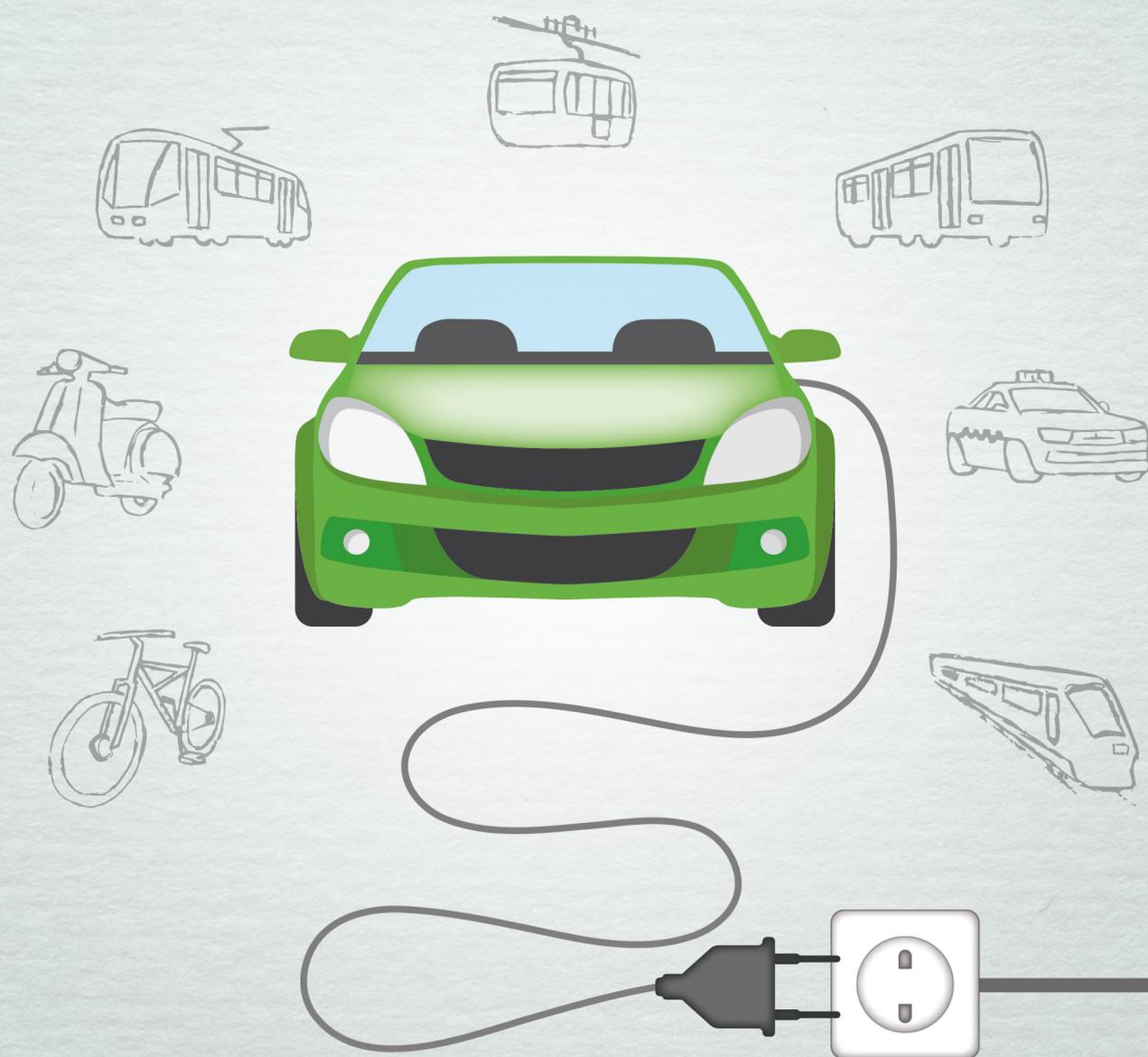


# LA INCORPORACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN AMÉRICA LATINA

JULIÁN A. GÓMEZ-GÉLVEZ • CARLOS HERNÁN MOJICA • VEERENDER KAUL • LORENA ISLA





## Banco Interamericano de Desarrollo – La incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina

**Julián A. Gómez-Gélvez**

Investigador

Washington D.C., EEUU

juliangomezgelvez@gmail.com

**Carlos Hernán Mojica**

Especialista en Transporte – Banco Interamericano de Desarrollo

Washington D.C., EEUU

cmojica@iadb.org

**Veerender Kaul**

Vice Presidente de Investigación Automotriz y Transporte para América del Norte – Frost & Sullivan

San Francisco, EEUU

veerender.kaul@frost.com

**Lorena Isla**

Gerente de Investigación Automotriz y Transporte para América Latina – Frost & Sullivan

Ciudad de México, México

lorena.isla@frost.com

Diseño y diagramación: Aroa Gallego

BIDtransporte@iadb.org

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo  
La incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina / Julián A. Gómez-Gélvez, Carlos Hernán Mojica,  
Veerender Kaul, Lorena Isla.

p. cm. — (Monografía del BID ; 460)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Electric automobiles-Latin America. 2. Transportation-Latin America. I. Gómez-Gélvez, Julián A. II. Mojica, Carlos  
Hernán. III. Kaul, Veerender. IV. Isla, Lorena. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. VI. Serie.  
IDB-MG-460

Código Jel: R40

Palabras Clave: Autos eléctricos, transporte, transporte sostenible, tecnología.

Copyright © 2016 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.



Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco.



# TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. LA TECNOLOGÍA Y SUS PERSPECTIVAS</b>	4
2.1 BREVE HISTORIA	4
2.2 CLASES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	5
2.3 BATERÍAS Y MÉTODOS DE CARGA	6
<b>3. LOS RETOS EN EL MERCADO EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO</b>	9
3.1 COSTOS	9
3.2 COSTO TOTAL DE LA PROPIEDAD	14
3.3 ANSIEDAD SOBRE EL ALCANCE Y LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA	16
3.4 DESEMPEÑO AMBIENTAL	17
3.5 SISTEMAS ELÉCTRICOS	19
3.6 CONCIENCIA SOCIAL	20
<b>4. COSTOS Y BENEFICIOS</b>	22
<b>5. POLÍTICAS DISPONIBLES EN LOS PAÍSES LATINOAMERICANOS</b>	25
5.1 INCENTIVOS FINANCIEROS	25
5.2 INCENTIVOS NO FINANCIEROS	26
5.3 INFRAESTRUCTURA PARA CARGA	27
5.4 REGULACIONES AMBIENTALES	28
5.5 PROMOCIÓN DE INDUSTRIAS LOCALES	30
<b>6. SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES</b>	31
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	33
<b>ANEXO 1: APORTES Y SUPOSICIONES DEL ANÁLISIS DE COSTO TOTAL DE PROPIEDAD</b>	36
<b>ANEXO 2: APORTES Y SUPOSICIONES DE LA EVALUACIÓN DE COSTO-BENEFICIO</b>	39



# 1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos eléctricos (EVs por sus siglas en inglés) son ampliamente considerados por parte del sector del transporte como una tecnología prometedora para la reducción del consumo de energía, de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de contaminación del aire local. Dentro del paradigma actual del transporte sostenible, los vehículos eléctricos se encuentran entre las acciones que incrementan la eficiencia tecnológica de los sistemas de transporte (Banister, 2007). Ellos complementan otros tipos de acciones dentro del mismo paradigma, los cuales intentan reducir la necesidad de viajar (menores viajes y distancias más cortas) o causar un cambio modal desde vehículos de pasajeros

privados a transporte público y modos activos (el uso de bicicleta y caminar).

Las ventas a nivel mundial de los autos eléctricos han incrementado exponencialmente en los últimos cuatro años (Figura 1). A principios de la década actual eran menos de 20,000 unidades las que se vendían, y para finales del 2014, los suministros a nivel global habían aumentado hasta 700,000 (Frost & Sullivan, 2015)<sup>1</sup>. Aproximadamente la mitad de estos suministros pertenecen a los Estados Unidos, un cuarto a Europa y un cuarto a Japón, China y el resto del mundo; la contribución de Latinoamérica a este suministro ha sido marginal.

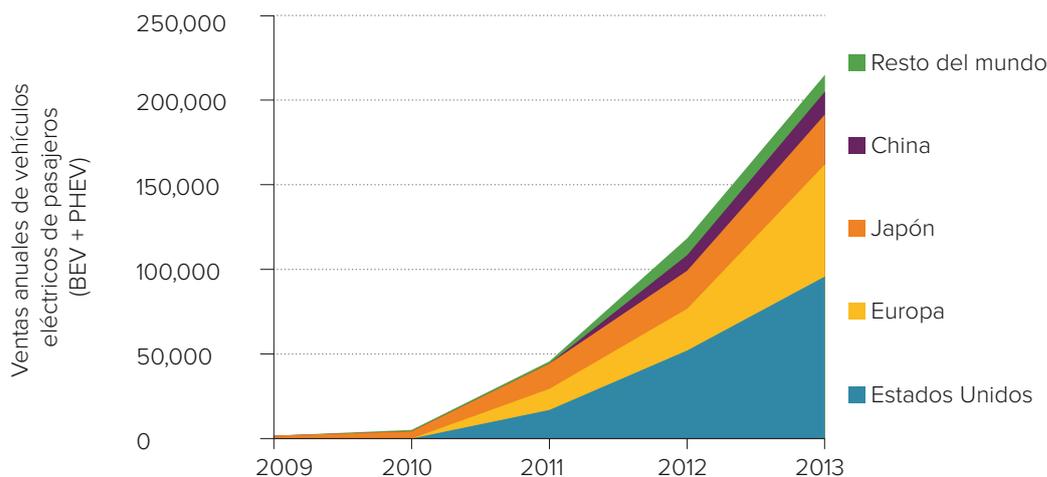


Figura 1.  
Ventas globales de autos eléctricos, 2009-2013.  
Fuente: Mock & Yang, 2014.

Aun cuando las ventas a nivel mundial han alcanzado cifras sin precedentes desde el surgimiento

de los EVs hace más de un siglo, los suministros actuales y la penetración en el mercado aún

1 Estas cifras incluyen solamente vehículos eléctricos enchufables (autos de batería eléctrica con enchufe y vehículos híbridos eléctricos enchufables). Los autos híbridos eléctricos no están incluidos. Las ventas de los autos híbridos eléctricos aumentó considerablemente a principios del siglo XXI. Los valores globales de los autos híbridos eléctricos es de aproximadamente 10 millones. Los diferentes tipos de EVs son descritos en la sección 2.2.



representan menos del 1% del mercado total de vehículos. No está claro todavía si la ola actual de automóviles eléctricos constituye el principio de una implacable transición de combustible a electricidad como fuente de energía para el transporte. Esto se ve apoyado por el hecho que la actual ola de EVs ha sido impulsada en gran medida por apoyo gubernamental a través de la adopción de normas estrictas para regular el consumo de combustible y de emisiones, financiamiento para la investigación y el desarrollo, subsidios a la demanda y otros tipos de beneficios para los dueños de vehículos eléctricos. Los países desarrollados estimulan las ventas de los vehículos eléctricos como una acción que los ayudará a lograr una mayor independencia energética, descarbonar el transporte y alcanzar los objetivos con relación al cambio climático. Aunque estos son objetivos importantes para los países desarrollados, es poco probable que los grandes esfuerzos fiscales para promover los EVs se mantengan por un largo período de tiempo. Si el incentivo público se reduce progresivamente en el futuro, los EVs tendrían que probar ser superiores a los vehículos convencionales de motor de combustión interna (ICEVs por sus siglas en inglés) y superar las barreras de costo y rango de conducción.

En este contexto tan incierto, el panorama de la incorporación de los vehículos eléctricos en Latinoamérica es aún menos claro. América Latina y la mayoría de los países en desarrollo no han implementado políticas públicas que muchos países desarrollados han empleado para estimular las ventas de los EVs, y por consiguiente, su incursión en el mercado se mantiene marginal. Adicionalmente, no está claro si los países de Latinoamérica deben imitar estas políticas y apoyar las ventas de éstos automóviles. Primero que todo, no está claro si los beneficios de los automóviles eléctricos (los cuales incluyen efectos difíciles de monetizar como impactos en la salud, emisiones de GEI e indepen-

dencia energética) compensarían el incremento de su costo, relacionado principalmente con su alto costo de producción en comparación con los vehículos de motor de combustión interna. Además, la promoción de los EVs es quizás el enfoque menos rentable para que los países de América Latina logren una sostenibilidad en el transporte urbano. Se ha argumentado que el reto más importante para las ciudades latinoamericanas en este aspecto es aumentar la calidad del transporte público y modos activos para poder mantener o aumentar sus actuales modelos de transporte compartidos, desafiando la tendencia de aumentar la propiedad de automóviles y utilizar los niveles dictados al aumentar los niveles de ingreso. A pesar de que los vehículos eléctricos son claramente un complemento a las acciones que intentar prevenir el cambio modal hacia los automóviles, los recursos públicos son escasos y deben priorizarse hacia las iniciativas más rentables. Finalmente, la promoción de los automóviles eléctricos puede acelerar los procesos de motorización en las ciudades latinoamericanas. Esto podría exacerbar los problemas de congestión, un fenómeno usualmente conocido como “congestión limpia”. Por ejemplo, un estudio en Noruega (el país líder en términos de penetración de mercado y promoción de vehículos eléctricos) mostró que los propietarios de EVs aumentaron el uso de los automóviles después de comprar los EVs, alejándose del transporte público (Rødseth, 2009; citado por Hjorthol, 2013).

Estas consideraciones previas no implican que los países de Latinoamérica no deberían actuar con respecto al posible despliegue de los EVs en la región. Existen diferentes políticas públicas que los países de América Latina pueden implementar para facilitar la introducción de los vehículos eléctricos sin acelerar el paso de la motorización o sin gastar grandes recursos públicos o privados. Estas políticas pueden preparar a Latinoamérica para aprovechar los beneficios



ofrecidos por éstos automóviles de una manera favorable, especialmente debido a que los costos de fabricación de los EVs disminuirán en las siguientes décadas.

Con el fin de ayudar a esclarecer el panorama de la incorporación de estos automóviles en América Latina, este artículo analiza diferentes características de los países latinoamericanos con respecto a este potencial de incorporación y evalúa los modelos disponibles de políticas. Aunque la tecnología eléctrica puede ser utilizada en todo tipo de vehículos como camionetas, autobuses y motocicletas, este artículo se enfoca en automóviles de pasajeros, los cuales representan la mayor parte de los vehículos en la mayoría de los países<sup>2</sup>. La introducción de los vehículos eléctricos en el mercado automotriz se enfrenta a retos diferentes de aquellos en otros mercados de automóviles. No obstante, la mayoría de los análisis presentados aquí pue-

den ser extendidos a los mercados de otros automóviles.

El resto de este artículo está organizado en cuatro secciones. La sección 2 sintetiza el estado actual de la tecnología eléctrica y sus perspectivas en las próximas décadas. La sección 3 analiza los principales retos del mercado en la introducción de los EVs en Latinoamérica. Esta sección incluye un análisis del costo total de propiedad, el cual compara el costo de consumidores particulares de diferentes tecnologías de vehículos a partir de una perspectiva de ciclo de vida. La sección 4 presenta los resultados de un análisis preliminar de costo-beneficio en la introducción de los automóviles eléctricos en diferentes países de América Latina. La sección 5 evalúa las políticas disponibles para los países de Latinoamérica que facilitan el futuro despliegue de los EVs. La última sección sintetiza las recomendaciones principales para los países latinoamericanos.

2 El término “vehículo eléctrico” (EV) es utilizado a lo largo de este artículo para referirse a los automóviles de pasajeros, a menos que se especifique lo contrario.



## 2. LA TECNOLOGÍA Y SUS PERSPECTIVAS

### 2.1 BREVE HISTORIA

La historia de los EVs data del siglo XIX. El almacenamiento químico de energía eléctrica y los principios del electromagnetismo, desarrollado a principios de siglo por Alessandro Volta y Michael Faraday, sentaron las bases científicas necesarias para su concepción. Sin embargo, no fue sino hasta finales del siglo, después de muchas otras innovaciones en electroquímica y mecánica, que se construyeron los primeros vehículos eléctricos prácticos. Aproximadamente al mismo tiempo, Karl Benz probó el primer vehículo convencional de motor de combustión interna. Los primeros automóviles eléctricos formaron parte de una flota de taxis en ciudades importantes como Londres, Nueva York y París. Las flotas de taxis eran candidatos obvios para empezar la aplicación de los EVs porque las compañías de taxi mantenían las baterías en sus garajes comunes y las distancias recorridas diariamente por los autos estaban dentro del rango de la batería (Høyer, 2008).

Los vehículos eléctricos se volvieron un jugador importante en el mercado automotriz. Se vendieron más que los vehículos de motor de combustión interna de vapor y de gasolina en Estados Unidos en 1990, y sus ventas alcanzaron sus mayores cifras en 1912, con aproximadamente 30,000 unidades vendidas (Høyer, 2008). Sin embargo, los vehículos de motor de combustión interna empezaron a dominar el mercado en esa época, sobre todo con el modelo Ford-T. A pesar de la expansión de la electricidad a los hogares, el establecimiento de estaciones de carga públicas por parte de empresas de suministro de electricidad e innovaciones como sistemas de cambio de batería rápida, vehículos de frenado regenerativo híbridos, los vehículos eléctricos perdieron terreno frente a los vehículos de

motor de combustión interna por cuestiones de costo, alcance de recorrido, velocidad y tiempo de recarga. Los vehículos eléctricos casi habían desaparecido para finales de 1920.

Con la excepción de algunas flotas gubernamentales y comerciales, el interés por los automóviles eléctricos no regresó hasta 1970, debido a la preocupación sobre la contaminación del aire y la crisis del petróleo y de nuevo en 1990, debido al desasosiego sobre el cambio climático y sostenibilidad.

Los vehículos híbridos eléctricos (vehículos que combinan un motor eléctrico y motor de combustión, vea la sección 2.2 para una descripción detallada) empezaron a disfrutar el éxito comercial a final del siglo aprovechando el apoyo gubernamental mediante subsidios de la demanda, financiamiento para investigación y desarrollo y consumo de combustible y regulación de emisiones. Las ventas se concentraron inicialmente en Estados Unidos y Japón con modelos como el Toyota Prius y el Honda Insight. De igual manera, los primeros vehículos eléctricos enchufables exitosos (vehículos que pueden ser enchufados para tomar energía de la red, vea la sección 2.2 para una descripción detallada), aparecieron a principios de la década actual, con modelos como el Mitsubishi i-MiEV y Nissan Leaf. A finales del 2014, las ventas acumuladas globales de los EVs habían excedido los 9 millones de híbridos y 700,000 enchufables y más de 20 modelos de automóviles eléctricos eran ofrecidos en el mercado (Frost & Sullivan, 2015). Latinoamérica ha participado marginalmente en el mercado de los vehículos eléctricos y la mayoría de los modelos de EVs aún no están disponibles a la venta en la región. El apoyo



público a estos automóviles en América Latina ha sido limitado en especial por las iniciativas de flotas de taxis, pero existen diferentes iniciativas de ley que están siendo actualmente promovidas a favor de los EVs en lugar de los vehículos convencionales de motor de combustión interna.

No obstante, el éxito actual a pequeña escala de los vehículos eléctricos no garantiza un éxito a largo plazo, el apoyo del sector público en forma de subsidios de la demanda y otros beneficios

## 2.2 CLASES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Existen cuatro diseños básicos para automóviles: vehículos híbridos eléctricos (HEVs por sus siglas en inglés), vehículos híbridos eléctricos enchufables (PHEVs por sus siglas en inglés), vehículos eléctricos de batería pura (BEVs por sus siglas en inglés) y vehículos de pila de combustible de hidrógeno (FCEVs por sus siglas en inglés). Dado a que solamente los PHEVs y BEVs necesitan enchufarse para cargarse, generalmente se les combina y se les llama vehículos eléctricos enchufables (PEVs por sus siglas en inglés).

Los vehículos híbridos eléctricos combinan un sistema eléctrico, batería y motor eléctrico con un motor de combustión interna. Esta combinación puede priorizar el uso del sistema eléctrico o de la combustión del motor, creando diferentes niveles de hibridación. En cualquier caso, la energía cinética del vehículo es transformada en electricidad para cargar la batería, un proceso conocido como frenado regenerativo o auto recarga. Es decir, los HEVs no necesitan estar enchufados, ellos se recargan automáticamente durante el ciclo de conducción. El rango o alcance de recorrido no es una preocupación para los HEVs, porque es generalmente igual o incluso mayor que el de un vehículo de motor de combustión interna. La reducción de la eficiencia del combustible y las emisiones del tubo de esca-

pe de un HEV en comparación con un vehículo de motor de combustión interna, normalmente varían de 10% a 30%, dependiendo del nivel de hibridación y de la capacidad de energía de la batería, la cual es generalmente entre 1 y 2kWh. Dado que los HEVs no toman energía del sistema eléctrico (es decir, no tienen que estar enchufados) algunas veces son excluidos de la categoría general de EVs, siendo tratados como tecnología que ayuda a los ICEVs a lograr un menor consumo de combustible.

Los PHEVs son la clase de híbrido en los cuales la batería puede ser cargada desde cualquier toma de corriente ordinaria del hogar o de una estación de carga. Los PHEVs corren únicamente con electricidad por unas cuantas millas. Una vez que la cantidad de energía eléctrica se ha agotado, el motor de combustión opera en un modo híbrido, ofreciendo un rango de recorrido más amplio. El rango de recorrido común varía entre 15 y 70 km, dependiendo de la capacidad de energía de la batería, la cual varía de 4 a 20 kWh (Consejo Nacional de Investigación, 2013). La eficiencia del combustible y la reducción de las emisiones del tubo de escape de los PHEVs dependen mucho del ciclo de conducción. Los vehículos híbridos eléctricos pueden ser cargados frecuentemente y el rango de recorrido eléc-



trico puede ser suficiente para el ciclo de conducción diaria en el área urbana. En este caso, las emisiones del tubo de escape y el consumo de combustible son aproximadamente de cero. Por otro lado, si no existen puntos de recarga disponibles, los PHEVs pueden funcionar principalmente con combustible, de manera parecida al rendimiento ambiental de los HEVs. Los PHEVs son considerados una tecnología práctica para la transición entre ICEVs y BEVs.

Los BEVs no tienen un motor de combustión, su propulsión es meramente eléctrica. El rango de recorrido de conducción varía ampliamente entre 80 y 250 km, dependiendo una vez más de la capacidad de energía de la batería, la cual generalmente varía entre 20 y 55 kWh. Por ejemplo, el Nissan Leaf, el vehículo eléctrico de batería más vendido a nivel mundial con más de 120,000 unidades a la fecha, tiene una capacidad de batería de 24 kWh y un margen de conducción de 135 km<sup>3</sup>. Los BEVs son actualmente la principal tecnología competidora en lograr cero emisiones del tubo de escape en los vehículos de pasajeros.

Los vehículos de pila de combustible de hidrógeno también ofrecen cero emisiones del tubo de escape; son similares a los BEV, pero crean electricidad utilizando un sistema de pila de combustible con almacenamiento de hidrógeno a bor-

do. Varios de los fabricantes más importantes de automóviles han anunciado sus planes para introducir los FCEVs al mercado en el 2015. Los retos más importantes para el mercado de los vehículos de pila de combustible de hidrógeno serán el costo de fabricación, el cual es determinado por el costo de la pila de células de combustible, la disponibilidad de la infraestructura de abastecimiento de hidrógeno y la producción y distribución limpia y de bajo costo del hidrógeno. En comparación con los BEVs, los FCEVs tienen dos grandes ventajas: se espera que el rango de recorrido de conducción y el tiempo de reabastecimiento de combustible sean similares al del ICEV (450 km y menor a 5 minutos; Consejo Nacional de Investigación, 2013).

Este artículo se enfoca principalmente en los PEVs (PHEVs y BEVs) como tecnología que ya ha alcanzado un número significativo de ventas a nivel mundial y cuyo despliegue se enfrenta a barreras importantes a causa del uso del sistema eléctrico. Sin embargo, es importante tener en mente que existen otras tecnologías eléctricas que podrían volverse la opción más viable en el futuro, dependiendo del progreso de la investigación. Por lo general, el diseño de políticas para promover los EVs u otros vehículos alternos y combustibles no deberían de intentar escoger una tecnología ganadora, sino facilitar la aparición de nuevas tecnologías (Ahman, 2006).

## 2.3 BATERÍAS Y MÉTODOS DE CARGA

La batería es el factor más importante que tiene influencia en el rendimiento y costo de los PEVs. En los vehículos eléctricos de batería, la batería constituye aproximadamente un tercio del precio de venta. Existen diferentes tipos de baterías dis-

ponibles para su uso en vehículos de pasajeros. Sin embargo, más del 90% de los fabricantes de automóviles actualmente utilizan baterías de iones de litio debido a su rendimiento superior en densidad de energía, vida útil, ciclos de carga y

3 La fuente oficial del gobierno estadounidense sobre la información de energía de combustible [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov)



fiabilidad. Se espera en un futuro previsible que las baterías de iones de litio sean el principal tipo de batería (Consejo Nacional de Investigación, 2013). El costo actual de las baterías de iones de litio para los BEVs es de aproximadamente 400 dólares estadounidenses por kWh y las proyecciones de costo apuntan de 200 a 250 dólares estadounidenses para el 2030 y de 150 a 160 dólares estadounidenses para el 2050. El costo de batería por vehículo eléctrico enchufable es probable que sea de 60 a 70 dólares estadounidenses por kWh más alto que para los BEVs (Consejo Nacional de Investigación, 2013). La reducción esperada en el costo de fabricación de las baterías disminuiría de manera significativa el precio de venta de los PEVs.

Existen tres métodos básicos para cargar los vehículos eléctricos enchufables, los cuales de acuerdo con la terminología utilizada en Estados Unidos, son conocidos como cargadores Nivel 1, Nivel 2 y Corriente Directa (CD)<sup>4</sup>. El Nivel 1 de carga se refiere a enchufar el carro directamente a cualquier toma corriente de 120 voltios del hogar o del lugar de trabajo. Los PEVs generalmente vienen con el juego de cables de carga que se requieren para cargar este tipo de vehículos. Su costo es de entre 800 y 1,000 dólares estadounidenses y no requiere ningún procedimiento de instalación, siempre y cuando el enchufe esté cerca del lugar de estacionamiento. El Nivel 1 de carga es la manera más lenta de cargar un PEV. Por cada hora de carga agrega aproximadamente de 4 a 8 km de rango de conducción; esto significa que cargar un BEV con un rango de recorrido de conducción de 135 km, como el Nissan Leaf, de vacío a lleno tomaría por lo menos 17 horas. Este tiempo tan largo hace que el Nivel 1 de carga sea adecuado solamente para cuando se carga en el hogar

o en el trabajo, donde el automóvil permanece varias horas estacionado.

El Nivel 2 de carga utiliza tomas de corriente de 240 voltios, los cuales también pueden ser encontrados en los hogares o en lugares de trabajo, necesita de una estación de carga (caja y cuerda) la cual debe ser instalada por un electricista certificado. El costo de una estación de carga de Nivel 2 oscila entre los 1,500 y 2,000 dólares estadounidenses. El costo de instalación es de entre 300 y 4,000 dólares estadounidenses, dependiendo de la ubicación de la toma de corriente y los posibles obstáculos (Axssen & Kurany, 2012). La carga de Nivel 2 permite un amplio rango de velocidades de carga, hasta 100 km de rango por hora de carga. No obstante, las actuales limitaciones de potencia de los PEVs y las estaciones de carga permiten una velocidad de carga de aproximadamente 20 km de rango de conducción por hora. Esto implica que cargar un BEV con un rango de conducción de 135 km de vacío a lleno tomaría aproximadamente 7 horas. La carga de Nivel 2 es adecuada para el hogar, el lugar de trabajo o estaciones de carga públicas.

Los cargadores de Corriente Directa (CD) también son conocidos como cargadores rápidos porque son la manera más rápida de cargar un PEV. Una estación de CD opera a 480 voltios y puede proporcionar una velocidad de carga de más de 50 km de rango de recorrido por 10 minutos de carga. Esto implica que un BEV de un rango de 135 km tomaría menos de 30 minutos en cargar de vacío a lleno. El costo de las estaciones de carga de Corriente Directa se encuentra entre los 50,000 y los 80,000 dólares estadounidenses y son utilizadas exclusivamente en lugares públicos.

4 En Europa se utilizan los términos cargadores Modo 1, Modo 2, Modo 3 y DC. Los Modos 1 y 2 son equivalentes al Nivel 1 y el Modo 3 al Nivel 2.



Vale la pena mencionar dos métodos alternativos para los PEVs. El primero es el de Carga Inductiva (CI), el cual utiliza fuerza magnética para transferir la potencia eléctrica a la batería sin necesidad de cables o conexiones. Este método no es tan común hoy en día ya que los PEVs comerciales actuales no incluyen una tecnología de CI incorporado, pero puede convertirse en una opción viable en la próxima década. El segundo método es el cambio de batería, donde la batería descargada es reemplazada con una batería completamente cargada en menos de cinco minutos, lo que evita el esperar a que la

batería se cargue. El cambio de batería generalmente implica que el dueño del vehículo no es dueño de la batería, por lo que se reduce de manera significativa el precio de venta del PEV. Incluso cuando la compañía dedicada al cambio de batería y negocio de carga en Israel, Better Place, se fue a la bancarrota y se cuestionó este modelo de negocio por la alta inversión de infraestructura requerida, este método de carga puede ser una opción viable una vez que los PEVs logren una mejor introducción en el mercado, asumiendo que los vehículos y baterías deben ser estandarizados.

## 3. LOS RETOS EN EL MERCADO EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO

Esta sección describe los principales retos en el mercado que enfrentan los vehículos eléctricos en su introducción al contexto latinoamericano, y la sección 5 sintetiza las políticas disponibles para vencer estos retos. Ambas secciones están estrechamente vinculadas y siguen una organización similar.

A lo largo de estas secciones presentamos ejemplos de retos y políticas específicas en países latinoamericanos, con especial énfasis en seis países: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú. Se espera que estos seis países tengan los mercados más grandes de vehículos eléctricos enchufables dentro de la región

en la próxima década. Frost & Sullivan (2015) estimaron el tamaño del mercado de estos seis países para el 2023. De acuerdo con sus cálculos, las ventas anuales de los vehículos eléctricos enchufables en estos seis países podrían oscilar entre las 52,000 y 220,000 unidades en el 2023, dependiendo de los cambios regulatorios, aceptación del consumidor y el desarrollo de tecnología<sup>5</sup>. Esto representa una penetración del mercado entre 0.3% y 2.5%. En general, el estudio se refiere a Chile y México como los países con el panorama más prometedor, seguido por Brasil, mientras que Colombia, Argentina y Perú solamente tienen un prospecto moderado<sup>6</sup>.

### 3.1 COSTOS

El costo siempre ha sido una preocupación importante para la expansión de los vehículos eléctricos a nivel mundial. El costo de fabricación del motor eléctrico y de la batería de un vehículo eléctrico es significativamente más alto que de un vehículo convencional de motor de combustión interna. Por consiguiente, los precios de venta deben de ser más altos; la Tabla 1 compara el precio de venta sugerido por el fabricante (no incluye impuestos) en los Estados Unidos de algunos modelos de vehículos eléctricos y los modelos de vehículos de motor de combustión interna equivalentes. La tabla muestra los

recargos a los precios que oscilan entre 10% y 30% para los vehículos híbridos eléctricos y entre 50% a 80% para los vehículos eléctricos de baterías. Si el usuario decide comprar junto con el automóvil una estación de carga de Nivel 2, entonces el recargo del precio incrementaría aún más.

Se espera que el costo de fabricación de los vehículos eléctricos disminuya en los siguientes años, sobre todo como resultado de las innovaciones tecnológicas en la producción de baterías. Sin embargo, la siempre creciente demanda

5 Los números específicos para cada país es un escenario optimista: Brasil, 116,000; México, 58,000; Chile, 32,000; Argentina, 7,500; Colombia, 6,500; y Perú, 2,000.

6 El panorama relativo se refiere a la penetración del mercado esperado. El tamaño del mercado es liderado por Brasil debido a que cuenta con una mayor población y mercado total de automóviles (ver pie de página anterior).



de litio para productos electrónicos amenaza con incrementar el precio de las baterías de iones de litio, el cual es el tipo de batería principal para los automóviles eléctricos. Latinoamérica juega un papel importante en este caso, ya que más de la mitad de los depósitos de litio del mundo se

encuentran en el Triángulo del Litio de América del Sur: Argentina, Bolivia y Chile (Frost & Sullivan, 2015). Lo cual representa oportunidades importantes para estos países en términos de promoción de las industrias de producción de baterías de valor añadido local.

CLASE DE EV	VEHÍCULO ELÉCTRICO			VEHÍCULO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA			RECARGO DEL PRECIO
	FABRICANTE	MODELO	PRECIO DE VENTA (USD)	FABRICANTE	MODELO	PRECIO DE VENTA (USD)	
HEV	Toyota	Avalon Hybrid	\$36.470	Toyota	Avalon	\$32.285	12,9%
	BMW	Active Hybrid 5	\$61.650	BMW	528i	\$49.750	23,9%
	Honda	Accord Hybrid	\$29.155	Honda	Accord	\$21.955	32,8%
PHEV	Chevrolet	Volt	\$34.170	Chevrolet	Malibu	\$22.340	52,9%
	Honda	Accord Plug-in Hybrid	\$39.780	Honda	Accord	\$21.955	81,2%
BEV	Mitsubishi	i-MiEV	\$22.995	Mitsubishi	Mirage	\$12.995	76,9%
	Chevrolet	Spark EV	\$26.670	Chevrolet	Spark	\$12.270	117,3%
	Nissan	Leaf	\$29.010	Nissan	Versa	\$11.990	141,9%

Tabla 1.  
Comparación de precio de venta (no incluye impuesto) entre EVs y ICEVs.  
Fuente: [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov).

Además de la diferencia causada por los altos costos de fabricación, los impuestos locales y nacionales tienden a amplificar la brecha de precios entre los vehículos eléctricos y los vehículos de motor de combustión interna, a menos que la estructura tributaria favorezca los vehículos eléctricos. La Tabla 2 muestra los impuestos que serían aplicados a los EVs para comercialización en seis de los mercados automotrices más grandes de América Latina; los impuestos al valor agregado y

a la importación son los componentes principales de la estructura tributaria. En Argentina y Brasil, los automóviles eléctricos estarían sujetos a una estructura tributaria más alta, asumiendo que los EVs no son fabricados en Brasil (por lo tanto están sujetos a impuestos de importación). En México y Colombia la estructura tributaria favorecería a los vehículos eléctricos por exención de consumo e impuestos por nuevos vehículos respectivamente. En Chile y Perú las estructuras tributarias son las

mismas, por ende el incremento en la brecha de precios en términos absolutos entre los vehículos eléctricos y los vehículos de motor de combustión interna. Adicional a los impuestos que incrementan la diferencia en el precio de venta entre

los EVs y los ICEVs, los impuestos de propiedad anuales por lo general tienden también a desfavorecer a los vehículos eléctricos, ya que este tipo de impuesto depende por lo regular del precio del vehículo.

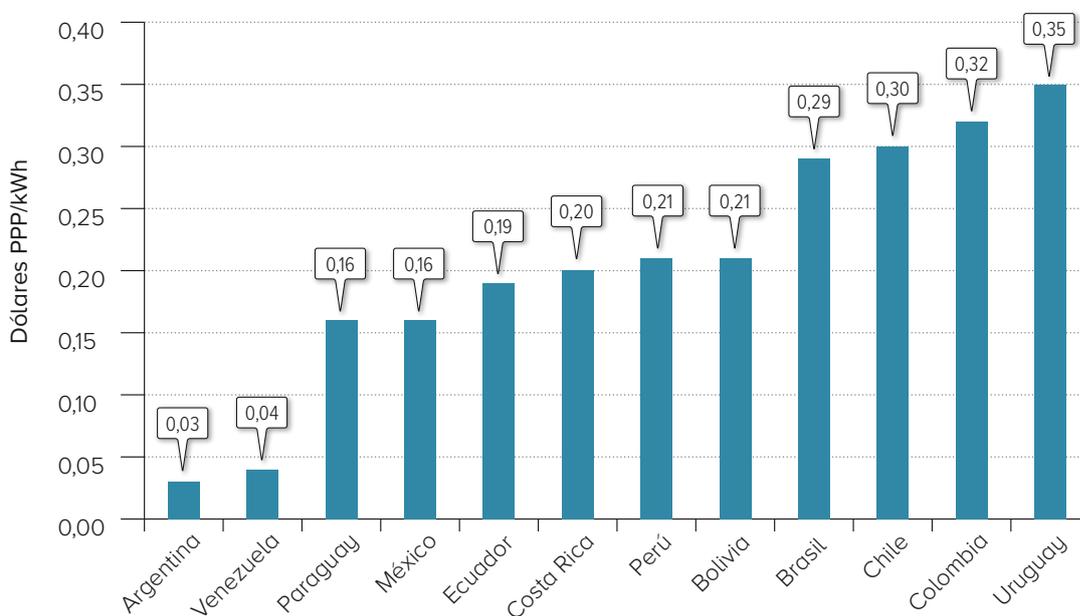


Figura 2.a – Precio de electricidad residencial.

Fuente: Sistema de Información Energética Regional – Organización Latinoamericana de Energía, 2011. Las tasas de compras de energía del Banco Mundial.

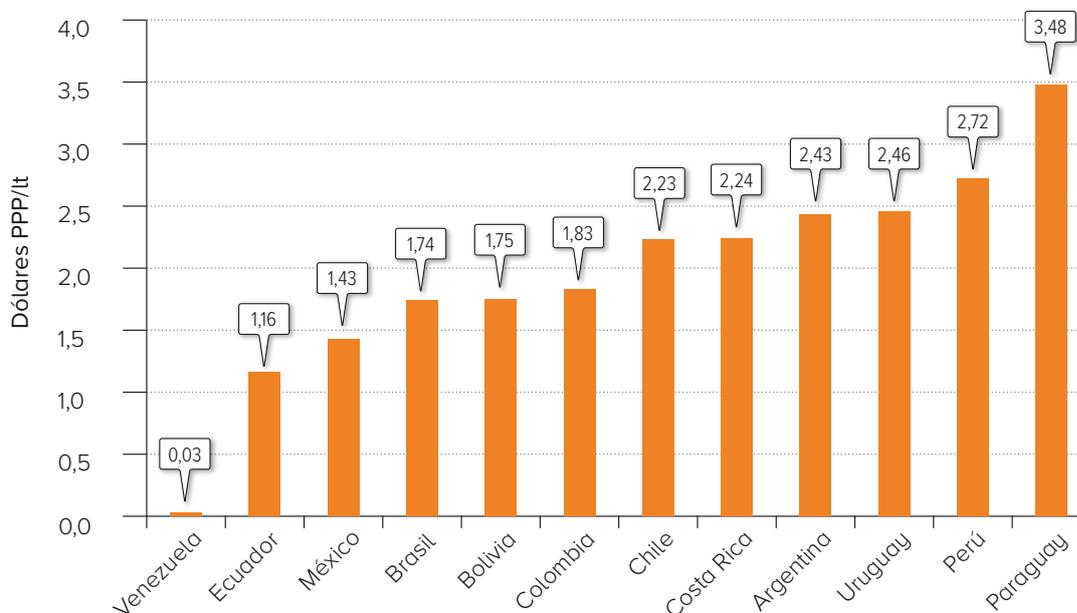


Figura 2.b – Precio de la gasolina.

Fuente: Agencia Alemana para la Cooperación Internacional – GIZ, 2012. Las tasas de compras de energía del Banco Mundial.



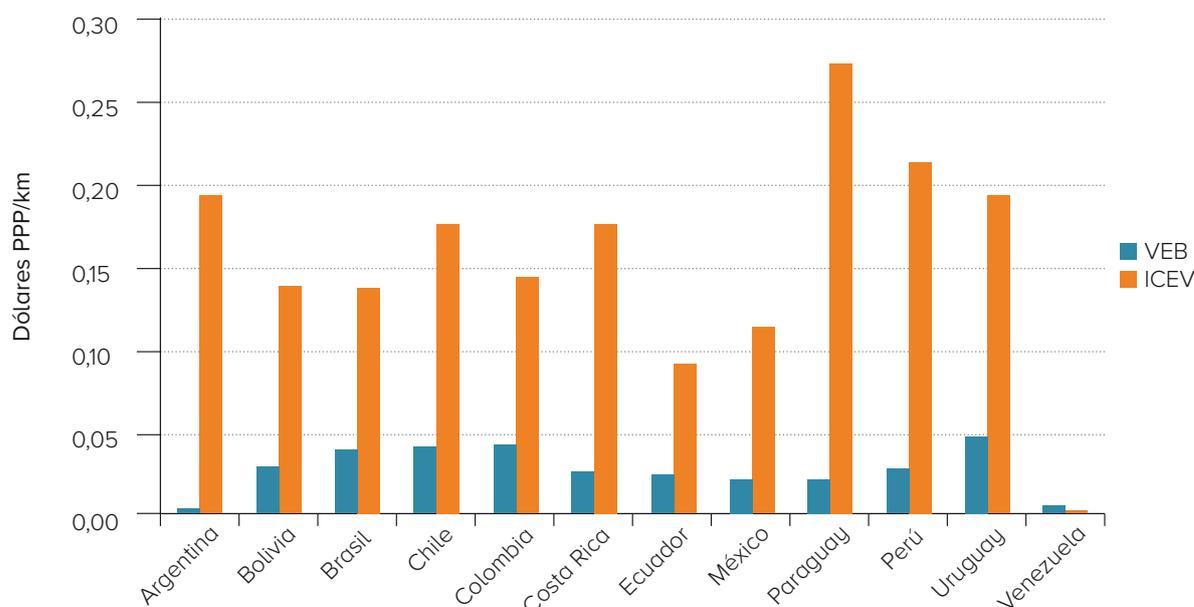


Figura 2.c – Precio de energía por kilómetro.

Fuente: Elaboración propia basada en los datos presentados en figuras 2a y 2b. Las tasas de compras de energía del Banco Mundial.

Por el contrario, el costo operacional de los vehículos eléctricos tiende a ser menor que el de los vehículos de motor de combustión interna por dos razones principales: la primera es el costo de mantenimiento de un sistema de propulsión eléctrica que es generalmente menor al del motor de combustión<sup>7</sup>. La segunda razón y más importante, es que el costo del consumo de combustible es usualmente más alto que el costo del consumo de electricidad. Esta diferencia depende de los precios locales del combustible y la electricidad. La gran mayoría de los vehículos de motor de combustión interna utiliza gasolina y se espera que los EVs utilicen la mayoría de la electricidad de las tomas de corriente del hogar. En este sentido la Figura 2 compara los precios de la electricidad

residencial y la gasolina en diferentes países latinoamericanos. Al comparar el precio del consumo de energía (combustible o eléctrica) por kilómetro (parte c de la Figura 2) está claro que los vehículos eléctricos de batería logran importantes ahorros en comparación con los vehículos de motor de combustión interna, excepto en Venezuela, donde el precio de la electricidad es mayor<sup>8,9</sup>. La reducción en los precios de energía varía desde más del 90% en países como Paraguay y Argentina (alcanzando un 98% en Argentina) a un 70% en países como Brasil, Colombia y Ecuador. Esta reducción puede implicar ahorros significativos para los propietarios de vehículos, dependiendo del nivel del uso del auto (es decir, el número de kilómetros por año).

7 En el caso de los HEVs y PHEVs, el costo total de mantenimiento puede ser más alto porque ambos tienen un motor eléctrico y un motor de combustión.

8 Con el fin de comparar los costos de energía por kilómetro, se asumió que los ICEV tiene un consumo de combustible de 0.0784 lt/km (30 mpg, consumo aproximado de combustible de un Nissan Versa) y que el consumo de electricidad de los BEV es de 0.133 kWh/km (consumo aproximado de combustible de un Nissan Leaf).

9 Aunque el precio de la energía en Venezuela es cerca del doble para un BEV en comparación con un ICEV, ambos precios son relativamente bajos en comparación con otros países (ver Figura 2.c). Claramente esto se ve influenciado de gran manera por los subsidios del gobierno para el combustible y la electricidad.

	ARGENTINA		BRASIL		CHILE		COLOMBIA		MÉXICO		PERÚ	
IMPUESTO	ICEV	EV	ICEV	EV	ICEV	EV	ICEV	EV	ICEV	EV	ICEV	EV
IMPUESTO AL IMPORTE	0,5% <sup>2</sup>	35,5% <sup>3</sup>	0%	35% <sup>5</sup>	6%	6%	35%	35% <sup>8</sup>	0%	0%	9%	9%
VALOR AGREGADO	41%	41%	43% <sup>6</sup>	43% <sup>6</sup>	19%	19%	16%	16%	16%	16%	17%	17%
OTRO	8,5%	58,5% <sup>4</sup>	11,6% <sup>7</sup>	11,6% <sup>7</sup>	0%	0%	8% <sup>9</sup>	0%	4% <sup>10</sup>	0%	37% <sup>11</sup>	37% <sup>11</sup>
TOTAL (SUMA) <sup>1</sup>	50%	135%	54,6%	89,6%	25%	25%	59%	51%	20%	16%	63%	63%

Tabla 2.

Estructura tributaria para los vehículos eléctricos en seis países latinoamericanos.

Fuente: Frost & Sullivan, 2015.

**1** Esta es una suma aritmética de los diferentes impuestos. Sin embargo, algunos impuestos se combinan con otros, por lo que el precio total puede ser mayor al de esta suma. Esta suma aritmética está incluida en esta tabla como referencia para comparar el peso relativo de las estructuras tributarias en países diferentes.

**2** 0.5% impuesto de estadística. Asume que un automóvil es fabricado en Brasil por lo que no tiene que pagar impuesto de importación.

**3** Incluye un 0.5% en impuesto de estadística que no aplica para vehículos híbridos. Asume impuesto de importación completo (sin producción de EVs en Brasil). Se permitió una cuota de 200 híbridos eléctricos y otros vehículos de energía alterna se permitieron importar con un importe de 2%.

**4** Incluye un 50% de impuesto para artículos suntuosos (cargado a vehículos de motor de pasajeros con un valor de importe mayor a los 20,000 dólares estadounidenses aproximadamente), un 6% del impuesto sobre la renta y un 2.5% de impuesto sobre los ingresos brutos.

**5** Asume que los EV no son fabricados en Brasil.

**6** Incluye un 25% de impuesto federal sobre el valor agregado (IPI por sus siglas en inglés) y un 18% de impuesto de valor añadido al impuesto estatal (ICMS por sus siglas en inglés). El IPI puede incrementar un 30% si el fabricante no cumple con los requisitos establecidos por el programa de incentivo Inovar-Auto (ver sección 5.4).

**7** Incluye PIS y COFINS contribuciones sociales a un 2% y 9.6% respectivamente.

**8** Una cuota de 750 vehículos híbridos y eléctricos de pasajeros pueden ser importados con un 0% de importe hasta el 2015.

**9** Los ICEVs están sujetos a un 8% o 16% de impuesto de consume según el precio del vehículo.

**10** Los ICEVs están sujetos a un impuesto de vehículo nuevo (ISAN por sus siglas en inglés), el cual oscila entre el 2% y 17% dependiendo del precio del vehículo.

**11** Incluye un 30% de impuesto selectivo al consumo (ISC por sus siglas en inglés), un 5% de impuesto sobre la percepción general en las ventas y un 2% de impuesto de promoción municipal.



## 3.2 COSTO TOTAL DE LA PROPIEDAD

Con el fin de cuantificar la diferencia del costo entre los vehículos de motor de combustión interna, vehículos híbridos eléctricos y los vehículos híbridos de batería desde una perspectiva de ciclo de vida, la Figura 3 muestra los resultados del análisis costo total de propiedad (CTP) en seis países de América Latina<sup>10</sup>. Este análisis incluye costos de compras, propiedad y los costos de funcionamiento durante un período de 8 años.

Los automóviles evaluados en el análisis son el Honda Civic (vehículo de motor de combustión interna ICEV), el Toyota Prius (vehículo híbrido eléctrico HEV) y el Nissan Leaf (vehículo híbrido de batería BEV). El Honda Civic y el Toyota Prius se encuentran entre los vehículos más comunes de su clase en Latinoamérica mientras el Nissan Leaf es actualmente el vehículo híbrido eléctrico más vendido a nivel mundial, pero se encontraba disponible para su venta solamente en México al momento en el que se llevó a cabo el análisis. Los precios de venta (sin impuestos) de estos modelos en cada país fueron obtenidos de los sitios de internet locales (en algunos casos donde fue posible). Debido a que el Nissan Leaf solo se vendía en México, el precio de venta en los otros países fue un estimado utilizando un rango de precio encontrado en México entre el Toyota Prius y el Nissan Leaf. El Toyota Prius estaba dis-

ponible para su venta en todos los países excepto en Colombia. El precio de venta del Toyota Prius en Colombia se estimó utilizando un rango de precio encontrado en Perú entre el Honda Civic y el Toyota Prius<sup>11</sup>.

Debido a estos supuestos y al hecho que el mercado para los vehículos híbridos eléctricos y los vehículos eléctricos de batería está en una etapa incipiente en los países latinoamericanos, este análisis de costo total de propiedad debe ser entendido como un análisis preliminar, especialmente para el Nissan Leaf. El Anexo 1 presenta los principales aportes y otras suposiciones utilizadas en el análisis.

Los resultados muestran que la reducción en los costos de funcionamiento (energía, mantenimiento y reparaciones) obtenidos por los HEVs y los BEVs no compensa su más alto costo de compra en comparación con los ICEVs. El costo total de propiedad de los HEVs y BEVs es mayor a los ICEVs en todos los países. La diferencia es mayor para los BEVs que para los HEVs. La diferencia de los HEVs oscila entre 6.5% en México y 26.4% en Perú (casi 2,300 y 12,000 dólares estadounidenses respectivamente), con la excepción de Argentina, donde la diferencia es sumamente alta (172% o 88,000 dólares estadounidenses)<sup>12</sup>. La diferencia de

10 El análisis CTP está basado en el trabajo hecho por Frost & Sullivan (2015).

11 Perú fue tomado como referencia por ser el país más cercano a Colombia, por lo que proporciona la referencia más cercana en cuanto a costos de transportación.

12 Las grandes diferencias encontradas en Argentina son principalmente el resultado del alto precio de venta (sin impuestos) para el Toyota Prius (42,000 dólares estadounidenses) en comparación con el Honda Civic (20,000 dólares estadounidenses). Esta diferencia es mucho más grande que en otros países. El precio más elevado que el promedio para el Toyota Prius en Argentina es probablemente el resultado de las condiciones especiales del mercado emergente de los vehículos híbridos eléctricos (un bajo número de minoristas que ofrece modelos de HEVs). Conforme los HEVs y BEVs consiguen una mayor introducción en el mercado, es más probable que las diferencias en los precios sean similares en todos los países.

Los BEVs oscila entre 55% en México y 87% en Perú (alrededor de 19,000 dólares estadounidenses y 35,000 dólares estadounidenses

respectivamente), de nuevo con la excepción de Argentina, donde la diferencia es de 320% (163,000 dólares estadounidenses).

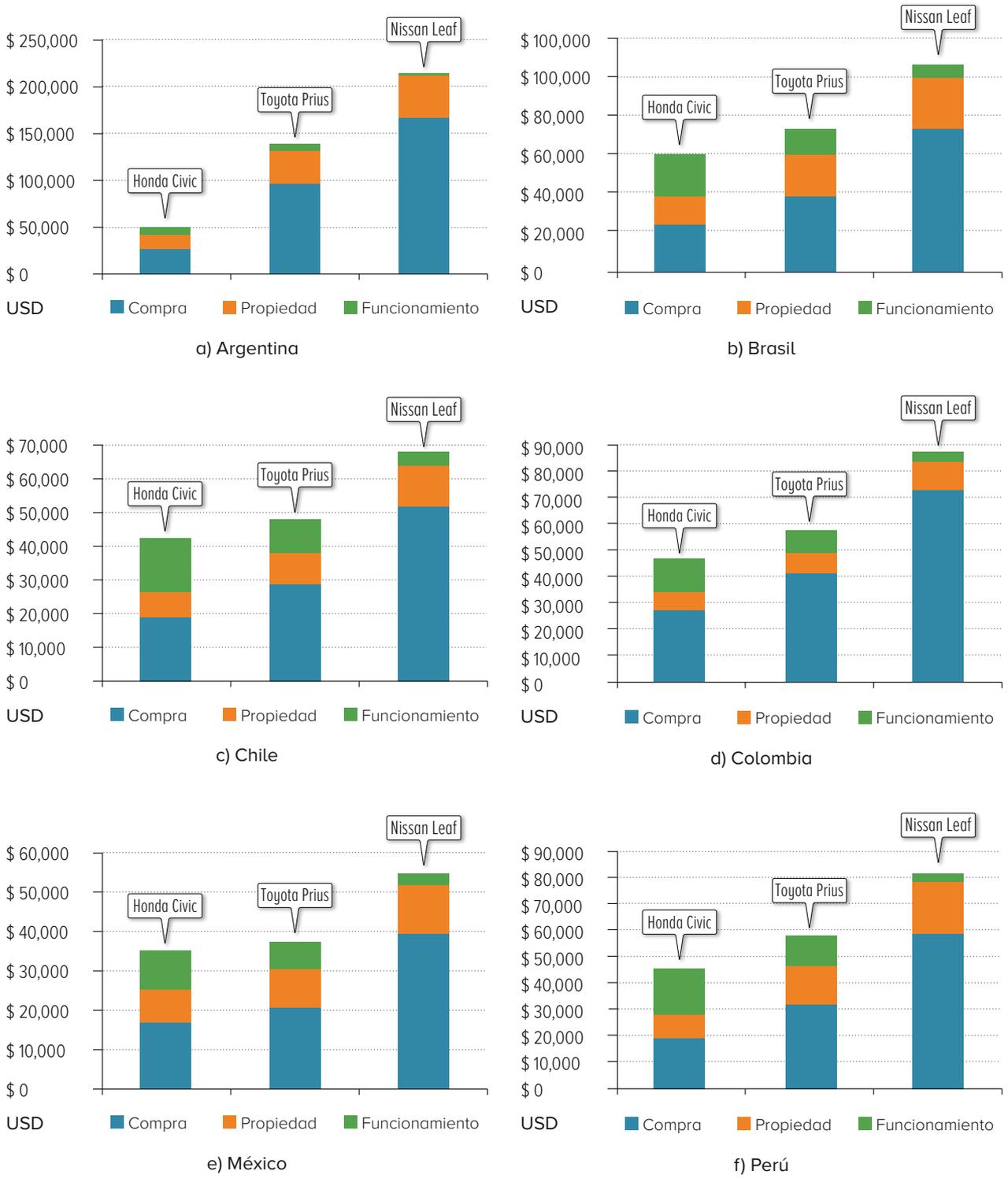


Figura 3.

Comparación del costo total de propiedad para los ICEV, HEV y BEV en seis países latinoamericanos.

Fuente: Autores basados en Frost & Sullivan, 2015.



Estas diferencias indican que los vehículos híbridos eléctricos requerirían un incentivo mucho menor a los vehículos eléctricos de batería para que puedan competir en términos de costos con los ICEVs. Los vehículos híbridos eléctricos pueden incluso lograr incursiones más significativas en el mercado sin incentivos específicos, especialmente entre consumidores con características que beneficiarían aún más a los EVs, como el alto nivel de autos usados o la concientización acerca de la huella de carbono, y en países donde la diferencia del costo total de la propiedad es demasiado pequeña como México y Chile. Por el contrario, es probable que la incursión en el mercado de los EVs no vaya más allá de algunos cuantos entusiastas de la tecnología a menos que los incentivos sustanciales estén implementándose. De acuerdo con los resultados previos, dichos incentivos deberían ascender por ejemplo a 19,000 dólares estadounidenses en México y a 45,000 dólares estadounidenses en Brasil en un periodo de 8 años con el objetivo de equiparar los costos de los BEVs y los ICEVs. Estos incentivos pueden ser financieros (como exención de impuestos o devoluciones) o no financieros (como acceso a carriles de prioridad). La sección 5 describe los diferentes tipos de políticas disponibles.

El esperado descenso en el costo de fabricación de los vehículos eléctricos de batería en las siguientes décadas reduciría el nivel requerido de incentivos. Por ejemplo, una caída del 20% en el precio de venta del Nissan Leaf<sup>13</sup> reduciría la cantidad de incentivos requeridos para equiparar los costos entre los vehículos eléctricos de batería y los vehículos de motor de combustión interna a 8,000 dólares estadounidenses en México y a 25,000 dólares estadounidenses en Brasil. No obstante, en este caso, se requeriría una cantidad importante de incentivos para superar las barreras de costo de los BEVs para los consumidores particulares. Adicionalmente, la cantidad de incentivos debería ser más alta considerando que los vehículos eléctricos de baterías y los vehículos eléctricos enchufables en general, se enfrentan a otros retos para su expansión en el mercado, tales como el alcance y tiempo de recarga, los cuales reducen la utilidad de los vehículos eléctricos enchufables en comparación con los vehículos de motor de combustión interna. La siguiente sección describe estos y otros retos del mercado que deben ser abordados si los PEVs son expandidos a una escala masiva.

### 3.3 ANSIEDAD SOBRE EL ALCANCE Y LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA

Las investigaciones internacionales han mostrado que la ansiedad sobre el alcance o el miedo a quedarse varado debido a una batería agotada, es una de las barreras principales en la adopción de vehículos eléctricos enchufables (Hjorthol, 2013; Lieven y colaboradores, 2011). El típico alcance de conducción eléctrico es entre los 15 y 70 km en un vehículo híbrido eléctrico

enchufable y entre 80 y 250 km en un vehículo eléctrico de batería. Este alcance puede ser suficiente para uso diario urbano, dependiendo sobre todo de la distancia del viaje. En este sentido, las ciudades latinoamericanas son adecuadas para los EVs, ya que generalmente tienen medianas o altas densidades y distancias relativamente cortas (Kenworthy & Laube, 2002).

13 Esta es una disminución importante. No es común que una disminución de esta magnitud se logre en menos de una década y sin una introducción en el mercado importante que introduzca las economías de escala en el proceso de fabricación.



Existen dos maneras principales en las cuales la ansiedad sobre el alcance puede reducirse para los posibles clientes. La primera es incrementando el rango de carga de electricidad para los vehículos eléctricos enchufables, esto puede lograrse hoy en día al aumentar la capacidad de energía de las baterías, pero esto significaría un aumento significativo en el precio del automóvil. A largo plazo, se espera que las investigaciones sobre las nuevas tecnologías y materiales incrementen la capacidad de carga de energía de las baterías a un precio más bajo.

La segunda manera de reducir la ansiedad sobre el alcance es aumentando la disponibilidad de puntos de carga. Existen tres ubicaciones principales de carga para los vehículos eléctricos enchufables: residencial, en el lugar de trabajo y estaciones públicas. La disponibilidad de estaciones de carga residencial es generalmente considerada como una condición previa para un posible usuario de PEVs y el tipo de vivienda es generalmente un buen indicador de esta disponibilidad. Un estudio en Estados Unidos encontró que un 59% de las familias que residen en una vivienda unifamiliar tuvo acceso a una toma de 120 voltios en su estacionamiento, mientras que tan solo 17% de las familias que residen en un apartamento lo tuvo (Axsen and Kurani, 2012). Es probable que este patrón sea similar en Latinoamérica. Sin embargo, el porcentaje de familias que residen en apartamentos es generalmente más alto en las ciudades de América Latina, especialmente entre los residen-

tes de ingreso alto. Por ejemplo, cerca del 70% de las familias en los tres estratos socioeconómicos más altos en Bogotá residen en apartamentos (Secretaría Distrital de Movilidad, 2011). Los lugares de trabajo suelen ser incluso más concentrados en unidades multifamiliares. Esto implicaría un potencial menor para las ventas de vehículos eléctricos.

Además de la disponibilidad residencial y del lugar de trabajo, una red de estaciones públicas de carga rápida (CD) es la mejor forma para incrementar la disponibilidad de los puntos de carga para los PEVs y reducir la ansiedad, especialmente para los viajes interurbanos. Algunos estudios han encontrado que se requiere un número relativamente bajo de estaciones de carga para proveer una cobertura nacional (2,000 estaciones en el caso del Reino Unido; Element Energy, Ecolane y la Universidad de Aberdeen, 2013). Sin embargo, el desarrollo de este tipo de red generalmente se enfrenta a un dilema similar al de “¿qué fue primero: el huevo o la gallina?”, ¿debería la red desarrollarse primero para facilitar la expansión de los EVs o el uso de los vehículos tiene que ocurrir antes para evitar estaciones vacías? Las experiencias pasadas con este dilema, como en el caso de los vehículos de motor de combustión, muestran que ambas expresiones tienden a ocurrir de manera simultánea, a menos que el gobierno haga una fuerte inversión en el desarrollo de la estructura de carga (IEA y Ministerial de Energía Limpia, 2013).

### 3.4 DESEMPEÑO AMBIENTAL

Los avances en la reducción de emisiones del tubo de escape logrados por los vehículos eléctricos son solamente uno de los muchos beneficios. De hecho, la actual ola de vehículos híbridos eléctricos ha sido apoyada en gran medida por las regulaciones en emisiones y consumo

decombustible a nivel mundial. A pesar que los avances tecnológicos para los vehículos de motor de combustión interna les han permitido lograr importantes reducciones en el consumo de combustible y emisiones, las tecnologías completamente eléctricas pueden ser el único



camino para lograr estándares ambientales sumamente bajos, especialmente con respecto a las emisiones de GEI y consumo de combustible.

Las emisiones de los tubos de escape son fundamentales en términos de contaminantes locales que afectan la salud humana, tales como partículas y óxidos de nitrógeno. No obstante, la reducción de emisiones de GEI debe de ser evaluada desde una perspectiva *well-to-wheel* (WTW por sus siglas en inglés, es una técnica de análisis del ciclo de vida utilizado en el transporte) la cual también considera las emisiones causadas en la generación y distribución de electricidad de los vehículos eléctricos enchufables. Los estudios de la WTW han

concluido que los beneficios de los GEI en los PEVs dependen en su gran mayoría de la fuente utilizada para la producción de energía. En el caso de la producción de electricidad a base carbón, las emisiones de GEI en los PEVs son similares a los ICEVS de gasolina convencional o diésel (Van Vliet y colaboradores, 2011). En el otro extremo, fuentes renovables de electricidad podrían reducir el número total de emisiones a casi cero. Adicionalmente, las emisiones de GEI de generación eléctrica para los vehículos eléctricos enchufables dependen de si fueron cargados durante hora pico o no de consumo de electricidad. Si son cargados fuera de las horas pico entonces se reduce la necesidad de brindar energía adicional (ver sección 3.5).

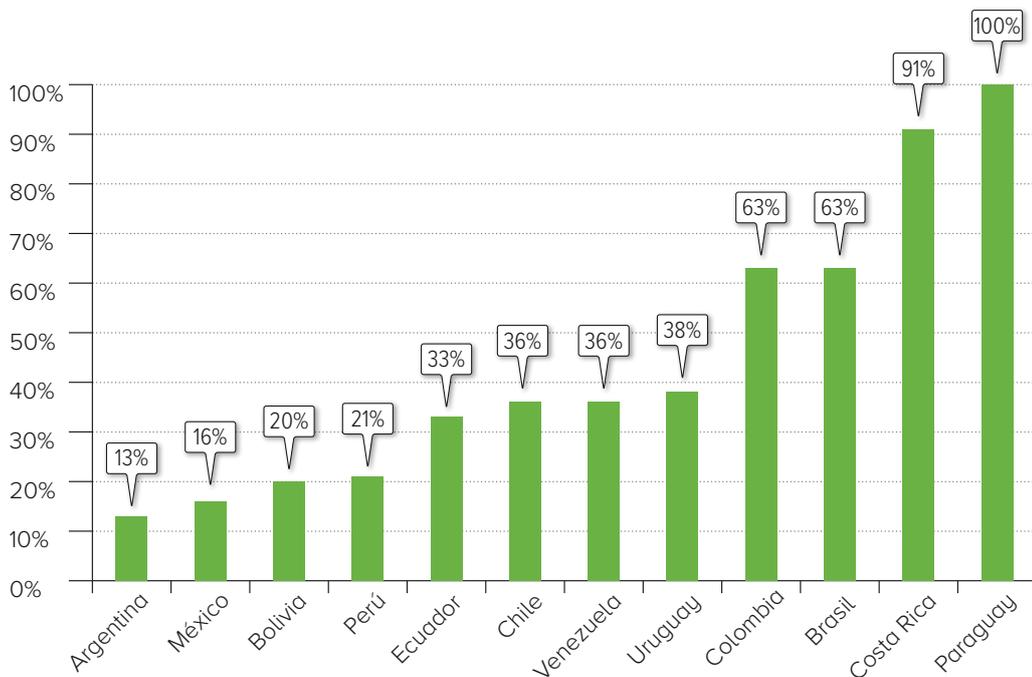


Figura 4.

Porcentaje de recursos renovables para la producción de electricidad.

Fuente: Centro de Innovación Energética – Banco Interamericano de Desarrollo, 2012.

La Figura 4 muestra el porcentaje de fuentes renovables utilizadas para la producción de electricidad en diferentes países latinoamericanos<sup>14</sup>. En

general, América Latina es una región con un alto porcentaje de uso de fuentes renovables debido a la importante contribución de la hidroelectrici-

14 Hidráulica, geotérmica, solar, eólica, biocombustibles y desechos se incluyen como fuentes renovables.

dad; países como Paraguay, Costa Rica, Brasil y Colombia podrían lograr importantes reducciones de emisiones de GEI en el transporte adoptando la tecnología de vehículos eléctricos. Otros países como Argentina, México y Bolivia, los cuales dependen del gas y petróleo como fuentes de energía, lograrían reducciones mucho más modestas.

Otro aspecto favorable al medio ambiente de los vehículos eléctricos es que reducen el ruido en comparación con los vehículos de motor de combustión interna, porque la operación eléctrica pura es prácticamente libre de ruido y porque los motores de combustión en los vehículos híbridos eléctricos y los vehículos híbridos eléctricos enchufables se reducen. Desafortunadamente si hacen menos ruido es un riesgo potencial para los peatones y los ciclistas ya que pueden no notar que se acerca un automóvil eléctrico, sobre todo a baja velocidad. La Agencia Nacional de Seguridad de las Carreteras de Estados Unidos (National Highway Traffic Safety Administration of USA) encontró que los vehículos híbridos eléctricos son más propensos a verse involucrados en un choque con

una bicicleta o peatón que los ICEVs, con índices de probabilidad de 1.35 y 1.75 respectivamente (Wu, Austin & Chen, 2011). Actualmente varios países se encuentran explorando legislaciones para solicitar un mínimo nivel de sonido para los vehículos eléctricos a baja velocidad (aproximadamente por debajo de los 30 km/h).

Un posible impacto ambiental negativo de los vehículos eléctricos es la formación de subproductos tóxicos durante la fabricación de baterías y después de su uso. De hecho, este fue el problema ambiental más inaceptable identificado por posibles usuarios de automóviles eléctricos en Hong Kong (Delang & Cheng, 2012). Esto requiere importantes medidas de tratamiento y reciclaje de desechos. Sin embargo, actualmente el reciclaje de las baterías de iones de litio no es rentable, ya que cuesta más reciclarlas que minarlas (Frost & Sullivan, 2015). A menos que el litio se vuelva escaso, el reciclaje será impulsado por leyes ambientales. Esto presenta un gran reto para los países de América Latina en términos de la posible introducción de vehículos eléctricos a la región.

## 3.5 SISTEMAS ELÉCTRICOS

Una ventaja importante en la expansión de los vehículos eléctricos enchufables es que la mayoría de los países de Latinoamérica ya cuentan con un sistema maduro y robusto para la generación, transmisión y distribución de la electricidad, con una amplia cobertura, especialmente en áreas urbanas. Este no es el caso para los vehículos de pila de combustible de hidrógeno (FCEVs), por ejemplo, ya que requerirían de un alto capital de inversión para establecer la producción y distribución de hidrógeno y la infraestructura de combustible.

No obstante, la demanda adicional de electricidad causada por la introducción de los vehí-

culos eléctricos enchufables podría requerir la expansión de los sistemas eléctricos actuales. Por ejemplo, un estudio en el estado de Sao Paulo, encontró que cada incremento del 10% en el porcentaje de BEVs en el total de flota de vehículos de pasajeros incrementaría el total de la demanda eléctrica en el estado por aproximadamente 2% (Dias y colaboradores, 2014). Esto no es un efecto menor. Esto implica que una transición completa de BEVs incrementaría la demanda de electricidad por un 20%. Afortunadamente, este resultado no implica necesariamente que los sistemas eléctricos necesitarían expandirse por un 20% en dicho escenario. Las demandas eléctricas varían



según la hora del día, por lo que hay generalmente un exceso de capacidad durante los periodos fuera de hora pico (tarde en la noche y temprano en la mañana). Si los vehículos eléctricos enchufables se cargan sobre todo durante los periodos fuera de hora pico, la demanda de electricidad puede ser suministrada sobre todo con este exceso de capacidad. Por ejemplo, un estudio en los Países Bajos encontró que si se introduce de manera exitosa la carga fuera de hora pico, incluso si se cambia a conducción eléctrica 100% no se requeriría una capacidad de generación adicional (Van Vliet y colaboradores, 2011). Además la carga fuera de hora pico permitiría un manejo de electricidad más eficiente reduciendo la necesidad de encender y apagar generadores durante el día (M.J. Bradley & Asociados LLC, 2013).

El método más común para promover la carga fuera de horas pico es introduciendo un precio por el tiempo de uso, donde se cobra una tarifa menor si se carga fuera de las hora pico. Esto incentivaría a los dueños de vehículos eléctricos enchufables a cargar en sus casas durante las noches utilizando los métodos de carga de Nivel 1 o Nivel 2, en lugar de cargar en las estaciones públicas durante las hora pico utilizando el

método de carga de CD; lo que suavizaría el impacto en el sistema eléctrico. Algunas compañías de servicios públicos en los países de América Latina ya están utilizando ese método por tiempo de uso (Frost & Sullivan, 2015).

Las futuras tendencias proponen una mejor integración entre los vehículos eléctricos enchufables y los sistemas eléctricos. La tecnología del vehículo a la red (V2G por sus siglas en inglés) permitiría a los PEVs comunicarse con la red eléctrica para funcionar como dispositivos de almacenamiento de energía distribuida, almacenamiento de exceso de electricidad durante los periodos fuera de hora pico y retornándola a la red en horas pico. En este escenario los dueños de PEVs podrían recibir compensaciones monetarias de las compañías de servicios públicos, las cuales utilizan la capacidad de los vehículos almacenada para manejar la electricidad de manera más efectiva. Aunque usar los vehículos eléctricos enchufables como dispositivos de almacenamiento podría reducir la vida útil de las baterías, debido a que si se incrementan los ciclos de carga, la posible compensación monetaria de las compañías de servicios públicos seguramente excedería este costo (Habib, Kamran & Rashid, 2015).

## 3.6 CONCIENCIA SOCIAL

Otra barrera importante en el despliegue de los vehículos eléctricos, como en el caso de las nuevas tecnologías, es la falta de conciencia social y conocimiento sobre la tecnología (Hjorthol, 2013). Esto implica que los posibles consumidores no están conscientes de sus beneficios y pueden incluso no confiar o no entender la tecnología.

Afortunadamente existen diferentes iniciativas que el gobierno apoya para vencer esta barrera. Entre estos, están los proyectos pilotos de

taxis eléctricos, los esquemas de contratación pública y etiquetado. Diferentes ciudades latinoamericanas tales como Santiago, Bogotá, Sao Paulo y México ya han implementado los proyectos piloto de taxis en los últimos tres años (Frost & Sullivan, 2015). Estos proyectos han sido apoyados generalmente por fabricantes de automóviles, compañías de servicios públicos de electricidad y por los gobiernos en forma de exenciones de tarifas de registro y reducción de impuestos. El tamaño de estos proyectos ha sido menor a cien taxis eléctricos. Además



de crear una conciencia social, intentan probar el rendimiento de los BEVs en condiciones de manejo reales. Aunque no existen análisis formales de los resultados de estos proyectos, la mayoría de los taxis eléctricos no han enfrentado mayores problemas en proveer servicios en áreas urbanas.

La contratación pública de las flotas gubernamentales eléctricas es otra manera de incrementar la conciencia pública acerca de los vehículos eléctricos, además de servir de ejemplo. No existen actualmente ejemplos significativos de este tipo de iniciativas en América Latina. Un beneficio adicional para los proyectos pilotos y la contratación pública es que obligan a los gobiernos nacionales a modernizar el marco regulatorio para la homologación y registro de vehículos para poder incluir los vehículos eléctricos. Esto previene problemas con la comercialización de BEVs a futuro. En Colombia, por

ejemplo, las compañías privadas han batallado para registrar vehículos eléctricos porque las autoridades locales requieren certificados de emisión (Frost & Sullivan, 2015).

Finalmente los esquemas de etiquetado son generalmente empleados para aumentar la conciencia de los consumidores acerca de las características de ahorro de combustible, por lo que incluyen los costos de funcionamiento e impacto ambiental como un factor decisivo al momento de comprar un automóvil. Los esquemas de etiquetado pueden enfatizar los vehículos eléctricos; por ejemplo, la ciudad de México implementará una placa distintiva para los automóviles eléctricos (Frost & Sullivan, 2015). Además de aumentar la conciencia pública sobre los EVs, esta iniciativa también facilitará los beneficios de los automóviles eléctricos, como la exención de una placa basada en restricciones o estacionamiento exclusivo.



## 4. COSTOS Y BENEFICIOS

El posible impacto de la introducción de vehículos eléctricos en países latinoamericanos puede ser evaluado dentro de un marco de costo-beneficio, en el cual los costos y beneficios esperados para la sociedad en conjunto son cuantificados, monetizados y comparados en términos de su valor presente neto (VPN). Este marco brinda una perspectiva útil para determinar si los gobiernos deberían de promover o no la introducción de vehículos eléctricos. Este análisis también puede entenderse como una manera de evaluar la viabilidad de los subsidios públicos dirigidos a equalizar los costos de los vehículos eléctricos y de los vehículos de motor de combustión interna. Sin embargo, este marco tiene limitaciones en términos de las dificultades relacionadas con la identificación, cuantificación y monetización de todos los costos y beneficios. En este caso, las dificultades relacionadas con la monetización de los beneficios ambientales, como la reducción de emisiones de GEI y contaminación de aire local son específicamente relevantes. También es inherentemente incierto pronosticar los costos de los combustibles en las próximas décadas.

La tabla 3 presenta los resultados de una evaluación de costo-beneficio en la introducción

del vehículo eléctrico de batería (Nissan Leaf) en lugar de un vehículo de motor de combustión interna (Honda Civic) en seis países latinoamericanos<sup>15</sup>. Los costos de esta introducción se refieren a un costo de producción mayor (incluyendo transporte debido a los importes requeridos) de los BEVs y a la necesidad de estaciones de carga residenciales y públicas. La diferencia en los costos de producción se debió a la diferencia en los precios de venta sin los impuestos<sup>16</sup>. Debido a que el mercado de los BEVs aún se encuentra en una etapa incipiente, este es solo un estimado de la diferencia real en costos. Conforme los vehículos eléctricos de batería alcancen una más alta incursión en el mercado, los precios deberían reflejar los costos más estrechamente<sup>17</sup>. En este sentido, la evaluación costo-beneficio debe ser comprendida como una evaluación preliminar.

Entre los beneficios se encuentra un costo operacional menor (mantenimiento general y reemplazos), consumo de energía (combustible o eléctrica) y emisiones de dióxido de carbono y de materia particulada (MP)<sup>18</sup>. Para monetizar las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, se utilizó la última actualización del costo social del carbono (SCC por sus siglas en inglés) del Gobierno de Estados Unidos

15 Aunque esta evaluación se refiere solamente a un vehículo, las relaciones de costo-beneficio obtenidas serían las mismas independientemente del número de vehículos o penetraciones del mercado asumidas, porque todos los costos y beneficios dependen del número de vehículos.

16 Tal como en el análisis de costo total, el precio de venta (sin impuestos) del Nissan Leaf en los demás países a excepción de México fueron estimados con base en los rangos de precios entre Nissan Leaf y el Toyota Prius en México.

17 Sobre todo, la diferencia en los precios de producción entre los países no debería de variar tanto como en la Tabla 3, ya que la mayoría de los países estarían importando (en lugar de produciendo localmente) BEVs.

18 Otros posibles beneficios que no se han considerado son reducción de ruido o independencia de energía. Entre los contaminantes locales solamente se consideró la materia particulada. La MP es generalmente el contaminante que excede los límites establecidos por las organizaciones de la salud y que afectan la salud de las personas en las ciudades de América Latina.



(Interagencia Grupo de Trabajo en el Costo Social del Carbono, Gobierno de los Estados Unidos, 2013). El SCC es un estimado de los valores globales de los daños del cambio climático que se han evitado debido a las reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto incluye daños relacionados con la red de productividad de agricultura, salud humana y daños a la propiedad por incrementos

en el riesgo de inundación, entre otros. Debido a las limitaciones del modelo y de los datos, es posible que el SCC subestime el total de los daños, por lo que se utilizó el percentil 95° de los estimados del SCC; esto corresponde al SCC de 116 dólares estadounidenses en 2015 y a 187 dólares estadounidenses en 2035 por tonelada de CO<sub>2</sub> (en dólares del 2011)<sup>19</sup>.

PAÍS		ARGENTINA	BRASIL	CHILE	COLOMBIA	MÉXICO	PERÚ
VPN DE COSTOS	PRODUCCIÓN	50.006	18.668	29.255	35.468	20.852	25.997
	ESTACIONES DE CARGA	1.679	1.679	1.679	1.679	1.679	1.679
	TOTAL	51.685	20.347	30.934	37.147	22.531	27.676
VPN DE BENEFICIOS	OPERACIONAL	661	1.420	991	925	991	991
	ENERGÍA	8.092	11.351	10.113	7.513	5.845	11.942
	EMISIONES CO <sub>2</sub>	1.405	3.587	1.912	2.583	1.884	2.364
	EMISIONES PM	373	803	560	523	560	560
	TOTAL	10.531	17.162	13.576	11.544	9.280	15.857
ÍNDICE C/B		0,204	0,843	0,439	0,311	0,412	0,573
COSTO POR TONELADA DE DISMINUCIÓN DE EMISIÓN DE CO <sub>2</sub>		1.470	92	489	530	390	291
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN REQUERIDO EN EL COSTO DE PRODUCCIÓN DEL BEV DE C/B =1		60,8%	9,2%	37,1%	47,3%	36,7%	30,6%

**Tabla 3.** Análisis de costo-beneficio en la introducción de vehículos eléctricos de batería en lugar de vehículos de motor de combustión interna en seis países de América Latina.  
Fuentes: Autores.

19 Cálculos recientes sugieren que el SCC podría llegar a 220 dólares estadounidenses por tonelada de CO<sub>2</sub> si la temperatura afecta las tasas de crecimiento económico (Moore y Diaz, 2015).



Para monetizar las reducciones de emisiones de MP, se utilizó el valor estimado del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente y Universidad de los Andes, 2010). Este valor es de 411,000 dólares estadounidenses por tonelada de MP (en dólares del 2008) e incluyen todos los efectos en salud humana. Asumimos que los costos del combustible y electricidad presentados en la Figura 2 permanecen constantes durante un período de evaluación. Finalmente, se utilizó un período de evaluación de 20 años y una tasa de descuento de 12%. Otros aportes de datos y suposiciones para la evaluación de costos y beneficios se presentan en el Anexo 2.

Los resultados muestran que los costos son mayores que los beneficios en todos los países. El índice de costo-beneficio oscila entre 0.2 en Argentina a 0.84 en Brasil. La Tabla 3 muestra el costo por tonelada de disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>. Este indicador muestra el costo neto que tendría que ser asumido por la sociedad para reducir una tonelada de dióxido de carbono a través de la introducción de los BEVs. Debido a que varios países están comprometidos con reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a metas específicas, este tipo de indicador permite hacer comparaciones para encontrar la manera más rentable para cumplir dichos objetivos. El costo por tonelada de CO<sub>2</sub> para los BEVs es relativamente alto, considerando que las inversiones en el transporte público generalmente tienen costos negativos (por ejemplo, los beneficios exceden los costos incluso sin el efecto de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>).

Estos resultados no implican que los países latinoamericanos no deberían actuar con respecto a la futura introducción de los vehículos eléctricos de batería en la región. Aunque actualmente los costos son mayores a los beneficios esperados, existen diferentes condiciones que pueden cambiar esto a favor de los BEVs en las próximas

décadas. En primer lugar, se espera que el costo de producción de los BEVs disminuya considerablemente en las próximas décadas, sobre todo debido a la reducción del precio fabricación de baterías. En este sentido, la Tabla 3 muestra el porcentaje de reducción en los costos de producción de los BEVs que equipararía costos y beneficios totales; con la excepción de Argentina, el porcentaje de reducción requerido oscila entre el 9% y 47%. El total o una parte importante de esta reducción puede lograrse dentro de las siguientes dos décadas. En segundo lugar, el SCC puede seguir incrementando conforme nuevas técnicas de modelo se desarrollan y se recolecta información para evaluar el valor de los daños del cambio climático a nivel global. Finalmente, los resultados presentados en la Tabla 3 asumen que el costo del combustible permanecerá constante en las próximas dos décadas. A pesar de la alta incertidumbre en la predicción de los precios del combustible en el futuro, es probable que esta suposición sea demasiado conservadora a largo plazo dada la creciente demanda global de petróleo y las limitaciones en las reservas y producción de petróleo.

En este escenario, los países latinoamericanos pueden empezar a implementar diferentes iniciativas y políticas para preparar la futura introducción de los vehículos eléctricos en la región, especialmente si estas iniciativas no comprometen sustancialmente los recursos públicos o privados. Asimismo, hoy en día los vehículos eléctricos pueden ser una alternativa viable para ciudades de destino o áreas urbanas con condiciones que favorecen la introducción de estos automóviles, como condiciones ambientales muy pobres o altos niveles de uso de automóviles. En estos casos los beneficios marginales de introducir los vehículos eléctricos son más altos que los promedios nacionales. En la siguiente sección se evalúa el conjunto de políticas generales disponibles en los países de América Latina para facilitar la introducción de los EVs.

# 5. POLÍTICAS DISPONIBLES EN LOS PAÍSES LATINOAMERICANOS

## 5.1 INCENTIVOS FINANCIEROS

Debido a que los altos costos de venta son una de las barreras principales en la introducción de los vehículos eléctricos, los incentivos financieros son una de las opciones más directas mediante la que los gobiernos promueven los EVs. Existen dos maneras a través de las cuales los gobiernos pueden proveer apoyo financiero a los compradores de vehículos eléctricos: ofrecer devoluciones y reducción de impuestos. Ambos métodos pueden lograr el objetivo de reducción de los costos de venta de los EVs.

La estructura tributaria en cada país (Tabla 2) determina las opciones disponibles para reducir los costos de venta de los vehículos eléctricos a través de la exención de impuestos o reducciones. Las alternativas más comunes son las de valor añadido e impuestos a la importación, los cuales generalmente son una parte importante de la estructura tributaria. Incluso si las reducciones de impuestos aplican tanto para los EVs como para los ICEVs por ejemplo como resultado de acuerdos de libre comercio, estas reducciones tienden a beneficiar a los vehículos eléctricos porque la diferencia en los precios, medida en términos monetarios, es reducida. Los países con estructuras tributarias de vehículos ligeros como México o Chile pueden utilizar las devoluciones para reducir el precio de compra de los EVs.

Debido a que las exenciones o reducciones de impuestos representan esfuerzos fiscales importantes y estos esfuerzos pueden ser catalogados como socialmente regresivos porque inicialmente los compradores de EVs tienden a pertenecer a las clases de altos ingresos (Hjorthol, 2013),

un enfoque mucho menos controversial para los países latinoamericanos sería implementar incentivos financieros a favor de los vehículos eléctricos sin afectación a los ingresos públicos por la recaudación de impuestos. En este enfoque a los vehículos eléctricos se les ofrece reducciones o exenciones de impuestos, mientras que a los vehículos eléctricos con motor de combustión interna se les imponen incrementos en sus tarifas o impuestos (tales como cobrar por sus externalidades ambientales). Una ventaja de este enfoque es que hace que sea más fácil para los países mantener incentivos financieros para los EVs durante un largo período de tiempo. Este enfoque ha sido propuesto por Chile como parte de un plan de e-movilidad que será presentado como Acción Nacional Apropiaada de Mitigación (NAMA por sus siglas en inglés, Gobierno de Chile, 2012).

Los incentivos financieros también pueden ser dirigidos a reducir los costos anuales de propiedad o de uso de un vehículo eléctrico. El conjunto de opciones es mucho más amplio en este caso: las reducciones anuales en los impuestos de propiedades o de circulación, casetas, tarifas de estacionamiento, seguros, subsidios a la electricidad, etcétera. Por ejemplo, diferentes estados en Brasil están actualmente ofreciendo una exención completa del impuesto sobre la propiedad del vehículo (Imposto sobre a propriedade de veículos automotores, Frost & Sullivan, 2015). La principal diferencia es que este tipo de incentivos no reduce el precio de compra de los EVs, al contrario, reduce costos durante un largo período de tiempo. Dado que los consumidores valoran los costos de compra mucho más que



los costos anuales, este enfoque puede reducir la efectividad de los incentivos financieros. De hecho, la mayoría de los incentivos financieros ofrecidos a los vehículos eléctricos a nivel mundial se enfocan en los costos de compra y no en los costos anuales (Sierzchula y colaboradores, 2014). Otra diferencia importante es que las reducciones en los costos de uso pro-

blemente aumentarán el uso de automóviles, lo que aumentará los problemas de congestión. De cualquier manera, los incentivos financieros para reducir los costos de propiedad o uso de los EVs pueden ser diseñados para mantener estables los ingresos tributarios mediante el aumento de las respectivas tasas para los ICEVs.

## 5.2 INCENTIVOS NO FINANCIEROS

Otro conjunto importante de políticas para los países que promueven los vehículos eléctricos es la implementación de los beneficios no financieros para quienes usen estos automóvi-

les. Las opciones específicas en este conjunto dependen del marco regulatorio de cada país o ciudad, sin embargo tres de los beneficios más comunes son:

- Permiso para utilizar los carriles exclusivos para autobuses, carriles de alta ocupación (HOV por sus siglas en inglés) o carriles exclusivos para vehículos eléctricos
- Exención de las restricciones de vehículos, como en las restricciones de placas
- Estacionamiento exclusivo

El uso permitido de un carril exclusivo para autobuses ha sido uno de los beneficios más importantes en la exitosa promoción de vehículos eléctricos en Noruega (Vergis y colaboradores, 2014).<sup>20</sup> A causa del alto número de sistemas de autobús de transporte rápido (BRT por sus siglas en inglés) en Latinoamérica, esta política podría ser replicada en muchas ciudades de la región. Sin embargo, es posible que no sea una buena política en el contexto de uso elevado de transporte públicos en las ciudades de América Latina, sobre todo si se logra una alta incursión de vehículos eléctricos. Permitir que los vehículos eléctricos circulen por carriles exclusivos de autobuses es posible que reduzca la calidad del servicio del

transporte público, lo que obliga a los usuarios a alejarse del transporte público. Este resultado no sería deseable en términos de transporte urbano sostenible. Los carriles de alta ocupación no son comunes en ciudades de América Latina, mientras que la idea de proporcionar carriles exclusivos para los vehículos eléctricos no es una manera eficiente de utilizar el escaso espacio público.

Las restricciones basadas en las placas para la circulación de ciertos automóviles en algunos días de la semana y en horas pico es una política común en ciudades de América Latina (por ejemplo Bogotá, México DF y Sao Paulo). Estas políticas se han promulgado para mitigar los pro-

20 Noruega es actualmente el líder mundial en cuanto a penetración del mercado de los vehículos eléctricos con casi un 15% en el 2014 (Vergis y colaboradores, 2014). La gran mayoría de los EVs corresponden a los BEVs, siguiendo políticas que promueven los BEVs más que los VHEES.



blemas ambientales y de congestión. Sin embargo, por lo general han tenido importantes consecuencias no deseadas, tales como el aumento de los niveles de propiedad y de uso de los vehículos debido a la tendencia de algunos hogares a comprar un segundo automóvil (usualmente un vehículo viejo con niveles altos de emisión) para evadir esta restricción. En este contexto, eximir los EVs de las restricciones basadas en las placas es probablemente una de las mejores opciones para brindar incentivos no financieros a las ciudades latinoamericanas.

### 5.3 INFRAESTRUCTURA PARA CARGA

Para incrementar la disponibilidad de los puntos de carga en los hogares y los lugares de trabajo, algunas ciudades como Londres requieren todo o el mínimo porcentaje de plazas de estacionamiento en nuevos proyectos de desarrollos inmobiliarios para proveer infraestructura eléctrica (Element Energy, Ecolane y Universidad de Aberdeen, 2013). Aunque esta política ha tenido un efecto importante a tan solo unos años después de haberse iniciado, la instalación de infraestructura eléctrica en nuevos proyectos de desarrollo inmobiliario es mucho más rentable que añadirla a los viejos. En este sentido, este tipo de política representa la mejor opción para los países latinoamericanos para incrementar la disponibilidad de carga en el hogar y en el lugar de trabajo para los años futuros.

Con respecto a una red de estaciones públicas de carga rápida, los gobiernos pueden apoyar financieramente su desarrollo. Sin embargo, el alto costo de las estaciones de carga rápidas y el interés del sector privado, como los fabricantes de carros y empresas de servicios públicos de electricidad en su expansión sugieren que la inversión privada jugará un papel principal. De hecho, los fabricantes de automóviles y las

Las ciudades generalmente tienen la posibilidad de encargar un porcentaje mínimo de o número exclusivo de plazas de estacionamiento para los vehículos eléctricos en los estacionamientos públicos. Esta es probablemente una buena política para promover los vehículos eléctricos, ya que afectará solamente de manera marginal la disponibilidad en los estacionamientos para los vehículos de motor de combustión interna mientras brindan un gran beneficio para los EVs.

empresas de servicios públicos de electricidad han unido fuerzas para establecer las primeras estaciones públicas de carga en Latinoamérica (Chilectra, Petrobras y Nissan en Chile; Edesur y Renault en Argentina; Frost & Sullivan, 2015).

Los gobiernos pueden promover aún más la inversión privada en infraestructura pública para carga de baterías, mediante el proporcionamiento de claridad sobre cómo los posibles servicios de carga proporcionados por empresas de industrias diferentes a las de servicios públicos, como hoteles, tiendas y centros comerciales pueden ser regulados. En la mayoría de los países latinoamericanos solo las empresas de servicios públicos tienen permitido vender electricidad directamente a los consumidores. Esto impide el desarrollo de los servicios de carga de las empresas distintas a las de industrias de servicios públicos que estarían interesadas en invertir en estructuras de carga siempre y cuando se cobren tasas por su uso para recuperar costos y obtener ganancias (IEA y Ministerial de Energía Limpia, 2013). Por ejemplo, Brasil sigue este camino mediante la publicación de una ley que crea la figura del vendedor de electricidad para fines automotrices (Frost & Sullivan, 2015). Este tipo de iniciativas son altamente recomen-



dadas en los países de Latinoamérica, ya que facilitan la inversión privada permitiendo nuevos modelos de negocios.

Finalmente los países de América Latina pueden facilitar el despliegue de la infraestructura

pública de carga rápida apoyando la armonización de los estándares e interoperabilidad de los sistemas de carga. Esto evitaría que los usuarios de vehículos eléctricos se topen con estaciones de carga incompatibles (IEAy Ministerial de Energía Limpia, 2013).

## 5.4 REGULACIONES AMBIENTALES

Existen diferentes tipos de regulaciones ambientales que el gobierno puede imponer a los vehículos de pasajeros. La más común es limitando las emisiones del tubo de escape de contaminantes tales como materia particulada, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Estas regulaciones tienen que ser acopladas con la disponibilidad de combustible bajo en sulfuro que permite el funcionamiento adecuado de las tecnologías de control de emisiones. Los niveles de control de emisiones de contaminantes locales y contenido de sulfuro del combustible disponible varían en los países latinoamericanos, desde prácticamente no tener estándares de emisiones como en Bolivia y Paraguay, a estándares de emisión de calidad del combustible de primera clase en países como Chile (UNEP, 2015).<sup>21</sup>

Aunque el establecimiento de regulaciones de emisiones de contaminantes locales más severas podría beneficiar a los países latinoamericanos en términos de impactos a la salud, no es probable estimular significativamente las ventas de vehículos eléctricos. Las tecnologías

de control de emisión han sido desarrolladas por los ICEVs para lograr los estándares más avanzados a un costo más bajo que las tecnologías eléctricas. De hecho, el establecimiento de estándares más estrictos seguiría el desarrollo de tales tecnologías.

Algunos países a nivel mundial regulan también el consumo de combustible o las emisiones de tubo de escape de GEI (Miller & Facanha, 2014)<sup>22</sup>. Estas regulaciones generalmente siguen un enfoque corporativo promedio, en el cual cada fabricante de automóvil debe alcanzar una flota promedio en términos de consumo de combustible (kilómetros por litro o millas por galón) o emisiones GEI (gCO<sub>2</sub>/km). Este enfoque brinda alta flexibilidad a los fabricantes de automóviles en términos de las estrategias del mercado y tecnologías para cumplir la meta requerida.

Solamente Brasil y México han implementado este tipo de regulación. En el 2012, Brasil promulgó el programa de incentivos Inovar-Auto. Este programa impone significativos aumentos

21 Chile limita el contenido de sulfuro en el combustible a 15 ppm e impone estándares de emisión a niveles Euro 4 o 5 (UNEP, 2015).

22 El consume de combustible (o economía de combustible) y las regulaciones de las emisiones de GEI son generalmente analizadas en conjunto, porque las emisiones GEI dependen directamente de la cantidad de combustible consumido. These numbers include only Plug-in Electric Cars (pure Battery Electric Cars and Plug-in Hybrid Electric Cars). Hybrid Electric Cars are not included. The sales of Hybrid Electric Cars rose considerably earlier on, at the beginning of the current century. The current global stock of Hybrid Electric Cars is approximately 10 millions. These different types of EVs are described in section 2.2.



de impuestos a los fabricantes de automóviles que no cumplan con una serie de requerimientos, uno de ellos es incrementar el promedio de la eficiencia del combustible de los vehículos ligeros en 12% para el 2017 (ICCT, 2013a). Los otros requisitos hacen referencia a un número mínimo de procesos de fabricación para llevarse a cabo en Brasil, la inversión en investigación y desarrollo y participación en un sistema de etiquetado de vehículos. Este objetivo de eficiencia de combustible no es probable que estimule las ventas de vehículos eléctricos significativamente, excepto para los vehículos híbridos eléctricos. Hay avances tecnológicos como mejoras aerodinámicas y aligeramiento, los cuales pueden ser aplicados a los ICEVs para incrementar la eficiencia del combustible a un costo más bajo. Sin embargo, una segunda fase del programa post 2017 puede enfocarse en la promoción de los EVs (Frost & Sullivan, 2015).

En el 2013 México estableció las normas de emisión de GEI y los estándares para economizar combustible para los vehículos ligeros durante el período de 2014 al 2016. El rigor en estos estándares son similares a los estándares en Estados Unidos y Canadá, lo que conduce a un promedio en ahorro de combustible de 14.6 km/l al 2016 (ICCT, 2013b). Esta regulación ofrece créditos especiales a los fabricantes de automóviles que ofrecen o producen HEVs, PHEVs, BEVs u otros vehículos de tecnología altamente eficiente en México. Esta característica puede incrementar la disponibilidad comercial de los modelos de los vehículos eléctricos en México, pero no es probable que significativamente estimule las ventas de los vehículos eléctricos enchufables a menos que los objetivos mucho más rigurosos se establezcan para después del 2016.

Un tipo más intrusivo de regulación ambiental requeriría que los fabricantes de automóviles alcanzaran una parte mínima del total de las

ventas de algún tipo en específico de tecnología de baja emisión (BEVs por ejemplo). Este fue el caso del diseño inicial del Programa de Vehículos de Cero Emisión de California (ZEV por sus siglas en inglés). Este programa, establecido en 1990, estableció que las ventas de ZEVs constituyeran una parte mínima de las ventas totales de cada fabricante de automóviles importante. En términos prácticos, este fue un mandato para BEVs, la única tecnología que existía en ese tiempo que cumplía con los estándares de cero emisiones. Debido al inesperado y lento progreso en la tecnología BEV, el programa tuvo que ser mucho más flexible y dar créditos a otras tecnologías de emisión, como los HEVs y PHEVs. Aunque el programa fomentó el desarrollo de las tecnologías eléctricas, éste ilustró las ventajas de diseñar programas flexibles que pueden adaptarse a una serie de tecnologías emergentes (Bedsworth & Taylor, 2007).

En síntesis aunque los vehículos eléctricos ofrecen beneficios importantes en términos de reducciones de emisiones de tubo de escape y ahorro de combustible, existen mejores en los ICEVs y otras tecnologías que también son capaces de alcanzar estándares bajos. Debido a que no está claro que camino tecnológico será más efectivo en cuanto al costo, es importante que las regulaciones ambientales sigan un enfoque flexible y tecnológico neutral.

Desde una perspectiva WTW, las reducciones de emisiones de GEI de los vehículos eléctricos enchufables pueden incrementarse cambiando a fuentes de producción de energía más limpias. Afortunadamente, muchos países en Latinoamérica cuentan con un gran potencial para incrementar el uso de recursos renovables y ya tienen establecidos objetivos ambiciosos con respecto a esto (Vergara, Alatorre & Alves, 2013).



## 5.5 PROMOCIÓN DE INDUSTRIAS LOCALES

Un ingreso importante en el mercado de vehículos eléctricos a nivel mundial implicaría una importante demanda de baterías, las cuales serían basadas en litio para un futuro cercano (Consejo Nacional de Investigación, 2013). En este sentido, y considerando que América Latina (sobre todo Chile y Bolivia) cuentan con más de la mitad de la reserva de litio en el mundo, habría oportunidad para los países latinoamericanos para promover el valor agregado de las industrias locales de producción de baterías. Sin embargo, no será fácil para los países latinoamericanos aprovechar esta oportunidad, ya que la producción de batería requiere de una alta inversión de capital y tecnología sofisticada y mano de obra (Frost & Sullivan, 2015). Los gobiernos nacionales pueden ayudar a vencer estas barreras apoyando las inversiones de capital privado y actividades de investigación y desarrollo. Bolivia y Chile ya están moviéndose

en esta dirección con iniciativas como una planta piloto de batería y un centro de innovación de litio respectivamente.

En términos de producción de vehículos, Brasil y México son los productores más grandes en la región, y a su vez son el número siete y ocho a nivel mundial. Ambos países ya se encuentran promocionando la producción local de vehículos eléctricos, como parte de sus esfuerzos para incrementar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de GEI de los vehículos de pasajeros (ver la sección 5.4). Sería difícil para los países latinoamericanos promocionar la creación de una industria de fabricación de EVs sin contar con experiencia actual en la fabricación de automóviles. Noruega, por ejemplo, fracasó en su intento por apoyar la industria de producción de BEVs hace una década (Vergis y colaboradores, 2014).



## 6. SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES

La ola actual de vehículos eléctricos en el mundo ha alcanzado cifras no registradas desde la aparición de las tecnologías de conducción eléctrica hace más de un siglo. El apoyo por parte del gobierno en los países desarrollados es en gran parte responsable por ese incremento, respondiendo a las preocupaciones en aumento sobre el cambio climático e independencia energética. No obstante, no está claro si esta ola actual marcará el principio de una inexorable transición de combustible a electricidad como fuente principal de energía para el transporte. En los años siguientes, los vehículos eléctricos tendrán que demostrar superioridad a los vehículos de motor de combustión interna conforme el apoyo del público disminuya y tendrá que superar las barreras de costo, alcance y tiempo de carga.

Aunque el alto costo de producción de los EVs (sobre todo los vehículos eléctricos enchufables)

implica que el costo de transición de ICEV a PEV es mayor a los beneficios esperados, diferentes condiciones en las siguientes décadas favorecerán a los vehículos eléctricos de manera significativa. Entre esos beneficios se encuentran: la reducción del costo de producción como resultado de una producción de batería menos costosa, aumento en las preocupaciones y mejor conocimiento sobre los daños del cambio climático a nivel mundial, el incremento en los costos de combustible debido al incremento en la demanda del petróleo y su limitada reserva y producción.

En este sentido, los países latinoamericanos pueden actuar temprano y permitir una transición más rápida y menos traumática para los EVs en las siguientes décadas. Entre las políticas e iniciativas más relevantes que los países pueden implementar en este respecto a un bajo costo son:

- Solicitar un porcentaje mínimo de plazas para estacionamientos en nuevos establecimientos con infraestructura eléctrica para incrementar la disponibilidad de puntos de carga en los hogares y lugares de trabajo.
- Establecer regulaciones claras para facilitar el desarrollo de servicios de carga de empresas de otros servicios como hoteles, tiendas o centros comerciales.
- Apoyar la armonización de los estándares y la interoperabilidad de los sistemas de carga.
- Introducir el precio de electricidad dependiendo tiempo de uso para incentivar cargar los PEVs fuera de las horas pico. Esto reduciría la necesidad de expandir el sistema eléctrico actual debido a la demanda adicional generado por los vehículos eléctricos enchufables.
- Promocionar iniciativas que incrementen la conciencia social de las tecnologías de los vehículos eléctricos, como los proyectos piloto de taxis eléctricos, las compras públicas de flotas eléctricas y esquemas de etiquetado.
- Los países con una gran industria de producción de automóviles (México y Brasil) o con reservas importantes de litio (Argentina, Bolivia y Chile) pueden apoyar las inversiones



de capital privado y actividades de investigación y desarrollo para expandir o crear industrias de valor agregado en los mercados de EVs y de baterías.

- Implementar estándares más estrictos para contaminantes locales y emisiones de GEI para vehículos de pasajeros. Estas regulaciones deberían de seguir un enfoque flexible y de tecnología neutral.

En los años siguientes, conforme el panorama para la introducción de los EVs se vuelve más claro (principalmente en términos de reducción de costos y penetración en el mercado), es posible que los países de Latinoamérica necesiten implementar medidas de apoyo más agresivas como incentivos financieros o no financieros e invertir en una infraestructura de carga pública. En términos de medidas financieras, incentivos neutrales que no afecten el cobro de impuestos serían preferibles para mitigar el esfuerzo fiscal

requerido. Además, los incentivos que reducen los precios de venta son por lo general preferibles que aquellos que reducen costos de propiedad o de uso anualmente, porque el consumidor tiende a valorar los costos iniciales más que los costos anuales. En términos de medidas no financieras, exenciones a las restricciones de placas y estacionamiento exclusivo para vehículos eléctricos puede brindar importantes beneficios a los dueños de EVs.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahman, M. (2006). Government policy and the development of electric vehicles in Japan. *Energy Policy*, 34, 433-443.
- Axsen, J. and Kurani, K. S. (2012). Who can recharge a plug-in electric vehicle at home? *Transportation Research Part D*, 76, 349-356.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15, 73-80.
- Bedsworth, M. W. and Taylor, M. R. (2007). *Learning from California's Zero-Emission Vehicle Program*. Public Policy Institute of California, California Economic Policy, Volume 3, Number 4. Recuperado de: [http://www.ppic.org/content/pubs/cep/EP\\_907LBEP.pdf](http://www.ppic.org/content/pubs/cep/EP_907LBEP.pdf)
- Delang, C. O. and Cheng, W. T. (2012). Consumers' attitudes towards electric cars: A case study of Hong Kong. *Transportation Research Part D*, 17, 492-494.
- Dias, X. M. V., Haddad, J., Horta Nogueira, L., Costa Bortoni, E. d., Passos da Cruz, R. A., Akira Yamachita, R. and Goncalves, J. L. (2014). The impact on electricity demand and emissions due to the introduction of electric cars in the Sao Paulo power system. *Energy Policy*, 65, 298-304.
- Element Energy, Ecolane and University of Aberdeen. (2013). *Pathways to High Penetration of Electric Vehicles*. Informe preparado para el Comité sobre el Cambio Climático, UK. Recuperado de: [http://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2013/12/CCC-EV-pathways\\_FINAL-REPORT\\_17-12-13-Final.pdf](http://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2013/12/CCC-EV-pathways_FINAL-REPORT_17-12-13-Final.pdf)
- Frost & Sullivan. (2015). *Strategic Analysis of the Electric Passenger Car Market in Latin America: A Market Outlook to Design Policy Guidelines for Electric Vehicle Adoption in the Region*. Informe preparado para el Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C., Estados Unidos.
- Gobierno de Chile. (2012). *E-mobility Readiness Plan Chile*. Desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones del Gobierno de Chile, con el apoyo de la Iniciativa del Clima Internacional del Gobierno Alemán, ECOFYS Alemania, Fundación Chile y Sistemas Sustentables Chile. Recuperado de [http://www.ecofys.com/files/files/ecofys\\_2012\\_nama\\_e-mobility\\_readiness\\_plan\\_chile.pdf](http://www.ecofys.com/files/files/ecofys_2012_nama_e-mobility_readiness_plan_chile.pdf)
- Habib, S., Kamran, M. and Rashid, U. (2015). Impact analysis of vehicle-to-grid technologies and charging strategies of electric vehicles on distribution networks – A review. *Journal of Power Sources*, 277, 205-214.
- Hjorthol, R. (2013). *Attitudes, Ownership and Use of Electric vehicles: A Review of Literature*. Institute of Transportation Economics, Norway. Recuperado de: [http://www.compett.org/documents/wp\\_2\\_report\\_attitudes\\_ownership\\_and\\_use\\_of\\_electric\\_vehicles\\_a\\_review\\_of\\_literature.pdf](http://www.compett.org/documents/wp_2_report_attitudes_ownership_and_use_of_electric_vehicles_a_review_of_literature.pdf)
- Høyer, K. G. (2008). The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, 16, 63-71.
- Interagency Working Group on Social Cost of Carbon – United States Government. (2013). *Technical Update of the Social Cost*



- of Carbon for Regulatory Impact Analysis – Updated May 2013. Recuperado de: [https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/infoereg/social\\_cost\\_of\\_carbon\\_for\\_ria\\_2013\\_update.pdf](https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/infoereg/social_cost_of_carbon_for_ria_2013_update.pdf)
- International Council on Clean Transportation (ICCT). (2013a). *Brazil's Inovar-Auto Incentive Program*. Policy update. Recuperado de: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate\\_Brazil\\_InovarAuto\\_feb2013.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_Brazil_InovarAuto_feb2013.pdf)
- International Council on Clean Transportation (ICCT). (2013b). *Mexico Light-Duty Vehicle CO2 and Fuel Economy Standards*. Policy update. Recuperado de: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate\\_Mexico\\_LDVstandards\\_july2013.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_Mexico_LDVstandards_july2013.pdf)
- International Energy Agency (IEA) and Clean Energy Ministerial. (2013). *Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicles Landscape to 2020*. Recovered from [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook\\_2013.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook_2013.pdf)
- Kenworthy, J. and Laube, F. (2002). Urban transport patterns in a global sample of cities & their linkages to transport infrastructure, land use, economics & environment. *World Transport Policy & Practice*, 8(3), 5-19.
- Lieven, T., Mühlmeier, S., Henkel, S. and Waller, J. F. (2011). Who will buy electric cars? An empirical study in Germany. *Transportation Research Part D*, 16, 236-243.
- Miller, J. D. and Facanha, C. (2014). *The State of Clean Transport Policy: A 2014 Synthesis of Vehicle and Fuel Policy Development*. The International Council on Clean Transportation. Washington D.C., USA. Recuperado de: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_StateOfCleanTransportPolicy\\_2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_StateOfCleanTransportPolicy_2014.pdf)
- M.J. Bradley & Associates LLC. (2013). *Electric Vehicle Grid Integration in the U.S., Europe, and China: Challenges and Choices for Electricity and Transportation Policy*. Paper commissioned by The Regulatory Assistance Project and The International Council on Clean Transportation. Washington D.C., USA. Recuperado de: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EVpolicies\\_final\\_July11.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EVpolicies_final_July11.pdf)
- Mock, P. and Yang, Z. (2014). *Driving Electrification: A Global Comparison of Fiscal Incentive Policy for Electric Vehicles*. White Paper, The International Council on Clean Transportation. Recuperado de: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_EV-fiscal-incentives\\_20140506.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV-fiscal-incentives_20140506.pdf)
- Moore, F. C. and Diaz, D. B. (2015). Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*, 5, 127-131.
- National Research Council. (2013). *Transitions to Alternative Vehicles and Fuels*. The National Academies Press. Washington D.C., USA. Recuperado de: <http://www.nap.edu/catalog/18264/transitions-to-alternative-vehicles-and-fuels>
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2011). *Informe de Indicadores: Encuesta de Movilidad de Bogotá 2011*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: [http://www.movilidadbogota.gov.co/hwebx\\_archivos/audio\\_y\\_video/Encuesta%20de%20Movilidad.pdf](http://www.movilidadbogota.gov.co/hwebx_archivos/audio_y_video/Encuesta%20de%20Movilidad.pdf)
- Secretaría Distrital de Ambiente y Universidad de los Andes. (2010). *Plan Decenal de*



*Descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá, Colombia. Recuperado de: [http://ambientebogota.gov.co/en/c/document\\_library/get\\_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886](http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886)

Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K. and Van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183-194.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2015). *Status of Fuel Quality and Vehicle Emission Standards in Latin America and the Caribbean – Updated January 2015*. Recuperado de: [http://www.unep.org/Transport/new/PCFV/pdf/Maps\\_Matrices/LAC/matrix/LAC\\_FuelsVeh\\_January2015.pdf](http://www.unep.org/Transport/new/PCFV/pdf/Maps_Matrices/LAC/matrix/LAC_FuelsVeh_January2015.pdf)

Van Vliet, O., Brouwer, A. S., Kuramochi, T., Van den Broek, M. and Faaij, A. (2011). Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars. *Journal of Power Sources*, 196, 2298-2310.

Vergara, W., Alatorre, C. and Alves, L. (2013). *Rethinking our Energy Future: A White*

*Paper on Renewable Energy for the 3GFLAC Regional Forum.* Inter-American Development Bank, Climate Change and Sustainability Division, Energy Division, Discussion Paper No. IDB-DP-292. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5744/3gflac%20White%20Paper%20English%20v21%20-%20with%20cover.pdf?sequence=1>

Vergis, S., Turrentine, T. S., Fulton, L. and Fulton, E. (2014). *Plug-in Electric Vehicles: A Case Study of Seven Markets*. Research report. University of California, Davis. USA. Recuperado de: [www.its.ucdavis.edu/wp-content/themes/ucdavis/pubs/download\\_pdf.php?id=2369](http://www.its.ucdavis.edu/wp-content/themes/ucdavis/pubs/download_pdf.php?id=2369)

Wu, J., Austin, R. and Chen, C-L. (2011). Incidence Rates of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles: An Update. National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation. Washington D.C., USA. Recuperado de: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811526.pdf>



# ANEXO 1: APORTES Y SUPOSICIONES DEL ANÁLISIS DE COSTO TOTAL DE PROPIEDAD

Los resultados del análisis de costo total de propiedad presentado en la sección 3.2 están basados en diferentes aportes de información y suposiciones los cuales son descritos a continuación. La estructura del análisis está basado en el trabajo de Frost & Sullivan (2015), y muchos aportes y suposiciones son tomados de este trabajo.

## COSTOS DE COMPRA:

El precio de venta (sin impuesto) del Honda Civic y del Toyota Prius fueron tomados de sitios web locales de cada país, excepto en Colombia donde el Toyota Prius no está a la venta. Se utilizó el rango de precio encontrado en Perú entre el Honda Civic y el Toyota Prius (1,60) para estimar el precio de venta del Toyota Prius en Colombia. El Nissan Leaf solamente estaba disponible a la venta en México, por lo que el precio de venta para el Nissan Leaf en los demás países se estimó utilizando el rango de precio en México entre el Toyota Prius y el Nissan Leaf (1,61).

Se aplicaron impuestos a cada país utilizando la información de la Tabla 2. Las exenciones de impuestos de una cuota de vehículos en Argentina y Colombia no se consideraron. Un costo financiero fue agregado en todos los casos considerando un pago inicial de 20% y un plazo de préstamo a 5 años. La tasa de interés utilizada en Chile, Colombia, México y Perú fue de 13% mientras que para Argentina y Brasil fue de 17%, porque la tasa de interés es más alta por lo general en estos dos países (Frost & Sullivan, 2015). Se añadió un costo de 2,000 dólares estadounidenses en todos los países al Nissan Leaf con el fin de considerar los costos de instalación y compra de una estación de carga de Nivel 2.

Finalmente, un valor residual después de 8 años fue considerado en todos los casos. Se utilizó una tasa de depreciación anual del 8% para el Honda Civic, Toyota Prius y Nissan Leaf sin la batería, y una de 20% para la batería del Nissan Leaf para compensar por el servicio de vida más corto.

## COSTOS DE PROPIEDAD:

El principal costo de propiedad considerado para todos los tipos de vehículos fue un costo de seguro de cobertura total. Los costos del seguro fueron recolectados de compañías de seguros locales en cada país (Frost & Sullivan, 2015). Debido a que el Nissan Leaf estaba disponible solo en México, el rango de los precios del seguro del Toyota Prius y del Nissan Leaf en México se utilizó para estimar el costo del seguro del Nissan Leaf en los demás países. Un costo anual de 32 dólares estadounidenses se agregó al Nissan Leaf en todos los países para compensar por el mantenimiento de las estaciones de carga de Nivel 2. Los costos de propiedad relacionados con el estacionamiento no fueron considerados.

## COSTOS DE FUNCIONAMIENTO:

En todos los países, el costo del mantenimiento general y repuestos se asumió ser 0.758 dólares estadounidenses por cada 100 km del Nissan Leaf, y 1.647 dólares estadounidenses por 100 km del



Toyota Prius y del Honda Civic (Frost & Sullivan, 2015). Se utilizaron los precios de energía (electricidad y combustible) presentados en la Figura 2 y se asumió que estos precios permanecerían constantes durante el período de análisis (8 años). Se estimó el consumo de energía de 31 a 50 millas por galón para el Honda Civic y el Toyota Prius respectivamente ([www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov)), y 0.133 kWh por cada km para el Nissan Leaf. El nivel de uso del automóvil se tomó de estudios de movilidad en los diferentes países (Frost & Sullivan, 2015). El número de kilómetros anual usado en Argentina fue de 10,000, 21,5000 en Brasil, 15,000 en Chile, México y Perú, y 14,000 en Colombia. Los costos de funcionamiento relacionados con el estacionamiento no fueron considerados.

## PERÍODO DE TIEMPO PARA EL ANÁLISIS:

El período de tiempo para el análisis fue de 8 años. Este período es corto en comparación con el promedio de vida útil del automóvil, el cual puede exceder los 15 años en la mayoría de los países de América Latina. El período de 8 años refleja el hecho que los consumidores descuentan los costos anuales fuertemente. El período típico para un análisis de valor de costo total en el Reino Unido es de 4 años (Element Energy, Ecolane y la Universidad de Aberdeen, 2013). Se utilizó un período más largo para reflejar el hecho que la mayoría de los automóviles en los países latinoamericanos tienden a tener una vida útil más larga.

La siguiente tabla muestra los detalles de los resultados presentados en la figura 3 (en dólares del 2015).

COSTO		ARGENTINA			BRASIL		
		HONDA CIVIC	TOYOTA PRIUS	NISSAN LEAF	HONDA CIVIC	TOYOTA PRIUS	NISSAN LEAF
COMPRA	PRECIO VENTA	20.000	42.000	67.688	18.300	21.500	34.650
	IMPUESTOS	10.430	71.497	115.904	12.061	25.449	40.830
	COSTO FINANCIERO	11.023	41.115	66.508	10.999	17.008	27.343
	ESTACIÓN DE CARGA NIVEL 2	-	-	2.000	-	-	2.000
	VALOR RESIDUAL	15.617	58.249	85.247	15.582	24.095	31.542
	TOTAL	25.836	96.363	166.853	25.778	39.862	73.281
PROPIEDAD		15.072	36.096	46.586	14.320	20.320	26.337
FUNCIONAMIENTO		10.181	6.812	807	20.975	14.080	7.296
TOTAL		51.089	139.271	214.246	61.073	74.262	106.914

Tabla A.1.

Comparación del costo total de propiedad para un ICEV, HEV y BEV en seis países latinoamericanos.  
Fuente: Autores basados en Frost & Sullivan, 2015.



COSTO		CHILE			COLOMBIA		
		HONDA CIVIC	TOYOTA PRIUS	NISSAN LEAF	HONDA CIVIC	TOYOTA PRIUS	NISSAN LEAF
COMPRA	PRECIO VENTA	19.800	29.000	46.737	21.000	33.600	54.150
	IMPUESTOS	5.526	7.931	12.567	14.954	19.918	31.549
	COSTO FINANCIERO	6.955	10.143	16.287	9.874	14.698	23.536
	ESTACIÓN DE CARGA NIVEL 2	-	-	2.000	-	-	2.000
	VALOR RESIDUAL	12.998	18.953	26.253	18.452	27.466	38.789
	TOTAL	19.283	28.121	51.338	27.376	40.750	72.446
PROPIEDAD		7.000	9.200	12.064	6.320	8.080	10.626
FUNCIONAMIENTO		16.181	10.782	4.288	12.722	8.588	3.684
TOTAL		42.464	48.103	67.690	46.418	57.418	86.756

COSTO		MÉXICO			PERÚ		
		HONDA CIVIC	TOYOTA PRIUS	NISSAN LEAF	HONDA CIVIC	TOYOTA PRIUS	NISSAN LEAF
COMPRA	PRECIO VENTA	17.566	22.400	36.100	15.000	24.000	38.679
	IMPUESTOS	4.747	4.855	7.472	11.335	17.896	28.597
	COSTO FINANCIERO	6.128	7.485	11.967	7.233	11.506	18.476
	ESTACIÓN DE CARGA NIVEL 2	-	-	2.000	-	-	2.000
	VALOR RESIDUAL	11.452	13.988	18.515	13.516	21.502	28.793
	TOTAL	16.989	20.752	39.024	20.052	31.900	58.959
PROPIEDAD		8.048	9.536	12.495	8.800	14.664	19.077
FUNCIONAMIENTO		9.805	6.829	2.484	16.818	11.177	2.966
TOTAL		34.842	37.117	54.003	45.670	57.741	81.002

## ANEXO 2: APORTES Y SUPOSICIONES DE LA EVALUACIÓN DE COSTO-BENEFICIO

Además de lo mencionado en la sección 4, los resultados de la evaluación de costo-beneficio dependen de información recolectada y suposiciones.

### COSTOS:

La diferencia en los costos de producción está basada en la diferencia de los costos de venta presentados en la tabla A.1. Se asumió a precio actual de las baterías, que la batería de los BEV tendría que ser remplazada a los 10 años.

Para las estaciones de carga, se asumió una estación de Nivel 2 para dos BEVs y una estación de CD por 100 BEVs (IEA y Ministerial de Energía Limpia, 2013). El costo de una estación de Nivel 2 fue de 2,000 dólares estadounidenses y de una estación de CD de 50,000 dólares estadounidenses. Los costos de mantenimiento fueron de 32 y 800 dólares estadounidenses por año respectivamente.

### BENEFICIOS:

- Los costos operacionales y de consume de energía siguieron los mismos aportes utilizados para el análisis de valor de costo total (ver Anexo 1).
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> de los ICEVs se basaron en el consumo de combustible y un parámetro de 8,887 gCO<sub>2</sub> por galón, además de un incremento de 20% para compensar por la alta mezcla de etanol.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> de generación de energía para los BEVs se basaron en una matriz de electricidad para cada país (Figura 2). Las emisiones estimadas en términos de gCO<sub>2</sub> por kWh son de 165.3 en Brasil, 231.1 en Colombia, 364.9 en Perú, 425 en Argentina, 459.6 en Chile, y 471.7 en México.
- Se asumió que solo la mitad de la electricidad requerida por los BEVs implicaría una generación de electricidad adicional. Esto se hace para compensar el hecho que la mayoría de la carga de BEVs se hace fuera de las horas pico, utilizando el exceso de capacidad actual del sistema.
- Las reducciones de emisiones MP se basaron en un factor de emisión de 0.01 gr por km para los ICEVs en todos los países.







