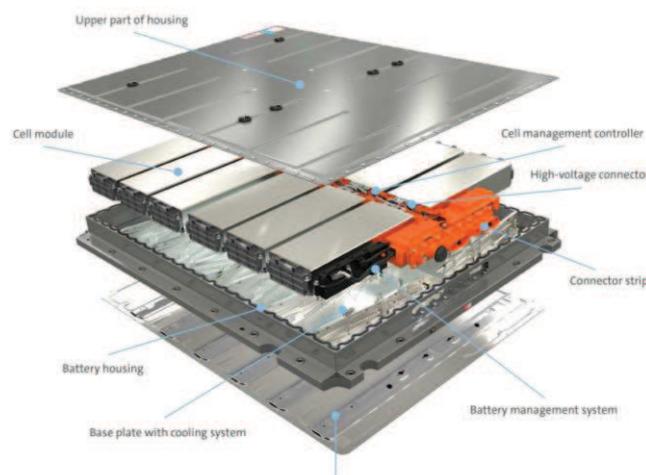


Ilustración 38 Batería desarrollada por Volkswagen con su tecnología propietaria.
Fuente Insideevs.

Es entonces que muchas noticias de nuevos lanzamientos, alianzas e implantaciones de nuevas fábricas de VW están dándose a conocer en los últimos meses [18]. Principalmente, y

probablemente la más llamativa, sea aquella sobre el comienzo de la producción de VE y el rápido escalamiento en las cantidades para los próximos años, en las dos plantas del grupo ya existentes en China, para competirle de igual a igual a Tesla¹⁹.

Tesla

En EE. UU., Tesla es pionero y el mayor productor con su Gigafactoría en Nevada con una capacidad de 35GWh (2017). Su fundador, CEO y principal accionista, el sudafricano Elon Musk, se ha propuesto como meta ambiciosa, lograr dotar a sus modelos de VE, o a algunos de ellos en un principio, una batería que sea capaz de tener una vida útil de un millón de millas.[20] Esa meta está cada vez más cerca de la mano del descubrimiento de nuevas tecnologías y materiales por parte de las investigaciones de la propia compañía o alguna de sus asociadas [21]. Además, como parte de la modalidad V2G, o bien como segundo uso de las baterías que van siendo descartadas por los usuarios, debido al decaimiento de su autonomía, Tesla está implementando el almacenamiento de energía generada mediante Energía Renovables en esas baterías [22]. Incluso un estudio del MIT afirma la viabilidad técnica y económica de la reutilización de las baterías como almacenamiento de energía para dar más estabilidad a las redes de distribución eléctrica [23], según se desarrolló en el Anexo 5.

Estado del mercado de Baterías: alianzas, estrategias y proyecciones.

Asia domina el mercado de baterías de Li-ion con un 79% de la capacidad instalada total mundial de 103GWh (2017), creciendo a 273GWh (un 165%) para el año 2021, pronosticando que solamente China representará el 65% de ese total, mientras que Europa sólo un 5% [24].

En Europa, más precisamente en Suecia, Northvolt va a terminar para 2023 su planta capaz de producir 32GWh, expansible a 40GWh [25]. A su vez, entre Francia y Alemania se anunciaban alianzas estratégicas a fines de 2018 y principios de 2019 [26], que al parecer no prosperaban, y lo que sí se observaba en los últimos tiempos, eran acuerdos entre automotrices europeas y fabricantes de baterías asiáticos. Finalmente, al parecer esa alianza entre Alemania y Francia va tomando color, que, tras la autorización de la Comisión Europea, y el ingreso de otros 5 países participantes (Italia, Polonia, Bélgica, Suecia y Finlandia), ayudará a desarrollar el proyecto “Airbus de las baterías”. La primera producción podría verse en 2022. [27]

El precio de un pack de batería de Li-ion medido en USD/kWh de energía eléctrica ya ha descendido un 85% desde el 2010 al 2018 [28] y se espera que siga bajando a más del 90% en el período 2010-2030.[29]

Horizonte, pasos a seguir en las baterías de Litio y próximas tecnologías

Para 2040, se prevé que más de la mitad de las ventas de automóviles nuevos y un tercio de la flota mundial, equivalente a 559 millones de vehículos, sean eléctricos. Esto plantea serios desafíos. Las baterías de los VE generalmente deben reemplazarse cada siete a diez años para vehículos pequeños y de tres a cuatro para los de mayor tamaño, como autobuses y camionetas. La disminución del rendimiento de la batería de un vehículo eléctrico se evidencia por parte de los propietarios en menor cantidad de kilómetros de conducción por carga y recargas más frecuentes. Se espera que las cantidades mundiales de estas baterías superen los 3,4 millones para 2025, en comparación con las 55.000 del 2018. Esto es casi un aumento de 62 veces en 7 años [30]. Los automóviles han superado a la electrónica de consumo como los mayores usuarios de baterías de iones de litio. Debido a que las baterías contienen sustancias químicas tóxicas que no deben destinarse a un vertedero, deben reciclarse, lo que implica un proceso de fabricación muy cuidadoso, o reutilizarse para otros usos.

China tiene el mercado de vehículos eléctricos más grande del mundo y el mayor número de fabricantes de vehículos eléctricos. Los coches eléctricos tienen sentido en China debido a sus ciudades densas y abarrotadas, que a menudo significan distancias de conducción más cortas. A

su vez, China, en donde se vende aproximadamente la mitad de los vehículos eléctricos del mundo, ha hecho responsables a los fabricantes de VE por las baterías agotadas y la Unión Europea también tiene regulaciones sobre la eliminación de baterías.

Reciclaje de baterías de Litio

Las baterías se pueden reciclar, pero no es fácil debido a los sofisticados procedimientos químicos involucrados. Si no se manipulan correctamente, el metal pesado contenido en la batería puede provocar la contaminación del suelo y el agua.

Las baterías se pueden reciclar mediante fundición, recuperación directa y otros procesos más modernos. Se utiliza el proceso de fundición para recuperar muchos de los minerales componentes (por ejemplo, litio, cobalto, níquel) contenidos en la batería. Después de que se funde una batería, el litio resulta en un subproducto mixto y extraerlo es costoso. Si bien el costo de reciclar completamente una batería de iones de litio es de aproximadamente 1 euro por kilogramo, el valor de los minerales recuperados en bruto del proceso es solo aproximadamente un tercio de eso. Otra forma de ver el costo de extracción de litio de baterías viejas es que es 5 veces más caro que el litio extraído.

Una de las principales empresas de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos es Li-Cycle [31], una empresa con sede en Canadá que utiliza tecnologías de reciclaje avanzadas que pueden recuperar hasta el 100 por ciento del litio de las baterías de iones de litio. En los Estados Unidos, Redwood Materials y Retrie Technologies, con sede en California, también reciclan materiales de baterías viejas. OnTo Technology, con sede en Oregon, también es pionera en procesos avanzados de reciclaje de baterías.

Reutilización

Como se nombró anteriormente, a medida que estos procesos de tecnología avanzada continúan desarrollándose, la reutilización de baterías ofrece otra ruta para su eliminación y productividad. A muchas baterías de vehículos eléctricos que están "gastadas" todavía les queda hasta el 70 por ciento de su capacidad, más que suficiente para otros usos. Una vez que las baterías usadas de vehículos eléctricos se han desempaquetado, probado y empaquetado, se pueden usar para el almacenamiento de energía en el hogar.

Fabricantes como Nissan y Renault están usando baterías viejas para brindar nuevos servicios. En Japón, Nissan reutilizó las baterías para alimentar la iluminación urbana. Renault ha instalado baterías respaldando ascensores en París y GM está respaldando su centro de datos en Michigan con baterías Chevy Volt usadas. Las baterías viejas también pueden ser útiles para almacenar energía solar y respaldar las redes eléctricas tradicionales. Además, empresas privadas como Powervault, con sede en el Reino Unido, y Aceleron, con sede en Australia, han creado tecnologías que pueden convertir las baterías en unidades de almacenamiento de electricidad para el hogar, baterías para bicicletas eléctricas y otras herramientas. General Motors Co., BMW AG, Toyota Motor Corp., BYD Co. y varios proveedores de almacenamiento de energía renovable se encuentran entre los que intentan crear un mercado secundario, obteniendo así beneficios adicionales.

Para 2025, se estima que alrededor de las tres cuartas partes de las baterías eléctricas gastadas se reutilizarán y luego se reciclarán para cosechar materias primas. Eso significa que los fabricantes de automóviles y los productores de baterías pueden beneficiarse del mismo paquete de baterías varias veces. Puede verse en el gráfico siguiente que China será el país que más se beneficie de estos nuevos usos secundarios.

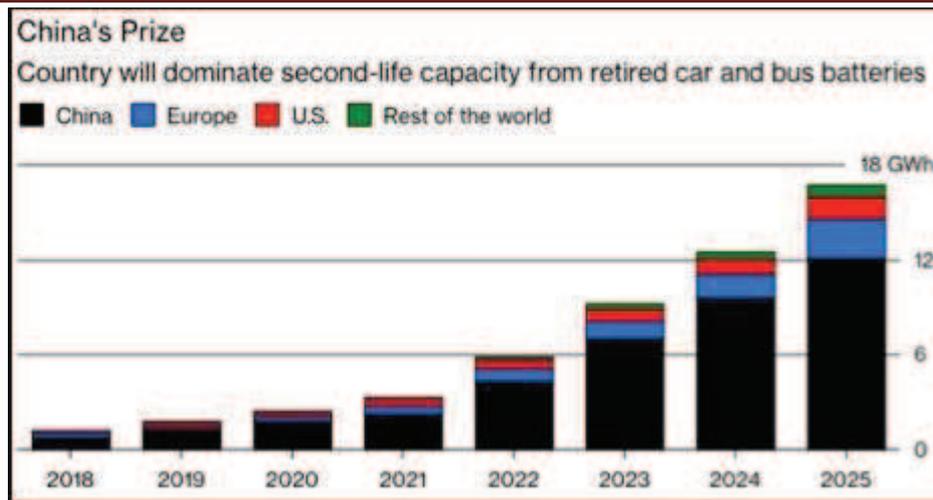


Gráfico 31 Escenario actual y futuro de reutilización secundaria de baterías de VE para almacenaje.
Fuente y elaboración: IER

En apoyo a este gráfico, e incluso haciendo la apuesta muchísimo mayor, la consultora McKinsey estima que para 2030, la energía que podría reaprovecharse del almacenamiento en baterías de segundo uso de EV superaría los 200GWh por año y representaría un negocio de alrededor de 30 mil millones de dólares [32].

Batería de Li Sólido:

El electrolito sólido se anuncia como el aspecto fundamental de la nueva generación de baterías. Según se está investigando, es más seguro, posiblemente más económico, energéticamente más denso y menos proclive a la pérdida de eficiencia por bajas temperaturas. Puntualmente, ofrece más energía por unidad de masa y volumen, posee mejor conductividad, mayor vida útil y mejor capacidad de recarga.

Una de las primeras compañías en apostar por el desarrollo de la tecnología sólida (o seca, como se la llama en el mercado), fue Tesla, que adquirió Maxwell Technologies en mayo de 2019 [33]. Maxwell es otra empresa norteamericana que se especializa en la fabricación de soluciones relacionadas con el almacenamiento de energía y suministro de energía para automóviles.

Sin embargo, la tecnología del electrolito sólido es difícil, ya que, por presentarse en ese estado, se dificulta la penetración en los recovecos de la celda, a diferencia del electrolito líquido. Entonces lo que ha venido investigando el IMEC, centro flamenco de investigación en la ciudad de Louvain, es el desarrollo de un electrolito líquido que se convierte en sólido, y lo que destacan, es la velocidad de transición entre estados 5 veces más rápida que otras tecnologías existentes de baterías de estado sólido. Cuentan con la colaboración de la compañía japonesa Panasonic.

No obstante, aseguran que una real revolución en el desarrollo de la tecnología de las baterías vendrá de la mano de una importante penetración en nuevos materiales, ya que la tecnología que han desarrollado del electrolito sólido es una evolución de las baterías de Li-ion, lo cual no permite reducir la ocupación volumétrica tan significativamente y permanece dentro de los mismos rangos de precios. [34]

Hidrógeno

Durante los primeros meses de 2020 se ha venido hablando con mucho énfasis sobre distintos países y empresas de Europa y América están avanzando firmemente en el ámbito del Hidrógeno como fuente de generación de energía eléctrica e incluso para propulsar VE eléctricos. En ese

sentido, la alemana Bosch está acelerando la producción de celdas de combustibles en sociedad con la empresa sueca Powercell [35].

Por su parte, China, nunca quedándose atrás, más bien tomando por lo general la delantera en tiempo, magnitud de los proyectos e inversión en los mismos, está impulsando fuertemente el desarrollo de la producción de hidrógeno para la movilidad eléctrica [36].

En el ámbito de la generación de energía eléctrica, bajo la premisa de aprovechar la que se genera por medio de las fuentes renovables fluctuantes, la cual no siempre es utilizable directamente en el momento de su producción, sino que se debería almacenar para su posterior consumo en momentos de mayor demanda, se están desarrollando un conjunto de tecnologías de almacenamiento que se basan en una serie de principios mecánicos, térmicos, electroquímicos o electromagnéticos [37]

Notas Anexo 8

¹ Se encuentra mucha y muy variada información y bibliografía en la red; a su vez, ésta se actualiza muy dinámicamente. Por ese motivo, se aclara que se incluyeron como novedosos, lanzamientos de distintos fabricantes de vehículos que ya pueden tener cierto tiempo desde su publicación. Así mismo, el avance de las tecnologías y desarrollos de nuevas baterías se da prácticamente a diario, por los que se dificultó mantener este Anexo actualizado. Se podrá acceder a los últimos desarrollos ingresando a las páginas web de los principales fabricantes de baterías y vehículos eléctricos del mundo, a saber: BYD Company (China), LG Chem (South Korea), Panasonic Corporation (Japan), Samsung SDI (South Korea), BAK Group (China), Hitachi (Japan), Johnson Controls (Ireland), Toshiba Corporation (Japan), Tesla, Volkswagen, GM, Ford, entre otros.

² Por lo mencionado en la nota anterior, se deja fuera del alcance de este trabajo profundizar en las tecnologías de las baterías. Sin embargo, se hace hincapié en que el constante desarrollo está convergiendo hacia el abaratamiento de éstas, o, al menos, de las tecnologías más viables. Esa tendencia es utilizada en el presente trabajo.

³ Algunos datos de la tabla obtenidos de NASA:
https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/650_whkg_1400_whl_recharg_batt_new_era_elect_mobility_ymikhaylik_0.pdf

⁴ Algunos datos de la tabla obtenidos de Comunidad Europea:
https://europa.eu/sinapse/webservices/dsp_export_attachment.cfm?CMTY_ID=0C46BEEC-C689-9F80-54C7DD45358D29FB&OBJECT_ID=230DABFD-90AB-8F7D-083EF5BD909DD025&DOC_ID=9C5B91FE-01BC-5F72-79D01E1939A9EE53&type=CMTY_CAL

⁵ Algunos datos de la tabla obtenidos de Clean Energy Institute:
<https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/#:~:text=Compared%20to%20the%20other%20high,%2D670%20Wh%2FL>.

⁶ Algunos datos de la tabla obtenidos de Battery University:
https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/types_of_lithium_ion

⁷ Algunos datos de la tabla corroborados en Markets and Markets:
https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/lithium-ion-battery-market-49714593.html?gclid=EAlaIqObChMlv8Gasc3y6AIVDoCRChODTwsZEAAYASAAEgImCPD_BwE

⁸ Aseveración basada en datos obtenidos de Bloomberg: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>

⁹ Tomado del curso de DelftX (2019a): Electric Cars-Introduction: <https://www.edx.org/course/electric-cars-introduction-0>

- ¹⁰ Información presentada en los sitios oficiales de GM:
<https://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2020/mar/0304-ev.html> y <https://www.gm.com/our-stories/commitment/ev-battery-modular-technology.html>
- ¹¹ Información y valores obtenidos de Newmobility.news:
<https://newmobility.news/2020/03/05/ultium-battery-spearhead-in-gms-massive-ev-offensive/>
- ¹² Datos y características obtenidos de Forbes, Marzo 2020:
<https://www.forbes.com/sites/samabuelsamid/2020/03/04/gm-announces-new-lower-cost-ultium-lithium-ion-batteries-for-new-evs/#794285ef4f10>
- ¹³ Información obtenida de BYD: <https://en.byd.com/news-posts/byds-new-blade-battery-set-to-redefine-ev-safety-standards/> e Insideevs: <https://insideevs.com/news/406839/byd-blade-battery/>
- ¹⁴ Aseveración obtenida de Volkswagen: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/modular-electric-drive-matrix-meb-3677> y Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Group_MEB_platform
- ¹⁵ Cifra obtenida de InsideEVs: <https://insideevs.com/news/387078/volkswagen-id3-battery-pack-in-brief/>
- ¹⁶ Información sobre Volkswagen obtenida de Newmobility.news:
<https://newmobility.news/2019/03/22/vw-and-northvolt-join-forces-in-european-battery-union/>,
<https://newmobility.news/2020/02/25/regarding-battery-production-vw-wants-to-be-a-free-rider/> y
Northvolt: <https://northvolt.com/production>
- ¹⁷ Datos sobre desarrollo de Volkswagen obtenidos de su propia página:
<https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/09/battery-cell-assembly--pilot-line-started.html#>
- ¹⁸ Información leída en InsideEVs: <https://insideevs.com/tag/volkswagen-meb/>
- ¹⁹ Acciones de Volkswagen para competir contra Tesla leídas en InsideEVs:
<https://www.reuters.com/article/us-volkswagen-electric-focus/vw-ramps-up-china-electric-car-factories-taking-aim-at-tesla-idUSKBN1X71RV>
- ²⁰ Información sobre la 1M Mile Battery obtenida de Forbes:
<https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2020/12/30/teslas-new-lithium-ion-patent-brings-company-closer-to-promised-1-million-mile-battery/>
- ²¹ Novedades sobre la 1M Mile de Tesla leídas en TESALARATI: https://www.teslarati.com/tesla-1-million-mile-battery-new-electrode-patent-explained/?utm_source=dlvr.it&utm_medium=linkedin
- ²² Publicación sobre soluciones de almacenamiento con EERR leída en Newmobility.news:
<https://newmobility.news/2018/05/15/140-tesla-batteries-to-stabilize-national-power-grid-in-limburg/>
- ²³ En CleanTechnica se asevera la factibilidad de segunda utilización de baterías:
<https://cleantechnica.com/2020/05/23/mit-study-says-using-retired-ev-batteries-for-grid-scale-energy-storage-could-be-profitable/>
- ²⁴ Pronósticos de Marketshare de baterías de Lithium-ion obtenidos de Bloomberg:
<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>
- ²⁵ Información recuperada de Newmobility.news: <https://newmobility.news/2017/08/16/china-takes-big-headstart-europe-batteries/> y <https://northvolt.com/production>
- ²⁶ Información obtenida de Newmobility.news: <https://newmobility.news/2018/12/19/france-and-germany-join-forces-on-eu-battery-alliance/> y <https://newmobility.news/2019/05/03/european-airbus-of-batteries-ready-for-take-off/>
- ²⁷ Información obtenida de Newmobility.news: <https://newmobility.news/2020/01/21/vw-to-buy-20-of-chinese-battery-producer/> y <https://newmobility.news/2020/02/25/regarding-battery-production-vw-wants-to-be-a-free-rider/>
-

²⁸ Aseveración de los precios obtenida de: “A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices, BNEF, marzo 2019”: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>

²⁹ Aseveración de los precios obtenida de “Better Batteries, BNEF, octubre 2019”:
<https://www.bloomberg.com/quicktake/batteries>

³⁰ Datos varios obtenidos de IER: https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/the-afterlife-of-electric-vehicles-battery-recycling-and-repurposing/?_cf_chl_captcha_tk_=490634297a91da63d73efcc433a4f2958fa86715-1600047070-0-AbFSUvzNLNKRURpHxDG5HjE1dF579W0EoGbfk9wVaLBWBhJKIOhWPNDrvuZvQGw4a2x019PekaXPs32rNJ6ECQiaMJOCoaMrXWS-jBBPL8URioqQpv6lJ-zgfwAr4K5SkMptCyFnevOM_ppFVNE4KJMANc86efAgi362CwaFfC6bELhi_Q4inFi2bbrA6HL2wHXcybLSgmVlkKQ7g91sKPyK93Mb80lle6vqWWXq2ZZpgBZ_KwPbAK88NwlrLaWUqOve6N-1NDhUsQd8ufbrlk7cXHORgGwcCjABCX8rxGAW1jei1MEVxid0TGJiPTv_cODKnsSKjmOUmvpG-dl1dRd-fVvAPHQ7z5IlmHZPDAL8DK8y6lu6N_wkrT-D79js7jsYZLo-SDqMJYMhuB-eQXIEpNrK3m-SUHJK-mZJLBRui2k9UL13rHY20FALipJO-PbT3wOyzWdclXF9SLrguSAJKrCXwr66Q4vVsXqAv156NwLvU_H-pNuRr2QBkFZSmSS9vJDTsX9eSfWDXTOod5FN5eyBelL07qHMUAAta28jfwtoESB2w-6q2mpxsbxjCdtXKq5ZVLMPIP6Vb2IKf0

³¹ Página web de LI-Cycle, una de las empresas recicladoras de baterías: <https://li-cycle.com/>

³² Estimaciones hechas por McKinsey: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage>

³³ Información obtenida de la página de prensa de TESLA: <https://ir.tesla.com/news-releases/news-release-details/tesla-completes-acquisition-maxwell-technologies>

³⁴ Afirmación obtenida de Newmobility.news: <https://newmobility.news/2018/04/11/flemish-research-centre-imec-develops-solid-state-battery/>

³⁵ Información relacionada a BOSCH y el desarrollo del Hidrógeno:
<https://newmobility.news/2019/04/30/bosch-gears-up-fuel-cell-production-with-swedish-powercell/>

³⁶ Información sobre China y el desarrollo del Hidrógeno obtenida de Newmobility.news:
<https://newmobility.news/2019/04/24/china-pushes-hydrogen-mobility/>

³⁷ Información general sobre otros desarrollos en almacenamiento obtenida de CleanTechGroup:
<https://www.cleantech.com/the-long-duration-energy-storage-search-how-close-are-we-to-low-costs-and-zero-carbon/>

Anexo 9 - Retos de la Electromovilidad

Es importante mencionar que los principales retos que impiden hoy la masificación de la EM son la llamada “ansiedad de rango”, los altos costos de inversión, muy relacionados a su vez con el alto costo de las baterías, y las preocupaciones ambientales por la disposición de las baterías que los VE utilizan. Las soluciones para enfrentarlos pasan por un mayor desarrollo tecnológico y una activa participación del gobierno.

Ansiedad de Rango

Se define como el miedo a quedar varado o no llegar al destino debido al agotamiento de la batería. Para evitarlo, es una buena práctica planificar cada viaje, evaluando dónde detenerse para cargar el vehículo y cuánto esperar para que se cargue la batería lo necesario (mínimo 30 minutos [1]), ya que no siempre es necesario completar la carga de la batería, sobre todo porque la carga con cargadores rápidos suele ser bastante costosa (ver anexo 7, Infraestructura de Carga), incluso en comparación con la carga de combustible fósiles.

El alcance de los vehículos eléctricos va desde los 240 hasta los 540 km, mientras que, en los autos convencionales, por lo general, el rango no baja de los 600 km, según puede verse en el cuadro siguiente.

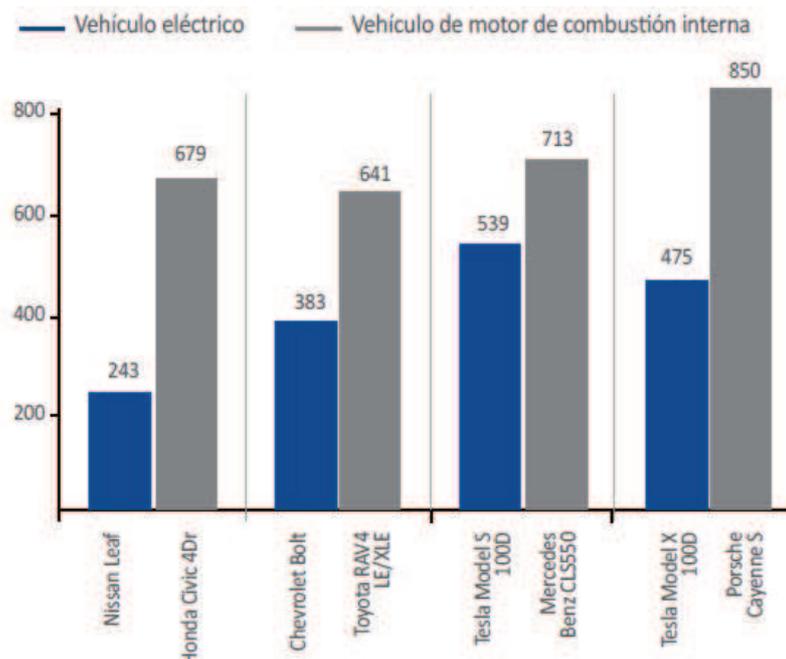


Gráfico 32 Ansiedad de rango: auto eléctrico vs. auto convencional (en km).
Fuente: U.S. Department of Energy. Elaboración: GPAE-Osinergmin

Existen diferentes soluciones para disminuir el preconcepto de la ansiedad de rango. La principal es la provisión de infraestructura de estaciones de carga, asegurando una mayor disponibilidad de estaciones de servicio y además acortando los tiempos de carga. La escasa disponibilidad de cargadores y la distancia que se puede recorrer es una de las principales barreras para comprar un auto eléctrico. Existen nuevas tecnologías de carga rápida que bajan el tiempo de espera en la

recarga considerablemente, además de las tecnologías de carga ultrarrápidas, asemejándose cada vez más en duración a una carga de combustible fósil (ver anexo 7 Infraestructura de Carga).

Se podría pensar que el hecho de instalar más puntos de carga llevará a los usuarios a adquirir autos eléctricos, acotando el preconcepción de la ansiedad de rango. Sin embargo, una sobreestimación apresurada de esta opción podría resultar como consecuencia estaciones vacías.

Pensando a mediano plazo, se esperan desarrollos tecnológicos que permitan una mayor capacidad de almacenamiento de la batería eléctrica (ver Anexo VI Autonomía-Evolución de los Dispositivos de Carga) o que se pueda cargar el auto mientras esté en uso.

Alto costo de inversión

La evidencia internacional ha demostrado que los consumidores valorizan los costos iniciales mucho más que los de operación, en el sentido preciso que le dan mayor valor al peso de la inversión inicial que al gasto que tendrán en Operación y mantenimiento (O&M) a lo largo de la vida útil del vehículo. En términos financieros, esto puede traducirse en que existe una alta tasa de descuento, es decir, que el dinero se valora mucho más en el presente que en el futuro. El reto en la implementación de la EM puede ser solucionado a corto plazo, mediante subsidios gubernamentales, con el fin de promover la penetración de esta tecnología.

El mayor porcentaje dentro de la estructura de costo de un VE es la batería, que representa hasta un 50%, en las tecnologías más caras. Por otra parte, dentro de los VMCI, los costos en equipos y costos en el tren motriz representan el mayor porcentaje del total, mientras que dichos costos de transmisión son más bajos en los VE por la menor cantidad de piezas mecánicas móviles.

El desarrollo de la batería permitirá que se reduzcan sus costos de producción y mejore la densidad de energía, aumentando las características de rendimiento, la vida útil y la seguridad (ver Anexo 8 Historia del arte de Baterías). Con respecto a los precios, hace cinco años era USD 1000 por 1kWh de capacidad de almacenamiento de la batería, mientras que en 2019 rondaba los USD 200. En la actualidad sigue bajando y continuará haciéndolo.

Limitaciones Ambientales

Para que la introducción de VE sea una alternativa sostenible, es importante evaluar si la contaminación evitada durante el uso del vehículo en sí es suficiente para compensar la emisión de gases durante la fabricación de baterías y sus otros componentes. (Ver Anexo 1).

Un estudio realizado en Estados Unidos en el 2015 (Reichmuth y Anair), determinó que la reducción de las emisiones de CO₂ en la operación del VE compensa ampliamente el incremento de las emisiones producto de la fabricación de las baterías y los propios VE. Tan vasta es la diferencia, que empiezan a compensarse en cuanto el VE se pone en movimiento.

Los VE compensan sus emisiones de la fabricación en unos 18 meses de conducción
- los modelos con batería más pequeña pueden compensar las emisiones adicionales en tan solo 6 meses.

Se requieren importantes medidas de tratamiento relacionadas a la reutilización y reciclaje de las baterías. Estas pueden reutilizarse como sistemas de almacenamiento de electricidad para los hogares. Sin embargo, en la actualidad, el reciclaje de baterías de iones de litio no es rentable, ya que cuesta más reciclar que extraer el recurso.

Instrumentos de Promoción para el Desarrollo de la Electromovilidad

Existe una amplia variedad de instrumentos que han venido implementándose en diversos países, que podemos dividir en económicos y no económicos. Luego de presentar los instrumentos a continuación, va a analizarse al final de esta sección cuáles serían los apropiados y adaptables para el contexto argentino y la idiosincrasia de su sociedad.

Instrumentos económicos

Debido al alto costo de inversión inicial para la adquisición de un VE, existen incentivos a la compra, antes (A) y después (D) de la misma, que son más apreciados por los usuarios en comparación con los bajos costos de O&M, los cuales pueden clasificarse en:

- a) Subvenciones en los puntos de venta (A): reducen el precio al momento de la compra del vehículo. Este descuento normalmente es otorgado directamente por parte de las concesionarias o las automotrices;
- b) Exoneración de los impuestos de compra y valor agregado del VE (A): reduce impuesto al valor agregado, o bien lo elimina, o impuesto a la compra de los vehículos eléctricos en comparación a los VMCI. Los impuestos de compra para VE podrían calcularse en base a sus bajos niveles de emisión de CO₂. A su vez, un menor IGV o impuesto a la compra de un VE, debería combinarse con mayores impuestos al VMCI.
- c) Descuentos post-compra (D): buscan reducir los costos durante el uso del VE; se pueden lograr mediante reducciones en los impuestos anuales de propiedad o circulación, peajes, tarifas de estacionamiento, seguros, subsidios a la electricidad, entre otros. Como se dijo en el párrafo introductorio, este enfoque puede ser menos efectivo que los incentivos que reducen el precio de compra, debido a que los consumidores tienen una mayor valoración por los costos de compra que por los anuales.
- d) Créditos al impuesto a la renta (D): permiten reducir el pago del impuesto a la renta al final del año fiscal. Este incentivo sólo es empleado en los EE. UU., donde se otorga un crédito que permite al usuario disminuir la carga tributaria anual.

Según un estudio hecho en EE. UU. (Tal y Nicholas, 2016), los usuarios con mayores niveles de ingresos tendrían una mayor disposición a adquirir los VE, aún si no existiesen los incentivos. Por lo tanto, los estados deberían enfocar los incentivos económicos a aquellos usuarios con menos poder adquisitivo para que puedan acceder a la adquisición de un VE, pensando el programa razonablemente, para que los mismos sean de su alcance - no los de alta gama - y así no les generen un inconveniente a sus finanzas. Entonces, los autos de baja gama deberían recibir un incentivo más alto que los de gama alta.

En el siguiente cuadro se pueden apreciar los tipos de incentivos económicos y los rangos de valor en USD que han venido aplicándose en los países más avanzados en el ámbito de la EM.

País	Subvención en los puntos de venta	Exoneración de impuestos	Descuento postcompra	Créditos al impuesto a la renta	Valor de los incentivos (en USD)
Canadá	x				3850 – 6850
China	x	x			9800
Francia	x	x			1000 – 7000
Alemania	x				5500
Japón	x	x			7800
Países Bajos		x			1110 – 22 000
Noruega		x	x		11 000 – 20 000*
Reino Unido	x				5800
Estados Unidos			x	x	7500 – 10 000**

*Tabla 39 Resumen de Subsidios que se dan en los países pioneros.
Fuente: Hardman et al. (2017). Elaboración: GPAE-Osinergmin.*

Si bien se aprecia en la tabla anterior que la mayoría de estos países ofrece más de un incentivo económico, hoy en día no son suficientes para impulsar la demanda de VE y se deberían combinar con otros no económicos, además de ser complementados con campañas de concientización sobre los VE y sus beneficios.

A su vez, la eliminación de los incentivos debería darse de forma gradual cuando haya una considerable penetración de mercado y cuando la tecnología se haya asentado y avanzado lo suficiente como para ser asequible para la mayor parte de la sociedad.

Instrumentos no económicos

Según observado en los países más avanzados en el rubro de la EM, la magnitud del impacto de los incentivos no económicos en la venta de VE varía entre países. Además, los incentivos no económicos son más efectivos cuando se combinan entre sí, y aún más si se aplican junto con los económicos.

Desarrollo de infraestructura de carga:

Este aspecto es **fundamental**, por eso se ubica como el primero de los instrumentos no económicos de incentivo. Lo ideal sería que, en una primera etapa en cuanto a la elección de los espacios de instalación, los centros de carga estén ubicados en lugares donde el vehículo pasa la mayor parte del tiempo estacionado, como la casa, el trabajo o en espacios públicos con estadías promedio de media o larga duración.

En estos sitios, el Estado debería intervenir dictando reglas claras para garantizar que el acceso y el pago de la recarga se estandaricen a fin de evitar confusiones en los consumidores. En este mismo sentido, los gobiernos nacionales, provinciales y municipales, además de avanzar en una primera etapa contando con su propia red de carga, deberían proporcionar claridad sobre cómo se regularían los posibles negocios de carga de las compañías que no son de servicios públicos.

En una etapa más avanzada, considerando el desarrollo de la red de carga rápida, orientada principalmente a aquellos usuarios que recorren distancias más largas, la inversión privada desempeñará un papel importante. Sin embargo, debido al alto costo de estas estaciones, el interés de las empresas privadas debería ser apoyado hasta cierto punto por el Estado, a fin de reducir el riesgo que afrontarían las mismas, siempre con el mismo objetivo de garantizar el desarrollo de la red de carga en general.

Incentivos en el estacionamiento

Incluyen espacios de estacionamiento gratuito, reservado o preferencial para VE, que, con la combinación de puestos de carga públicos con tarifas igualmente preferenciales, pueden llegar a ser incentivos muy valorados por los posibles compradores de un VE. Incluso si este beneficio fuera ofrecido desde el momento de la compra, como una especie de alianza comercial entre la concesionaria y alguna cadena de estacionamientos que opere en la ciudad en cuestión, sería muy apreciado por alguien que generalmente invierte una suma considerable en estacionamiento en horarios laborables.

Acceso a carriles exclusivos

Este esquema permite que los VE circulen por carriles exclusivos que son destinados para el tránsito de Vehículos de Alta Ocupación o autobuses, lo cual es muy beneficioso en ciudades de gran densidad poblacional, donde el tránsito en las horas pico está altamente congestionado.

Situación comercial actual argentina de los VE y adaptación de los posibles incentivos

El desafío para el Estado Argentino es determinar qué intervenciones son las adecuadas para el país. Por eso se debe evaluar responsablemente la viabilidad, efectividad, duración y condiciones adecuadas para que los instrumentos sean aplicados con transparencia y logren el objetivo

deseado. Es importante identificar qué países más avanzados en la materia tienen características similares a las argentinas para comprender el impacto de los incentivos que aplicaron y si fuera apropiado replicarlos.

En Argentina, la carga impositiva que debe pagar un importador de vehículos es la siguiente:

GASTOS DE IMPORTACION	
1) Precio FOB (precio en origen)	X
2) Precio CIF (Precio en destino)	X
3) Arancel de importación	2,0%
4) Impuestos de Estadísticas	0,5%
5) Agente de Aduanas	0,8%
6) Prepago del Impuesto a la Venta y Ganancias	30%
7) Impuesto auto de lujo (si aplica)	(25%)
8) Impuesto de Sellos	1,5%
9) Retención de pagos	11,0%
10) IMPUESTO A LA VENTA	8,0%
11) IVA	21,0%

Tabla 40 Resumen de carga impositiva a la importación de vehículos en Argentina.
Fuente: Diego Betto, Gerente de Ventas BYD Argentina, Elaboración propia.

3) y 4) aplican sobre el precio CIF y, por el momento, los autos 100% eléctricos importados gozan de una reducción del 35 al 2% del pago del arancel extrazona (3), mientras que los híbridos, en todas sus variantes, al 5%. El gobierno nacional amplió el cupo de importación de vehículos “ecológicos” de 6000 a 7200 unidades para el 2020, hecho que muestra un interés mutuo, del estado y de las automotrices, por promover el desarrollo de las ventas de este tipo de vehículos en el país [2].

Como se puede ver en la tabla 1, la carga impositiva que aplica sobre el precio FOB de un VE supera el 70%, y el 95% en el caso de un VE considerado de lujo.

Particularmente en la Ciudad de Buenos Aires, ya en agosto de 2019 [3] el gobierno de la ciudad publicó mediante una resolución que exige a todos los híbridos y 100% eléctricos que estén radicados en el territorio de CABA, por tiempo indefinido. En la ciudad de Neuquén se implementó una medida similar, pero únicamente por un período de 3 años.

Otros Retos

Existen dos barreras adicionales que dificultan la adopción de VE. Podemos considerar la primera y como la más relevante, la falta de conciencia social y reconocimiento de los VE como una nueva tecnología medioambientalmente más amigable; Esto se comienza a solucionar con una correcta difusión de información que achique la brecha de desconocimiento de los beneficios de los mismos.

Otra barrera se asocia al hecho de cómo atender la necesidad de suministro de energía eléctrica adicional generada por la introducción de VE; en realidad, más precisamente, a la carga de los mismos. La carga adicional derivada del uso de VE podría poner en peligro la confiabilidad del sistema o generar problemas de congestión en la red de distribución. El consumo de electricidad en un hogar podría duplicarse si el automóvil convencional es reemplazado por uno eléctrico.

A nivel del sistema de red eléctrica, si todos los usuarios de VE se conectan en las horas de máxima demanda, se agregaría al sistema una carga importante.

Parte de la solución a este aspecto es particularmente tratado en este trabajo, mediante la generación distribuida, a partir de fuentes renovables de energía. Además, como se trata en el Anexo 5 (Aportes de la Electromovilidad al Sistema Eléctrico), mediante la implementación de redes inteligentes de distribución, otra posible solución sería incentivar mediante tarifas diferenciadas y regímenes de venta de energía, a que los usuarios recarguen los vehículos en las horas de poca actividad y entreguen el excedente en horarios de alta demanda. De esta manera se reduciría la presión por instalar nuevas plantas centralizadas de generación de energía. Está claro que es el Estado quien debe tener en cuenta estas consideraciones y facilitar el contexto para actualizar el sistema eléctrico para las nuevas necesidades.

Notas Anexo 9

¹ Valor verificado en curso de DelftX (2019a): Electric Cars- Introduction. Recuperado de:

<https://www.edx.org/course/electric-cars-introduction-0>

² Información sobre importación de autos eléctricos en Argentina obtenida de:

<https://www.iprofesional.com/autos/308987-el-gobierno-amplio-el-cupo-para-la-importacion-de-autos-hibridos-electricos-y-mild-hybrid>

³ Información sobre beneficio de autos eléctricos de ahorro de patenten CABA obtenida de Revista

Parabrisas: <https://parabrisas.perfil.com/noticias/novedades/los-autos-hibridos-y-electricos-se-ahorraran-hasta-335335-pesos-de-patente-por-ano-ciudad-de-buenos-aires-caba-ecologicos-modelos-verdes.phtml> y Autoblog: <https://autoblog.com.ar/2019/08/06/los-autos-hibridos-y-electricos-no-pagaran-patente-en-la-ciudad-de-buenos-aires/>

Bibliografía

- Alberto García Gorriá, Sept. 2017. Universidad de Cantabria - Tecnologías De Almacenamiento De Energía En La Red Eléctrica-. Recuperado de:
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12027/396460.pdf?sequence=1>
- Carlos G. Tanides, Salvado Gil y Leila M. Iannelli, UNSAM, 2018. Eficiencia energética en el Sector Transporte;
- Folkson, R. (2014). *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance: Towards Zero Carbon Transportation*. Elsevier.
Recuperado de: <https://www.scribd.com/book/282661954/Alternative-Fuels-and-Advanced-Vehicle-Technologies-for-Improved-Environmental-Performance-Towards-Zero-Carbon-Transportation>
- Jing Yang, Bing Zhang, Environment International, Volume 120, November 2018, Pages 443-455, Elsevier. Recuperado de Science Direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018310407>
- L. Iannelli, R. Prieto y S. Gil (2018), VEHÍCULOS HÍBRIDOS A GAS (GNC), Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 41, pp. 27 - 37, 2018 / Impreso en la Argentina / ISSN 0328-932X
- León G. y Benavides H, (2007), IDEAM, Información Técnica Sobre Gases De Efecto Invernadero Y El Cambio Climático. Recuperado de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Nealer, R., Reichmuth, D., y Anair, D. (2015). *Cleaner Cars from Cradle to Grave - How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime Global Warming Emissions*. Recuperado de:
<https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/11/Cleaner-Cars-from-Cradle-to-Grave-fullreport.pdf>
- Papa, E. y Lauwers, D. (2015). En Adaptive mobility: a new policy and research agenda on mobility in horizontal metropolis. *Mobility Governance in Smart Cities of the Future.*, 177-190. doi:10.13140
- Rieck, F. G., Machielsen, C., y Van Duin, R. (2017). Automotive, the Future of Mobility. (págs. 1-14). Stuttgart: EVS30 Symposium. Obtenido de
<https://pdfs.semanticscholar.org/d791/a002aeb9d7c9c32f68b-481cb3d77cd57e802.pdf>
- Schmerler, Daniel; Velarde, José Carlos; Rodríguez, Abel y Solís, Ben (Editores) (2019). Electromovilidad. Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú. Osinergmin. Lima-Perú.

Tal, G., y Nicholas, M. (2016). Exploring the Impact of the Federal Tax Credit on the Plug-In Vehicle Market. Recuperado de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2572-11>

Transport & Environment (2017). Electrofuels What Role in EU Transport Decarbonisation? Recuperado de :
https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_11_Briefing_electrofuels_final.pdf

Woo, J., Choi, H., & Ahn, J. (2017). Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions for electric vehicles based on electricity generation mix: A global perspective. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 51, 340-. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/314216388_Well-to-wheel_analysis_of_greenhouse_gas_emissions_for_electric_vehicles_based_on_electricity_generation_mix_A_global_perspective

Páginas Web y otros textos consultados, no citados:

- a) <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-download>
- b) <https://www.solarpowerrocks.com/affordable-solar/how-much-solar-do-i-need-to-charge-my-electric-car/>
- c) <https://www.infiniteenergy.com.au/can-charge-electric-vehicle-solar-power/>
- d) <https://news.energysage.com/solar-panels-and-electric-cars-can-i-use-solar-to-charge-my-vehicle/>
- e) IRAM AITA 10274-1 - Vehículos de carretera. Eficiencia energética Parte 1 Medición de las emisiones de CO2 y economía de combustible, 2017
- f) <https://insideevs.com/features/402845/gm-battery-not-beat-tesla/>
- g) <https://www.plugincars.com/eight-factors-determining-total-cost-ownership-electric-car-127528.html>
- h) Mark Lewis, BNP Baripass, Agosto 2019. "Wells, Wires and Wheels...", recuperado de: <https://docfinder.bnpparibas-am.com/api/files/1094E5B9-2FAA-47A3-805D-EF65EAD09A7F>
- i) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2017. Resolución 797/17. Certificado de Aprobación de Emisiones Gaseosas.
- j) Guía de para el GESTIÓN EFICIENTE TRANSPORTE AUTOMOTOR DE CARGAS de la República Argentina,
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_eficiente_para_el_transporte_automotor_de_cargas.pdf
- k) <https://movilidadelectrica.com/beneficios-de-la-tecnologia-v2g/>
<https://movilidadelectrica.com/estudio-indica-v2g-perjudicial-las-baterias/>
<https://www.tijd.be/ondernemen/auto/stroom-tanken-tot-80-procent-goedkoper-dan-diesel/10198117>.

Agradecimientos

Salvador Gil (UNSAM)

Damián Strier (UNSAM-FDGSA)

Santiago Jensen (UNSAM-CNEA)

Julio Durand (UNSAM-CNEA)

Claudio Bolzi (UNSAM-CNEA)

Gustavo Cersósimo (EPSA)

Nicolás Pierri (FDGSA)

Hugo Di Tofino (EPEC)

Juan Pablo Zagorodny (VZH)

Diego Betto (BYD)

Familia completa: pareja, hijos, padre, madre y hermanos.