

# Manejo ambientalmente adecuado de baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil en América del Norte

Diciembre de 2015



cec.org

Citar como:

CCA (2015), *Manejo ambientalmente adecuado de baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 111 pp.

Informe preparado por Kelleher Environmental, con la colaboración de Gracestone, Inc. y José Castro Díaz, para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. La información aquí contenida es responsabilidad de los autores y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

#### *Sobre los autores*

Kelleher Environmental es una empresa de consultoría con sede en Toronto, Ontario (Canadá), especializada en investigación ambiental, formulación de políticas y programas, y análisis de políticas sobre manejo de desechos, energía y cambio climático. Gracestone, Inc., con base en Estados Unidos, es una compañía consultora sobre manejo de materiales de ingeniería complejos difíciles de reciclar (como baterías, equipo electrónico, neumáticos, etc.), que ofrece servicios de análisis de políticas, técnicos, operacionales, de cumplimiento y programáticos. SAMI Environmental, empresa de consultoría ambiental de Timmins, Ontario (Canadá), proporciona a los sectores público y privado servicios de investigación ambiental en una amplia gama de campos. José Castro Díaz es consultor ambiental; desde la Ciudad de México, México, ofrece servicios de investigación ambiental con atención especial en desechos peligrosos y sustancias tóxicas.

Se permite la reproducción de este material sin previa autorización, siempre y cuando se haga con absoluta precisión, su uso no tenga fines comerciales y se cite debidamente la fuente, con el correspondiente crédito a la Comisión para la Cooperación Ambiental. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo "Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada", de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2015

ISBN: 978-2-89700-111-7 (versión electrónica)

*Available in English* – ISBN: 978-2-89700-110-0 (*electronic version*)

*Disponible en français* – ISBN: 978-2-89700-112-4 (*version électronique*)

Depósito legal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2015; Library and Archives Canada, 2015

#### **Detalles de la publicación**

*Categoría del documento:* publicación de proyecto

*Fecha de publicación:* diciembre de 2015

*Idioma original:* inglés

*Procedimientos de revisión y aseguramiento de la calidad:*

*Revisión final de las Partes:* julio de 2015

QA179

*Proyecto:* Plan Operativo 2013-2014: *Manejo ambientalmente adecuado de acumuladores al final de su vida útil, incluidas baterías de plomo-ácido usadas, en América del Norte*

Si desea más información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, dirijase a:

#### **Comisión para la Cooperación Ambiental**

393 rue St-Jacques Ouest, bureau 200

Montréal (Québec), Canada, H2Y 1N9

t 514.350.4300 f 514.350.4314

info@cec.org / www.cec.org



## Índice

<b>Acrónimos, siglas y abreviaturas .....</b>	<b>vii</b>
<b>Sinopsis.....</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen ejecutivo.....</b>	<b>x</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Baterías para vehículos de propulsión eléctrica: composición y ventas actuales y proyectadas .....</b>	<b>4</b>
1.1 Antecedentes y desarrollo del mercado de VPE en América del Norte .....	4
1.2 Baterías empleadas en los VPE .....	5
1.2.1 Baterías utilizadas en VEH.....	5
1.2.2 Baterías empleadas en VEHE y VTE .....	7
1.3 Diseño y composición de las baterías para VPE .....	7
1.3.1 Diseño y composición de las baterías de níquel-hidruro metálico .....	7
1.3.2 Baterías de iones de litio y otras baterías a base de litio para VPE .....	10
1.3.3 Composiciones químicas nuevas y en formulación para baterías .....	13
1.4 Ventas de VPE en Canadá, 2000 a 2013 .....	15
1.5 Ventas de vehículos de propulsión eléctrica en México, 2000 a 2013.....	18
1.6 Ventas de VPE en Estados Unidos, 2000 a 2013 .....	20
1.7 Proyecciones de ventas de baterías para VPE en América del Norte.....	24
1.8 Limitaciones del análisis .....	28
<b>2 Proyecciones de las baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil en América del Norte, a 2030 .....</b>	<b>29</b>
2.1 Duración del ciclo de vida como método para formular estimaciones sobre el final de la vida útil .....	29
2.2 Duración del ciclo de vida útil de las baterías para VPE .....	29
2.3 Reemplazo, reensamblaje y segunda vida de las baterías de VPE.....	29
2.4 Proyecciones sobre baterías de VPE al final de su vida útil hacia 2030 .....	30
2.5 Limitaciones del análisis .....	32
<b>3 Recolección, manejo, infraestructura de procesamiento y legislación vigente en torno de las baterías para vehículos de propulsión eléctrica .....</b>	<b>33</b>
3.1 Valor de los materiales de las baterías para VPE y viabilidad económica de su reciclaje .....	33
3.2 Infraestructura para la recolección y el manejo de baterías para VPE .....	34
3.3 Recicladores y desmanteladores de automóviles .....	36
3.4 Reensamblaje de baterías para vehículos de propulsión eléctrica.....	37
3.5 Sistema de reciclaje y procesamiento de baterías para vehículos de propulsión eléctrica en América del Norte .....	38
3.6 Recicladores de baterías para vehículos de propulsión eléctrica en Canadá.....	40
3.6.1 <i>Retriev (Toxco): Trail, Columbia Británica.....</i>	<i>41</i>

3.6.2	<i>Raw Materials Company, Inc.: Port Colborne, Ontario</i> .....	42
3.6.3	<i>Glencore/Xstrata: Sudbury, Ontario</i> .....	43
3.7	Infraestructura para el reciclaje y procesamiento de baterías para vehículos de propulsión eléctrica en México .....	44
3.7.1	<i>Sitrasa: Irapuato, Guanajuato</i> .....	44
3.7.2	<i>TES-AMM Latin America: Cuautitlán Izcalli, Estado de México</i> .....	44
3.8	Compañías de reciclaje de baterías para VPE en Estados Unidos .....	45
3.8.1	<i>Inmetco (International Metal Company): Elwood City, Pensilvania</i> .....	45
3.8.2	<i>Retriev (antes Kinsbursky Brothers-Toxco): Ohio</i> .....	46
3.8.3	<i>Umicore: Maxton, Carolina del Norte</i> .....	46
3.8.4	<i>MCT: Región de Atlanta, Georgia</i> .....	47
3.9	Legislación vigente sobre baterías para vehículos de propulsión eléctrica .....	48
3.9.1	<i>Canadá</i> .....	48
3.9.2	<i>México</i> .....	48
3.9.3	<i>Estados Unidos</i> .....	50
3.10	Costos del reciclaje de las baterías de VPE.....	50
<b>4</b>	<b>Manejo ambientalmente adecuado y prácticas óptimas de manejo de baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil</b> .....	<b>51</b>
4.1	Rutas ambientales de los componentes de las baterías de vehículos eléctricos híbridos (VEH), híbridos enchufables (VEHE) y totalmente eléctricos (VTE) .....	51
4.1.1	<i>Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)</i> .....	51
4.1.2	<i>Baterías de iones de litio</i> .....	53
4.2	Mejores prácticas técnicas para el reciclaje de baterías de vehículos de propulsión eléctrica .....	55
4.2.1	<i>Mejores prácticas de punta para el reciclaje de baterías de VPE en Asia</i> 55	
4.2.2	<i>Prácticas óptimas de punta para el reciclaje de baterías para VPE en Europa</i> .....	57
4.3	Investigaciones sobre el empleo de baterías de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) como dispositivos para almacenar energía .....	59
4.4	Legislación sobre prácticas óptimas para el MAA de baterías de vehículos de propulsión eléctrica .....	60
4.5	Políticas sobre prácticas óptimas.....	62
4.6	Estrategias técnicas sobre prácticas óptimas de manejo ambientalmente adecuado de baterías para VPE .....	63
4.6.1	<i>MAA de baterías para VPE en la etapa de diseño</i> .....	63
4.6.2	<i>MAA de baterías para VPE mediante el etiquetado</i> .....	64
4.6.3	<i>MAA de baterías para VPE durante el transporte</i> .....	65
4.6.4	<i>MAA de baterías para VPE en sus fases de fabricación e instalación</i> .....	65
4.6.5	<i>MAA de baterías para VPE en su etapa de uso</i> .....	66
4.6.6	<i>MAA de baterías para VPE al final de su vida útil</i> .....	66
<b>5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>68</b>
5.1	Resumen de resultados .....	68
5.2	Conclusiones y recomendaciones.....	69
	<b>Apéndice A. Descripción del modelo de duración del ciclo de vida aplicado en las estimaciones sobre el final de la vida útil de las baterías de VPE en América del Norte</b> .....	<b>70</b>

**Apéndice B. Resumen de los instrumentos de política para fomentar la compra de vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, Estados Unidos y México ..... 72**

**Bibliografía ..... 91**

**Lista de cuadros**

Cuadro 1. Tipo y peso de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos híbridos	6
Cuadro 2. Tipo y peso de las baterías para vehículos eléctricos híbridos enchufables y vehículos totalmente eléctricos.....	7
Cuadro 3. Composición típica de una celda de batería de Ni-MH.....	9
Cuadro 4. Composición promedio de los componentes de las baterías de iones de litio.....	12
Cuadro 5. Composición promedio de los distintos componentes de las baterías de iones de litio, por material.....	13
Cuadro 6. Ventas anuales y estimadas de vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, 2000-2013 .....	17
Cuadro 7. Ventas anuales de vehículos de propulsión eléctrica en México, 2006-2013 (unidades vendidas).....	20
Cuadro 8. Ventas de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) en Estados Unidos, 2000-2013 .....	23
Cuadro 9. Ventas pasadas y proyectadas de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, Estados Unidos y México, 2000-2030 .....	27
Cuadro 10. Cantidad estimada de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para VPE al final de su primera vida en el vehículo original en Canadá, Estados Unidos y México, 2010-2030.....	31
Cuadro 11. Valor de los productos básicos usados en las baterías para VPE .....	33
Cuadro 12. Plantas de reciclaje que procesan baterías de VPE al final de su vida útil en Canadá y Estados Unidos .....	40
Cuadro 13. Posibles efectos medioambientales de los componentes de las baterías de Ni-MH .....	52
Cuadro 14. Posibles efectos medioambientales de los componentes de las baterías de iones de litio .....	54
Cuadro B-1. Resumen de incentivos para apoyar el uso de VPE en Canadá .....	73
Cuadro B-2. Vehículos de propulsión eléctrica (VPE) exentos del programa de verificación de emisiones vehiculares y del programa “Hoy No Circula” en México.....	78

## Lista de gráficas

Gráfica 1. Componentes de una batería de Ni-MH .....	8
Gráfica 2. Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) para vehículos eléctricos híbridos.....	8
Gráfica 3. Esquema de los componentes de una batería de iones de litio .....	10
Gráfica 4. Batería de iones de litio del Chevrolet Volt totalmente eléctrico.....	11
Gráfica 5. Batería de iones de litio del Nissan Leaf .....	12
Gráfica 6. Ventas de vehículos híbridos, ventas de Prius y participación de los híbridos en el mercado de Estados Unidos, 1999-2012 .....	21
Gráfica 7. Participación de las diez marcas de vehículos eléctricos híbridos más vendidas en el mercado estadounidense, 2013 .....	22
Gráfica 8. Ventas mensuales totales de VPE en Estados Unidos, 2011-2013, y proyecciones para 2014 .....	23
Gráfica 9. Ventas pasadas y proyectadas de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, Estados Unidos y México, 2000-2030 .....	28
Gráfica 10. Cantidad estimada de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para VPE al final de su primera vida en el vehículo original en Canadá, Estados Unidos y México, 2010-2030.....	32
Gráfica 11. Desmantelamiento de baterías de vehículos de propulsión eléctrica en las instalaciones de Umicore, en Carolina del Norte, Estados Unidos ...	47
Gráfica 12. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de baterías de níquel-hidruro metálico: Sumimoto Metal Mining Corporation, Japón .....	55
Gráfica 13. Proceso de Honda para el reciclaje de baterías de níquel-hidruro metálico con recuperación de metales de tierras raras.....	56
Gráfica 14. Diagrama de flujo del reciclaje de baterías para vehículos eléctricos en Umicore, Bélgica .....	58
Gráfica A-1. Diagrama del flujo total de baterías para VPE que entran al sistema de reciclaje y manejo de desechos en América del Norte, usado por el modelo de duración de vida ( <i>Lifespan Model</i> ) para estimar las cantidades de baterías que llegan al final de su vida útil.....	71

## Acrónimos, siglas y abreviaturas

ACAAN	Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte
AMDA	Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores
ARA	Recicladores de Automotores de Estados Unidos ( <i>Automotive Recyclers of America</i> )
ARC	Recicladores de Automotores de Canadá ( <i>Automotive Recyclers of Canada</i> )
C2R	Call 2 Recycle
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
COV	compuestos orgánicos volátiles
DoE	Departamento de Energía ( <i>Department of Energy</i> ), Estados Unidos
DoT	Departamento de Transporte ( <i>Department of Transportation</i> ), Estados Unidos
EIA	Administración de Información sobre Energía ( <i>Energy Information Administration</i> ), Estados Unidos
EPA	Agencia de Protección Ambiental ( <i>Environmental Protection Agency</i> ), Estados Unidos
EPRI	Instituto de Investigación de Energía Eléctrica ( <i>Electric Power Research Institute</i> )
G/X	Glencore/Xstrata
Inegi	Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México
kWh	kilowatts-hora
Li-ion	iones de litio
MAA	manejo ambientalmente adecuado
MIT	Instituto Tecnológico de Massachusetts ( <i>Massachusetts Institute of Technology</i> )
MTU	Universidad Tecnológica de Michigan ( <i>Michigan Technological University</i> )
NCR	normas sobre cartera de renovables
Ni-MH	níquel-metal hidruro
PHEV	vehículo eléctrico híbrido enchufable (por sus siglas en inglés; véase también VEHE)
PRBA	Asociación para Baterías Recargables ( <i>Rechargeable Battery Association</i> ), Estados Unidos
RCRA	Ley sobre Conservación y Recuperación de Recursos ( <i>Resource Conservation and Recovery Act</i> ), Estados Unidos
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México

SMM	Sumitomo Metal Mining
SNAM	Nueva Sociedad de Refinación de Metales ( <i>Société Nouvelle d’Affinage des Métaux</i> )
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
TMC	Toyota Motor Corporation
VEH	vehículo eléctrico híbrido
VEHE	vehículo eléctrico híbrido enchufable
VFVU	vehículo al final de su vida útil
VPE	vehículo de propulsión eléctrica
VTE	vehículo totalmente eléctrico



## **Sinopsis**

El mercado de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) —incluidos los eléctricos híbridos (VEH), los eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y los totalmente eléctricos alimentados sólo con baterías (VTE)— registrará un acelerado crecimiento en las próximas décadas. En 2013, los VPE en conjunto representaron 1.44 por ciento de las ventas anuales de vehículos en Canadá, 3.81 por ciento en Estados Unidos y 0.09 por ciento en México, y se espera que esas cifras se incrementen con rapidez en los próximos años. A medida que crezca el mercado de VPE se tendrá la gran oportunidad de recuperar y reciclar los materiales utilizados en las baterías de estos vehículos (níquel, cobalto, acero y otros componentes de valor) al llegar al final de su vida útil. En este informe se describen los tipos, cantidades y composición de las baterías utilizadas en los VPE en América del Norte, y se describen a grandes rasgos las mejores prácticas y tecnologías para respaldar el manejo ambientalmente adecuado de las mismas al final de su vida útil. Se proyecta que en 2015, unas 276,000 baterías de VPE lleguen al final de su vida útil en la región. Probablemente, la mayoría será de níquel-hidruro metálico (Ni-MH), composición química predominante en las baterías empleadas en los VEH. Hacia 2030, casi 1.5 millones de baterías de VPE llegarán al final de su vida útil: cerca de la mitad será de litio, y el resto, de níquel-hidruro metálico.

La actual infraestructura interna para el manejo de esas baterías al final de su vida útil es limitada, pero se espera que vaya creciendo con los años. Hoy se exploran posibilidades prometedoras de una segunda vida para esa clase de baterías como unidades de almacenamiento de energía.

## Resumen ejecutivo

En los últimos diez años, se ha observado en América del Norte un importante crecimiento del mercado de vehículos eléctricos híbridos (VEH), vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y vehículos totalmente eléctricos (VTE), denominados en conjunto “vehículos de propulsión eléctrica” (VPE). En 2013, las ventas anuales de VEH llegaron a casi 520,000 unidades en la región. La mayoría corresponde a Estados Unidos, con unas 495,000 unidades, equivalentes a 3.2 por ciento de las ventas totales de vehículos en el país; en Canadá se vendieron unas 23,000 unidades (1.32 por ciento del total de vehículos vendidos), en tanto que —según la información disponible— en México las ventas de VEH ascendieron a unas 1,000 unidades, 0.09 por ciento de las ventas anuales de vehículos. Varios factores han contribuido a esta creciente penetración de los VPE en el mercado: preferencia de los consumidores por autos eficientes en consumo de combustible, precios crecientes de la gasolina, avances en la tecnología de las baterías, normas sobre combustible de baja emisión de carbono y apoyos gubernamentales en forma de incentivos fiscales y programas de descuentos.

Conforme aumente el número de VPE en circulación y las baterías que éstos utilizan lleguen al final de su vida útil, se abrirá una oportunidad excepcional para recuperar y reciclar los materiales empleados en dichas baterías. Es de fundamental importancia que en el reciclaje de las baterías de VPE se adopten prácticas de manejo ambientalmente adecuado (MAA) que garanticen que al realizar esas operaciones se protejan la salud humana y el medio ambiente.

Como parte del Plan Operativo 2013-2014, la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) llevó a cabo el proyecto sobre MAA de acumuladores para vehículos al final de su vida útil en América del Norte, iniciativa que incluye las baterías para vehículos híbridos y totalmente eléctricos. El objetivo de este proyecto fue determinar los tipos, contenido, cantidades, uso y manejo de las baterías de VPE al final de su vida útil en la región, así como describir las mejores prácticas y tecnologías, actuales y futuras, para su manejo ambientalmente adecuado.

En la actualidad, los vehículos de propulsión eléctrica utilizan baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) o de iones de litio (Li-ion). En 2013, cerca de 80 por ciento de dichos vehículos utilizaban las de Ni-MH, y el 20 por ciento restante, además de los híbridos, los híbridos enchufables y los totalmente eléctricos, utilizaban baterías de Li-ion, aunque la composición química precisa suele variar. Con el fin de reducir el costo y extender el ciclo de vida útil de las baterías, continúan la investigación y el desarrollo de nuevas e incipientes tecnologías en la materia.

En el cuadro siguiente se observa el incremento sustancial del número de baterías de VPE que llegarán al final de su vida útil antes de 2030 en los tres países de América del Norte, la mayor parte en Estados Unidos, donde la cantidad de vehículos eléctricos circulantes se incrementa rápidamente. Se prevé que en 2015 unas 276,000 baterías de VPE llegarán al final de su vida útil en la región. Es factible que la mayoría será de níquel-hidruro metálico (Ni-MH), composición química predominante en las baterías utilizadas en VEH. Hacia 2020, el total de baterías para VPE que lleguen al final de su vida útil se incrementará a 358,000 y, de nueva cuenta, se tratará de baterías de Ni-MH. En 2025, algunos de los VEHE y VTE que entraron al mercado en 2011 (y después) habrán alcanzado el final de su vida útil, de manera que ese número se incrementará sustancialmente: a una cifra proyectada de 849,000 unidades. Hacia 2030, casi 1.5 millones de baterías de VPE llegarán al final de su vida útil. Para entonces, cerca de la mitad será de litio, y el resto, de níquel-hidruro metálico.

### Cantidad estimada de baterías para vehículos de propulsión eléctrica (VPE) al final de su vida útil, en América del Norte, hacia 2030 (miles de unidades)

Año	Baterías para VPE al final de su vida útil en Canadá		Baterías para VPE al final de su vida útil en México		Baterías para VPE al final de su vida útil en Estados Unidos		Baterías para VPE al final de su vida útil en América del Norte		Total de baterías para VPE al final de su vida útil en América del Norte
	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion	
2015	8	2	0	0	217	49	225	51	276
2020	13	4	0	0	255	86	268	90	358
2025	37	23	6	8	528	247	571	278	849
2030	64	60	25	36	693	580	782	676	1,458

En Canadá, Estados Unidos y México ya existe una infraestructura de recolección, transporte y reciclaje de baterías para VPE al final de su vida útil que comprende las etapas propias de un MAA, pero hoy por hoy son muy pocas las empresas con la tecnología y capacidad necesarias para procesar estas baterías: Retriev, Raw Materials Company y Glencore/Xstrata, en Canadá; Inmetco, Retriev, Umicore y MCT, en Estados Unidos, y Sitrasa y TES-AMM, en México. Estas compañías están particularmente interesadas en la recuperación de metales valiosos, como el níquel de las de Ni-MH y el cobalto de las de Li-ion. Los industriales del sector expresaron su preocupación de que la nueva composición química de las baterías que se desarrolla en este momento tenga en el futuro componentes de menor valor, por lo que perdería fuerza el incentivo de un reciclaje eficaz y eficiente.

Al final de su vida útil, las baterías para VPE que se desechan conservan aún cerca de 80 por ciento de su capacidad, y si bien ya no son adecuadas para uso vehicular, todavía cuentan con capacidad razonable para almacenar energía y de carga fantasma que podría aprovecharse para el manejo de energía eléctrica residencial y comercial, estabilización de la red de suministro de energía eléctrica y la consolidación de un sistema de energía renovable. En Estados Unidos y otros países se realizan intensas investigaciones para explorar a fondo dicho potencial.

Destinar las baterías de VPE usadas a una segunda aplicación podría beneficiar al medio ambiente porque se demoraría el reciclaje y se aprovecharía totalmente su capacidad antes de reciclarlas. En el largo plazo, el reciclaje y reensamblaje de las baterías de vehículos de propulsión eléctrica desempeñarán un importante papel en la reducción de los costos de tales vehículos.

Las estimaciones presentadas en este informe tendrán que actualizarse periódicamente, conforme vaya madurando el mercado de vehículos eléctricos en América del Norte.

## Introducción

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) es una organización intergubernamental creada por Canadá, Estados Unidos y México en virtud del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). La Comisión tiene el mandato de atender las preocupaciones ambientales de la región, ayudar a prevenir posibles conflictos derivados de la relación entre comercio y medio ambiente, e impulsar la aplicación efectiva de la legislación ambiental. El ACAAN complementa las disposiciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

Como parte del Plan Operativo 2013-2014, el Consejo, órgano rector de la CCA, aprobó el proyecto *Manejo ambientalmente adecuado de acumuladores al final de su vida útil, incluidas baterías de plomo-ácido usadas, en América del Norte*.

A raíz del crecimiento del mercado de vehículos de propulsión eléctrica (VPE), comprendidos los eléctricos híbridos (VEH), los eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y los totalmente eléctricos (VTE), la CCA encargó, a principios de 2014, un estudio para examinar el uso y manejo de las baterías usadas de VEH y VTE, incluido un análisis de las mejores prácticas y tecnologías, actuales y futuras, para su manejo ambientalmente adecuado (MAA). El objetivo del proyecto: caracterizar los tipos, el contenido, las cantidades, el uso y el manejo de las baterías usadas tanto de VPE como las industriales al final de su vida útil en cada uno de los países de América del Norte.

El MAA puede definirse como *la adopción de todas las medidas practicables para asegurar que los productos usados y al final de su vida útil, así como sus desechos, se manejen de tal forma que se protejan la salud humana y el medio ambiente.*<sup>1</sup> Son numerosos los beneficios conocidos de la adopción e instrumentación de prácticas de MAA:

- El procesamiento de baterías al final de su vida útil puede causar daños graves de salud en trabajadores dedicados a tal actividad, al igual que a la comunidad y el medio ambiente en donde se realiza. El MAA en las plantas respectivas puede mejorar la salud y la seguridad de los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente.
- El MAA exige el cumplimiento de los reglamentos de salud y seguridad, así como de protección medioambiental, que se traduce en un mejor desempeño ambiental.
- El MAA puede ampliar las oportunidades de negocio de las empresas. Ahora es frecuente que los clientes pidan que los responsables de procesar los componentes de sus productos al final de su vida útil apliquen prácticas de MAA, de manera que éste puede constituir una ventaja competitiva para todas las compañías a lo largo de la cadena de abasto.
- El MAA puede incrementar la recuperación de materiales de elevado valor económico; por ejemplo, de las baterías objeto del presente estudio se pueden recuperar metales preciosos como níquel, cobalto, acero y, a veces, tierras raras.
- La instrumentación del MAA mejora la eficiencia operativa mediante la aplicación de nuevos sistemas y procedimientos orientados a reducir, reutilizar y reciclar desechos.

---

<sup>1</sup> CCA, “Materiales de capacitación de la CCA sobre manejo ambientalmente adecuado”, en: [www.cec.org/Page.asp?PageID=1226&SiteNodeID=1282](http://www.cec.org/Page.asp?PageID=1226&SiteNodeID=1282) (consulta realizada el 26 de marzo de 2015).

## Antecedentes

Hay tres diseños de vehículo de propulsión eléctrica (VPE):<sup>2</sup>

- los vehículos eléctricos híbridos (VEH), que usan dos fuentes de energía: una batería y un motor de gasolina de combustión interna, mismo que sirve para recargar la batería,
- los vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE), que tienen dos fuentes de energía, pero además pueden recargar su batería conectándose a una red de suministro eléctrico; éstos se clasifican según su autonomía, es decir, la distancia máxima que pueden recorrer sin usar al motor de combustión interna, y
- los vehículos totalmente eléctricos (VTE), que se alimentan sólo con baterías y motopropulsores eléctricos y se recargan en una red de suministro de electricidad.

Los diversos tipos de vehículo eléctrico requieren baterías con características de desempeño distintas.<sup>3</sup> Dos de las más importantes son la densidad energética y la densidad de potencia.<sup>4</sup> Mientras que las baterías con mayor densidad energética proporcionan una autonomía vehicular más amplia por carga, aquellas con mayor densidad de potencia sacrifican la autonomía a cambio de una capacidad de aceleración más rápida. Los vehículos totalmente eléctricos requieren baterías con mayor densidad energética para lograr la mayor autonomía posible entre las estaciones de recarga, en tanto que los eléctricos híbridos pueden aprovechar baterías de mayor densidad de potencia<sup>5</sup>, ya que éstas se recargan con el motor de combustión de gasolina. Ésa es la razón por la que la mayor parte de los vehículos eléctricos híbridos (alrededor de 80 por ciento en 2013) utilizan baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH), en tanto que los vehículos enchufables y los totalmente eléctricos emplean baterías de litio (Li-ion).

En el resto del estudio, los tres tipos de vehículo se describirán de manera colectiva como vehículos de propulsión eléctrica (VPE), a menos que se aluda a una clase específica del conjunto.

## Justificación

Es preciso abordar el manejo ambientalmente adecuado (MAA) de las baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil antes del futuro incremento del número de éstas. Dado el creciente uso de toda clase de vehículos eléctricos, la CCA busca saber cómo se manejan actualmente las baterías de VPE al final de su vida útil en América del Norte y determinar si hay suficiente infraestructura instalada para su manejo ambientalmente adecuado.

---

<sup>2</sup> EPA (2012), “Lithium-ion batteries and nanotechnology for electric vehicles: A life cycle assessment” (versión preliminar) [Baterías de iones de litio y nanotecnología para vehículos eléctricos: Evaluación del ciclo de vida], Environmental Protection Agency: Office of Pollution Prevention and Toxics, and National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development [Agencia de Protección Ambiental: Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas y Oficina de Investigación y Desarrollo del Laboratorio Nacional de Investigación para el Manejo de Riesgos de Estados Unidos], en: <<http://nepis.epa.gov>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>3</sup> *Idem.*

<sup>4</sup> *Idem.*

<sup>5</sup> *Idem.*

## Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo de este estudio es preparar un informe sobre las clases, contenido, cantidades, uso y manejo de las baterías de vehículos eléctricos híbridos, eléctricos híbridos enchufables y totalmente eléctricos al final de su vida útil en los tres países de América del Norte. Ello comprende el análisis de las mejores prácticas y tecnologías actuales y futuras que sustentan el manejo ambientalmente adecuado (MAA). Las tareas específicas del estudio son las siguientes:

- Identificar los tipos de baterías utilizados en vehículos híbridos y totalmente eléctricos en América del Norte y las sustancias en ellas contenidas, los riesgos de no manejar adecuadamente esos materiales y el valor económico inherente de cada uno de ellos.
- Determinar las cantidades actuales y proyectadas de baterías para VPE que entrarán al mercado de América del Norte y que llegarán al final de su vida útil entre 2010 y 2030.
- Identificar la infraestructura existente y su capacidad para manejar los diversos tipos de baterías utilizadas en vehículos de propulsión eléctrica (VPE).
- Encontrar las mejores prácticas técnicas, reglamentarias y políticas para el manejo de las baterías para VPE en otros lugares (Europa y Asia) y compararlas con las de América del Norte.
- Observar hasta qué punto se practica el MAA en el procesamiento de las baterías de VPE al final de su vida útil en América del Norte en la actualidad.

## Estructura del informe

Los resultados del proyecto de investigación se presentan de la manera siguiente:

- En el apartado 1 se describen las clases de batería utilizadas en vehículos de propulsión eléctrica y se presentan estimaciones de las ventas actuales y futuras de dichos vehículos y sus baterías en los tres países de América del Norte.
- En el apartado 2 se ofrecen proyecciones del número de baterías para VPE cuyo final de vida útil se ubica entre 2010 y 2030 en Canadá, Estados Unidos y México, así como los supuestos en que se basan dichas proyecciones.
- El apartado 3 examina la infraestructura actual de recolección y procesamiento de baterías de VPE al final de su vida útil en Canadá, Estados Unidos y México.
- El apartado 4 presenta información sobre las mejores prácticas de manejo de las baterías de VPE al fin de su vida útil y aspectos preocupantes sobre el destino ambiental de sus componentes.
- El apartado 5 cierra con conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

## 1 Baterías para vehículos de propulsión eléctrica: composición y ventas actuales y proyectadas

En este apartado se presenta información sobre la composición de las baterías que se utilizan actualmente en los vehículos de propulsión eléctrica (VPE), así como las ventas actuales y proyectadas de aquéllas en Canadá, Estados Unidos y México.

### 1.1 Antecedentes y desarrollo del mercado de VPE en América del Norte

La tecnología de los vehículos eléctricos híbridos (VEH) se desarrolló para reducir la dependencia del petróleo como combustible.<sup>6</sup> El Honda Insight se convirtió en 2000 en el primer VEH predominante en el mercado de América del Norte; otros se sumarían al mercado posteriormente. Como se señala más adelante en este apartado, las ventas de VEH fueron modestas pero crecieron de manera constante año con año. Las correspondientes a los vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y totalmente eléctricos (VTE) también crecen a un ritmo constante desde su aparición en ese mercado regional en diciembre de 2010. En 2013 se vendieron más de 618,000 VPE en el subcontinente, 3.4 por ciento del volumen total de ventas por 18.3 millones de vehículos (en los cuadros de este apartado se presentan más detalles).

Entre los factores que han contribuido al crecimiento del mercado de VPE figuran:

- la preferencia del consumidor por vehículos “ecológicos” y “respetuosos del medio ambiente”;
- los aumentos del precio de la gasolina, que motiva a los consumidores a optar por vehículos más eficientes en consumo de combustible;
- la reducción del costo y la mayor autonomía de las baterías eléctricas;<sup>7</sup>
- mayor tranquilidad respecto de la tecnología porque los VPE llevan más tiempo en el mercado y los adquieren más consumidores, etcétera;
- tarifas de estacionamiento más bajas, autorización para utilizar los carriles reservados para automóviles con varios pasajeros y otros incentivos que se ofrecen en algunas ciudades;<sup>8</sup>
- metas obligatorias de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y requisitos para cumplir los objetivos de bajas emisiones de los vehículos, mediante especificaciones de compra;
- acciones de todos los niveles de gobierno para contar con flotas respetuosas del medio ambiente y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>;
- normas para combustibles con emisiones bajas en carbono y límites de emisión en algunas localidades, lo cual impulsa la adquisición de vehículos de emisiones bajas o nulas, y
- el apoyo gubernamental en forma de incentivos al impuesto sobre la renta,<sup>9</sup> programas de descuentos o subvenciones.

<sup>6</sup> En Estados Unidos, las primeras investigaciones se derivaron del estudio conjunto del Departamento de Energía (*Department of Energy*, DoE), el Laboratorio Nacional sobre Energía Renovable (*National Renewable Energy Laboratory*, NREL) y la industria automotriz.

<sup>7</sup> J. Perdiguero y J. Jiménez (2012), *Policy options for the promotion of electric vehicles: A review* [Revisión de opciones de política para fomentar el uso de vehículos eléctricos], Institut de Recerca en Economia Aplicada Regional i Pública (IREA) [Instituto de Investigación de Economía Aplicada Regional y Pública], disponible en: <[www.ub.edu/irea/working\\_papers/2012/201208.pdf](http://www.ub.edu/irea/working_papers/2012/201208.pdf)>.

<sup>8</sup> *Idem.*



## 1.2 Baterías empleadas en los VPE

Las baterías para vehículos de propulsión eléctrica (VPE) deben brindar una combinación de:

- densidad de potencia, que influye en la cantidad de energía que puede proporcionar en un lapso determinado y, por tanto, en la velocidad de aceleración del vehículo, y
- densidad energética, que es la capacidad de almacenamiento de energía y tiene que ver con la autonomía de un VPE; es decir, con la distancia que puede recorrer entre recargas.

En la actualidad se utilizan dos tipos de batería en los VPE:

- baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) (sobre todo para vehículos híbridos por los requerimientos de energía y porque se pueden cargar desde el motor), o
- baterías de iones de litio (Li-ion) (para vehículos totalmente eléctricos y eléctricos híbridos enchufables, que se cargan en una red eléctrica).<sup>10</sup>

### 1.2.1 Baterías utilizadas en VEH

En el cuadro 1 se presenta información sobre el tipo y el peso de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos híbridos (VEH). Nótese que Toyota (que en este momento domina el mercado de esa clase de vehículos) utiliza baterías de níquel-hidruro metálico para sus VEH, aunque, al igual que otros fabricantes, recurre a las de litio para los híbridos enchufables y los totalmente eléctricos. Ford usa baterías de litio para sus VEH (Ford Fusion y Ford C-Max) y la Hyundai también las emplea en su VEH Sonata. Cada fabricante decide en función de diversos factores. Toyota probó las baterías de litio en sus VEH, pero prefirió seguir con las de Ni-MH. Con base en la participación correspondiente a cada fabricante de automóviles en el mercado de Estados Unidos (país de América del Norte donde, por mucho, se venden más vehículos híbridos, como se analiza más adelante en este apartado), cerca de 19 por ciento de los VEH utiliza baterías de Li-ion, en tanto que casi 81 por ciento emplea las de Ni-MH. Este valor excluye a los híbridos enchufables, que en todos los casos emplean baterías de Li-ion.

---

<sup>9</sup> A. Beresteanu y S. Li (2008), *Gasoline prices, government support, and the demand for hybrid vehicles in the U.S.* [Precios de la gasolina, apoyo gubernamental y demanda de vehículos híbridos en Estados Unidos], disponible en: <<http://public.econ.duke.edu/Papers/PDF/hybrid.pdf>>.

<sup>10</sup> DoE, “Batteries for hybrid and plug-in electric vehicles” [Baterías para vehículos eléctricos híbridos y enchufables], US Department of Energy [Departamento de Energía de Estados Unidos], en: <[www.afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).



**Cuadro 1. Tipo y peso de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos híbridos**

Modelo	Tipo de batería	Peso de la batería	Porcentaje de VEH en el mercado de Estados Unidos <sup>a</sup>
Toyota Prius <i>liftback</i> (con portón trasero) híbrido	Batería de níquel-hidruro metálico de 1.3 kWh	42 kg (92 lb) <sup>b</sup>	29.3%
Toyota Camry híbrido	Batería de níquel-hidruro metálico de 1.6 kWh	56 kg (124 lb) <sup>c</sup>	9.0%
Toyota Prius c híbrido	Batería de níquel-hidruro metálico de 0.9 kWh	31 kg (68 lb) <sup>d</sup>	8.5%
Ford Fusion híbrido	Batería de iones de litio de 1.4 kWh <sup>e</sup>	48 kg (106 lb) <sup>f</sup>	7.5%
Toyota Prius v	Batería de níquel-hidruro metálico de 1.3 kWh	41 kg (90 lb) <sup>g</sup>	7.1%
Ford C-Max híbrido	Batería de iones de litio de 1.4 kWh <sup>h</sup>	No se dispone de datos	5.7%
Hyundai Sonata híbrido	Batería de polímero de litio de 1.4 kWh	44 kg (96 lb) <sup>i</sup>	4.4%
Lexus ES híbrido/300h	Batería de níquel-hidruro metálico de 1.6 kWh	46 kg (103 lb) <sup>j</sup>	3.3%
Toyota Avalon híbrido	Batería de níquel-hidruro metálico de 1.6 kWh	68 kg (150 lb) <sup>k</sup>	3.3%
Lexus CT200h híbrido	Batería de níquel-hidruro metálico de 1.3 kWh	41 kg (90 lb) <sup>l</sup>	3.0%

Nota: kWh = kilowatts-hora; kg = kilogramos; lb = libras.

Fuentes:

<sup>a</sup> Para más detalles, consúltese *infra*, en este apartado.

<sup>b</sup> SAE International (2012), “NAIAS 2012: Toyota shows smaller, lighter Prius and plug-in concept targeted for 2015” [NAIAS 2012: Toyota muestra un Prius más pequeño y más ligero, y un concepto enchufable para 2015], en: <<http://articles.sae.org/10558/>> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>c</sup> Grayson Hyundai, “Hyundai Sonata Hybrid” [El Sonata híbrido de Hyundai], en: <[www.graysonhyundai.com/sonata-hybrid.htm](http://www.graysonhyundai.com/sonata-hybrid.htm)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>d</sup> SAE International (2012), “NAIAS 2012: Toyota shows smaller, lighter Prius and plug-in concept targeted for 2015” [NAIAS 2012: Toyota muestra un Prius más pequeño, más ligero, y un concepto enchufable para 2015], en: <<http://articles.sae.org/10558/>> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>e</sup> J. P. Huffman (2012), “2013 Ford Fusion Hybrid” [El Ford Fusion híbrido 2013], *Car and Driver*, en: <[www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-fusion-hybrid-first-drive-review](http://www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-fusion-hybrid-first-drive-review)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>f</sup> Car Buying Strategies (2013), “Ford Fusion Hybrid review: Buying guide” [Reseña sobre el Ford Fusion híbrido; guía para el comprador], *Car Buying Strategies*, en: <[www.car-buying-strategies.com/Ford/2013-fusion-hybrid.html](http://www.car-buying-strategies.com/Ford/2013-fusion-hybrid.html)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>g</sup> Toyota Motor Corporation (2011), *Toyota Prius V gasoline-electric hybrid synergy drive: Hybrid vehicle dismantling manual* [Sinergia entre gasolina y tracción híbrida eléctrica en el Toyota Prius V: Manual de desmantelamiento de un vehículo híbrido], disponible en: <<https://techinfo.toyota.com/techInfoPortal/staticcontent/en/techinfo/html/prelogin/docs/priusvdisman.pdf>>

<sup>h</sup> A. Robinson (2012), “2013 Ford C-Max Hybrid” [Ford C-Max híbrido 2013], *Car and Driver*, en: <[www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-c-max-hybrid-first-drive-review](http://www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-c-max-hybrid-first-drive-review)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>i</sup> M. Austin (2010), “2011 Hyundai Sonata Hybrid” [Sonata Hyundai híbrido 2011], *Car and Driver*, en: <[www.caranddriver.com/reviews/2011-hyundai-sonata-hybrid-prototype-drive-review](http://www.caranddriver.com/reviews/2011-hyundai-sonata-hybrid-prototype-drive-review)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>j</sup> Toyota Motor Corporation (2012), *Lexus ES300h Hybrid 2013 Model: Emergency response guide* [Lexus ES300h híbrido, modelo 2013: guía para emergencias], disponible en: <<http://afvsafetytraining.com/erg/Lexus-ES300-2013.pdf>>.

<sup>k</sup> J. Raia (2012), “2013 Toyota Avalon Hybrid: Redesign adds further appeal to surprising sedan” [Avalon Toyota 2013 híbrido: nuevo diseño hace más atractivo a un sorprendente sedán], *The Weekly Driver*, en: <<http://theweeklydriver.com/2013-toyota-avalon-hybrid-redesign-adds-further-appeal-surprising-sedan/>> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

<sup>l</sup> Toyota Motor Corporation (2010), *Lexus CT200h Hybrid 2011 Model: Emergency response guide* [Lexus CT200h híbrido, modelo 2011: guía para emergencias], disponible en: <<http://afvsafetytraining.com/erg/Lexus-CT200h-2011.pdf>>.

## 1.2.2 Baterías empleadas en VEHE y VTE

En el cuadro 2 se presenta la información disponible sobre el tipo y el peso de las baterías para vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y vehículos totalmente eléctricos (VTE), los cuales necesitan baterías de litio por requerimientos de potencia y energía. Las baterías para esos vehículos son considerablemente más pesadas que las de los VEH: entre 150 y 450 kilogramos (kg) por unidad.

**Cuadro 2. Tipo y peso de las baterías para vehículos eléctricos híbridos enchufables y vehículos totalmente eléctricos**

Modelo	Tipo de vehículo	Tipo de batería	Peso de la batería
Toyota Prius PHEV	Híbrido enchufable	Batería de iones de litio de 4.4 kWh	150 kg (330 lb)
Fisker Karma	Híbrido enchufable	Batería de iones de litio de 20 kWh con tecnología de nanofosfato	273 kg (600 lb)
Ford Fusion Energi	Híbrido enchufable	Batería de iones de litio de 7.6 kWh	No se dispone de datos
Chevrolet Volt	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio de 16 kWh con más de 200 celdas de iones de litio	182 kg (400 lb)
Nissan Leaf	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio de 24 kWh que consta de 48 módulos de iones de litio	294 kg (647 lb)
Mitsubishi iMiEV	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio de 16 kWh con 88 celdas	150 kg (329 lb)
Tesla modelo S	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio en tres opciones: de 40, 60 u 85 kWh	Batería de 85 kWh que pesa 600 kg (1,323 lb)
Ford Focus eléctrico	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio de 23 kWh con refrigeración líquida	No se dispone de datos
Smart eléctrico	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio de 17.6 kWh	182 kg (400 lb)
Tesla Roadster	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio de 56 kWh que consta de 6,831 celdas de iones de litio	450 kg (990 lb)
Toyota RAV4 EV	Totalmente eléctrico	Batería de iones de litio de 41.8 kWh que consta de 4,500 celdas	423 kg (845 lb)

*Nota:* kWh = kilowatts-hora; kg = kilogramos; lb = libras.

No se encontró información disponible sobre el número de unidades vendidas de cada tipo de VEHE y VTE, por lo que fue imposible determinar su participación en el mercado.

## 1.3 Diseño y composición de las baterías para VPE

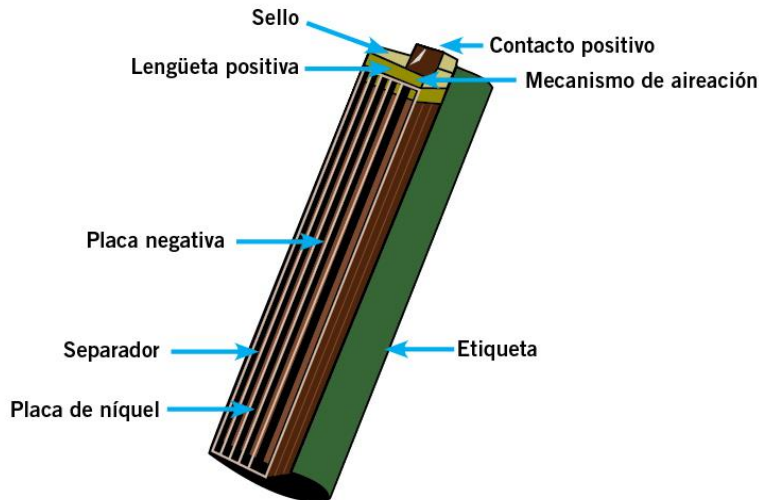
El reciclaje de las baterías para VPE (véase el apartado 4) lo determina la composición de la batería en cuestión, aspecto que se analiza en el presente apartado.

### 1.3.1 Diseño y composición de las baterías de níquel-hidruro metálico

Las baterías de Ni-MH constan de un electrodo positivo, un electrodo negativo, un electrolito y un separador. En una pila de Ni-MH el electrodo positivo suele ser de hidróxido de níquel, de ahí su nombre, en tanto que el negativo es por lo general de un material de hidruro metálico o aleaciones absorbentes de hidrógeno, pero los metales utilizados varían (con frecuencia se utilizan aleaciones de paladio, zirconio, vanadio o titanio, por ejemplo). El electrolito es una solución química acuosa, casi siempre hidróxido de potasio, que permite la transferencia de iones entre el electrodo positivo y el negativo. El separador está hecho de delgadas fibras de nailon y se usa para separar físicamente estos electrodos y, al mismo tiempo, permitir la transferencia de iones.

La gráfica 1 es una representación esquemática de los diversos componentes de una batería de Ni-MH. La imagen muestra la estructura de una batería de Ni-MH de uso general, puesto que no se encontraron esquemas de baterías de Ni-MH para VPE.

**Gráfica 1. Componentes de una batería de Ni-MH**



*Fuente:* Energizer (2010), *Nickel Metal Hydride (NiMH) Handbook and Application Manual* [Guía y manual de aplicación de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)], disponible en: <[http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride\\_appman.pdf](http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride_appman.pdf)>.

La gráfica 2 muestra una batería de Ni-MH típica para vehículos eléctricos híbridos.

**Gráfica 2. Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) para vehículos eléctricos híbridos**



*Fuente:* B. Berman (2010), “Toyota: Nickel batteries for hybrids, lithium for electric cars” [Toyota: Batería de níquel para automóviles híbridos, de litio para automóviles eléctricos], *Hybrid Cars*, en: <[www.hybridcars.com/toyota-nickel-batterys-hybrids-lithium-electric-cars-29073/](http://www.hybridcars.com/toyota-nickel-batterys-hybrids-lithium-electric-cars-29073/)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Toyota (hoy en día el principal fabricante de vehículos híbridos) utiliza baterías de Ni-MH en sus VEH. Esta clase de batería se usa también en otros vehículos, como el Ford Escape Hybrid, el Honda Insight y el Saturn VUE.<sup>11</sup> Toyota probó las baterías de litio en sus vehículos híbridos, pero decidió seguir con las de Ni-MH.

En el cuadro 3 se presenta la composición típica de una celda de batería de Ni-MH que utiliza dos tipos de aleaciones (en el cuadro, AB2 y AB5 se refieren a las aleaciones utilizadas más comunes).<sup>12</sup> En todos los casos, las baterías para vehículos constan de cierto número de celdas separadas.

La composición puede variar considerablemente según la aplicación:

- Ni-MH-AB2: baterías cuyos ánodos de Ni-MH están constituidos por el siguiente grupo de metales: titanio (Ti), zirconio (Zr), Ni y vanadio (V).
- Ni-MH-AB5: baterías cuyos ánodos están constituidos por una “mezcla de metales” (metales de la serie de los lantánidos —o metales de tierras raras—, del lantano al lutecio).

**Cuadro 3. Composición típica de una celda de batería de Ni-MH**

Material	Composición de una batería de Ni-MH con aleación AB2	Composición de una batería de Ni-MH con aleación AB5
Ni	12%	15%
Hidróxido de níquel (II) [Ni(OH)2]	12%	15%
Metales: níquel [Ni], titanio [Ti], vanadio [V], zirconio [Zr]	13%	
Metales: lantano [La], neodimio [Nd], praseodimio [Pr], cerio [Ce]		8%
KOH (hidróxido de potasio)	3%	3%
Polipropileno (plástico)	5%	5%
Acero	44%	44%
Otros	11%	10%

Fuente: V. Ekermo (2009), *Recycling opportunities for Li-ion batteries from hybrid electric vehicles* [Oportunidades de reciclaje de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos híbridos], tesis para obtener el grado de maestría en Ciencias, Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química y Biológica, Universidad Tecnológica Chalmers, en: <[www.yumpu.com/en/document/view/3270204/recycling-opportunities-for-li-ion-batterys-from-hybrid-electric-vehicles](http://www.yumpu.com/en/document/view/3270204/recycling-opportunities-for-li-ion-batterys-from-hybrid-electric-vehicles)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

El níquel de las baterías de Ni-MH es lo más valioso para los recicladores. Empresas como Umicore (belga) cuentan con sistemas complejos para recuperar también los metales de tierras raras.

<sup>11</sup> B. Berman (2008), “The hybrid car battery: A definitive guide” [La batería del auto híbrido: guía completa], *Hybrid Cars*, en: <[www.hybridcars.com/hybrid-car-batería/](http://www.hybridcars.com/hybrid-car-batería/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2014).

<sup>12</sup> A. Mathur (2012), “Insight—How NiMH cell works” [Cómo funciona la celda de NiMH], *Engineers Garage*, en: <[www.engineersgarage.com/insight/how-nimh-cell-works](http://www.engineersgarage.com/insight/how-nimh-cell-works)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

### 1.3.2 Baterías de iones de litio y otras baterías a base de litio para VPE

El término “batería de iones de litio (Li-ion)” describe a una familia de baterías cuya composición química es la siguiente:<sup>13</sup>

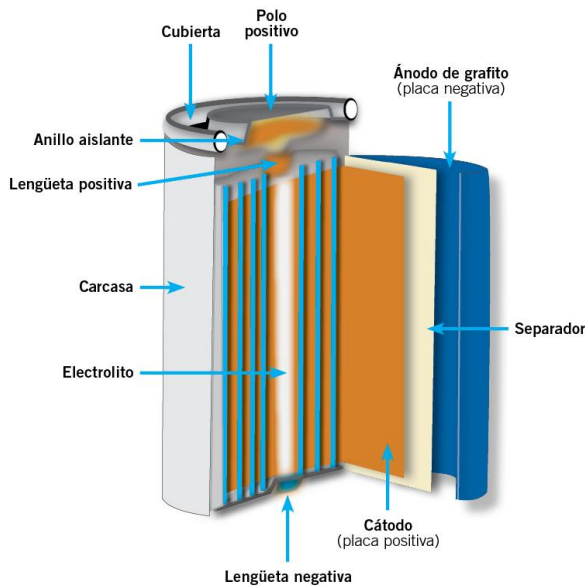
- óxido de litio cobalto (también litio óxido de cobalto o iones de litio-cobalto);
- óxido del manganeso de litio (también manganato del litio o iones de litio-manganeso);
- litio ferrofosfato;
- óxido de litio-níquel-manganeso-cobalto (también óxidos de litio-manganeso-cobalto);
- óxidos de litio-níquel-cobalto-aluminio, y
- titanato de litio.

Los tres principales componentes funcionales de una batería Li-ion son:

- electrodo positivo,
- electrodo negativo, y
- electrolito.

En la gráfica 3 se presenta un esquema de los componentes de la batería de Li-ion.

**Gráfica 3. Esquema de los componentes de una batería de iones de litio**



*Fuente:* Chris Hillseth Enterprises (2014), “Lithium battery” [Batería de litio], en: <http://chrishillsethenterprises.com/battery/wp-content/uploads/2014/01/lithiumbattery.jpg> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

<sup>13</sup> Battery University, “BU-205: Types of lithium-ion” [BU-205: Tipos de iones de litio], *Battery University*, en: [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion) (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).



En general, el electrodo negativo de una celda convencional de iones de litio es de carbono, y el positivo de óxido metálico; electrolito es una sal de litio en un solvente orgánico.

El electrodo negativo más popular en el mercado es de grafito, en tanto que el positivo suele ser uno de estos tres materiales:

- óxido laminado (como óxido de litio o cobalto);
- polianión (como fosfato de litio-hierro), o
- espinela (como óxido de litio-manganeso).

El litio puro es muy reactivo: reacciona vigorosamente con el agua para formar hidróxido de litio y gas hidrógeno. Por ello, suele utilizarse un electrolito no acuoso y el empaque está perfectamente sellado para impedir que la batería se humedezca.

En general, el electrolito es una mezcla de carbonatos orgánicos, como carbonato de etileno o carbonato dietílico, que contiene complejos de iones de litio. Estos electrolitos no acuosos usan, por lo general, sales de aniones no coordinados, como hexafluorofosfato de litio ( $\text{LiPF}_6$ ), monohidrato de hexafluoroarsenato de litio ( $\text{LiAsF}_6$ ), perclorato de litio ( $\text{LiClO}_4$ ), tetrafluoroborato de litio ( $\text{LiBF}_4$ ) y triflato de litio ( $\text{LiCF}_3\text{SO}_3$ ).

La gráfica 4 representa una batería de Li-ion para el Chevrolet Volt totalmente eléctrico (VTE).

#### **Gráfica 4. Batería de iones de litio del Chevrolet Volt totalmente eléctrico**



*Fuente:* J. O'Dell (2014), "What happens to EV and hybrid batteries? Going green with battery recycling" [¿Qué pasa con las baterías de automóviles eléctricos e híbridos? Respetemos el medio ambiente reciclando las baterías], *Edmunds*, en: <[www.edmunds.com/fuel-economy/what-happens-to-ev-and-hybrid-batterys.html](http://www.edmunds.com/fuel-economy/what-happens-to-ev-and-hybrid-batterys.html)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

La gráfica 5 muestra una batería de Li-ion para el Nissan Leaf. Dentro de la carcasa se encuentra una serie de baterías constituidas por varias celdas. Para el reciclaje, lo usual es extraer las baterías de la carcasa.

**Gráfica 5. Batería de iones de litio del Nissan Leaf**



Fuente: J. O'Dell (2014), "What happens to EV and hybrid battery? Going green with battery recycling" [¿Qué pasa con las baterías de vehículos totalmente eléctricos e híbridos? Respetemos el medio ambiente reciclando las baterías], *Edmunds*, en: <[www.edmunds.com/fuel-economy/what-happens-to-ev-and-hybrid-batteries.html](http://www.edmunds.com/fuel-economy/what-happens-to-ev-and-hybrid-batteries.html)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

En el cuadro 4 se presentan los pesos relativos de diferentes componentes de las baterías de litio típicas.

**Cuadro 4. Composición promedio de los componentes de las baterías de iones de litio**

Componente de la batería de iones de litio	Composición (porcentaje por peso)
Cátodo + ánodo + electrolito	39.1% ± 1.1%
Carcasa de plástico	22.9% ± 0.7%
Carcasa de acero	10.5% ± 1.1%
Película de cobre	8.9% ± 0.3%
Película de aluminio	6.1% ± 0.6%
Película de polímero (separador cátodo-ánodo) + electrolito	5.2% ± 0.4%
Solvente no acuoso	4.7% ± 0.2%
Contactos eléctricos	2.0% ± 0.5%

Fuente: ASEAN Environment, disponible en: <[www.aseanenvironment.info/Abstract/41016797.pdf](http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41016797.pdf)>.

En el cuadro 5 se detallan los materiales específicos del cátodo, ánodo, electrolito, separador y carcasa.

**Cuadro 5. Composición promedio de los distintos componentes de las baterías de iones de litio, por material**

Componente de las baterías de iones de litio	Materiales	Porcentaje de la composición (%)
Cátodos	$\text{Li}_2\text{CO}_3$ (carbonato de litio) $\text{LiCoO}_2$ (óxido de litio-cobalto) $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ (óxido de litio-manganeso) $\text{LiNiO}_2$ (óxido de litio-nitrógeno) $\text{LiFePO}_4$ (fosfato de litio-hierro) $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$	15–27
Ánodos	$\text{LiC}_6$ (grafito) $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	10–18
Electrolito	Carbonato de etileno Dietil carbonato $\text{LiPF}_6$ (hexafluorofosfato de litio) $\text{LiBF}_4$ (tetrafluoroborato de litio) $\text{LiClO}_4$ (perclorato de litio)	10–16
Separador	Polipropileno	3–5
Carcasa	Acero	40

Fuente: L. Sullivan y L. Gaines (2010), “A review of battery life-cycle analysis: State of knowledge and critical needs” [Reseña del análisis del ciclo de vida de las baterías: Estado de los conocimientos y necesidades críticas], Argonne National Laboratory, Energy Systems Division [Laboratorio Nacional de Argonne, División de Sistemas de Energía], en: <[https://greet.es.anl.gov/files/batterys\\_lca](https://greet.es.anl.gov/files/batterys_lca)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

En el cuadro 5 se observa que algunas de las baterías de litio están constituidas hasta por 40 por ciento de acero y cantidades menores de otros materiales. Por su gran valor, el material de mayor interés para los recicladores es el cobalto (Co). Sin embargo, dado su elevado costo, los diseñadores de baterías empiezan a optar por otras composiciones químicas que no usan cobalto. Este desarrollo del mercado no es favorable para incentivar el reciclaje de las baterías de litio, puesto que para el reciclador el valor de la batería reside en el contenido de cobalto.

### 1.3.3 Composiciones químicas nuevas y en formulación para baterías

La investigación y el desarrollo tendientes a reducir el costo de las baterías y alargar su ciclo de vida útil siguen su curso. Son numerosas las alianzas que trabajan en este sentido, entre otras: la formada entre el programa Diseño para el Medio Ambiente (*Design for Environment*) de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) de Estados Unidos y la Oficina de Investigación y Desarrollo de Baterías y Nanotecnología para Vehículos Eléctricos (*Office of Research and Development on Batterys and Nanotechnology for Electric Vehicles*); el Departamento de Energía de Estados Unidos (*US Department of Energy*, DOE); la Universidad Estatal de Arizona; Electrovaya Inc., Energel Inc., Umicore Group, Kinsbursky Brothers Inc. (Toxco); RSR Technologies Inc., Novolyte Technologies Inc., el Instituto Tecnológico de Rochester; NextEnergy; la Asociación para Baterías Recargables (*Rechargeable Battery Association*, PRBA) y la Alianza Nacional para Baterías de Tecnología Avanzada (*National Alliance for Advanced Technology Batterys*, NAATBatt), entre otras.

Actualmente se dispone de numerosas composiciones químicas de iones de litio (Li-ion) que se ponen a prueba para mejorar su diseño y desempeño y bajar los costos de las baterías. En Estados Unidos se construyen plantas para fabricar baterías de Li-ion con el apoyo financiero de un programa de subvenciones por 2,400 millones de dólares, creado por el gobierno de Obama para fomentar el uso de vehículos eléctricos.



Son muchas las investigaciones en curso para hacer baterías no sólo más seguras sino más ligeras, con mayor autonomía y menor costo. Las tecnologías en proceso incluyen las siguientes:

- *Iones de litio con electrodo positivo de nanotubos de carbono*, Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés):<sup>14</sup> Los científicos del MIT están trabajando en un cátodo (electrodo a través del cual fluyen los electrones hacia el exterior de una batería) susceptible de almacenar y liberar muchos más iones positivos que una batería de litio convencional mediante capas de nanotubos de carbono, que son resistentes filamentos microscópicos huecos, con una superficie relativamente amplia. Los nanotubos que se utilizaron en una demostración realizada en 2010 en el MIT ya están disponibles en el comercio, pero dado el tiempo que exigen las pruebas y el desarrollo, aún faltan cuando menos cinco años para que haya electrodos para condensadores o baterías con potencial de comercialización. Si se suma ese lapso al típico programa de desarrollo de un vehículo nuevo de cinco años, podría transcurrir una década antes de que estos condensadores o baterías híbridos se incorporen a la producción de vehículos totalmente eléctricos.
- *Litio con cátodo de nanoalambre de cobre*, Universidad Estatal de Colorado (CSU, por sus siglas en inglés): En la batería de litio con cátodo de nanoalambre de cobre que desarrolla actualmente la CSU, el electrodo de grafito conductor poroso se reemplazaría por finos alambres microscópicos de cobre. Con esta batería se ha incrementado a tal grado la capacidad de almacenamiento de energía respecto de las que están en uso que ha dado lugar a la creación de una empresa comercial, parcialmente financiada con los apoyos que el Departamento de Energía de Estados Unidos proporciona para la investigación sobre vehículos eléctricos.
- *Litio-aire y carbono*, IBM: El objetivo de IBM es incrementar a 800 kilómetros (500 millas) la autonomía de un vehículo de baterías antes de tener que recargarlas. Para lograrlo, la empresa está creando una batería de litio-aire con una densidad de energía potencialmente mucho mayor que la de las actuales baterías de iones de litio. IBM informa que su batería puede durar mucho más después de una recarga porque utiliza electrodos de carbono en los cuales los iones reaccionan con oxígeno, pero ese oxígeno no agota el medio electrolítico. Se considera que esta tecnología no estará disponible para los fabricantes de automóviles antes de 2020.
- *Litio y silicio*, Universidad del Noroeste: Los investigadores de la McCormick School of Engineering and Applied Science (Escuela McCormick de Ingeniería y Ciencia Aplicada) de la Universidad del Noroeste estudian el uso de electrodos de silicio en vez de los de carbono con la esperanza de construir una batería con mayor capacidad de almacenamiento y, por consiguiente, mayor autonomía.
- *Condensador de espuma de carbono híbrido*, Universidad Tecnológica de Michigan (MTU, por sus siglas en inglés): Los científicos de la MTU investigan sobre un dispositivo de almacenamiento de energía que combine la densidad de almacenamiento eléctrico de una batería química con la potencia óptima de un condensador de estado sólido. Utilizando un ánodo de carbono, el híbrido batería-condensador no sólo pesa menos que una batería de litio convencional, sino que suministra una porción mayor de su carga que un condensador típico. La unidad puede recargarse miles de veces sin que muestre signos de degradación en su desempeño.

---

<sup>14</sup> P. Berg, “8 potential EV and hybrid battery breakthroughs: Why wild new battery technology could soon mean EVs with a 500-mile range” [Ocho posibles logros en baterías para vehículos híbridos y eléctricos: Por qué la nueva y emocionante tecnología de baterías podría pronto traducirse en vehículos totalmente eléctricos con una autonomía de 500 millas], *Popular Mechanics*, en: <[www.popularmechanics.com/cars/g785/8-potential-ev-and-hybrid-battery-breakthroughs/](http://www.popularmechanics.com/cars/g785/8-potential-ev-and-hybrid-battery-breakthroughs/)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

- *Polímero de litio y silicio*, Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL, por sus siglas en inglés) y Departamento de Energía de Estados Unidos: Científicos del LBNL, en California, elaboran una batería de polímero de litio y silicio que utiliza electrodos de silicio y un polímero especialmente fabricado que mantiene la estructura de los electrodos mientras éstos se expanden y contraen. Esto permite que la batería almacene más energía que las baterías de hoy en día.
- *Litio y nanofibras de silicio recubiertas con azufre*, Universidad de Stanford:<sup>15</sup> Científicos de la Universidad de Stanford estudian el incremento de la densidad de potencia con nanofibras de silicio recubiertas con azufre.
- *Compuesto de litio y manganeso-nanocompuesto de silicio y carbono*, Envia Systems: El principal avance de Envia es haber patentado un material para cátodos con base de manganeso, metal abundante que se mantiene estable en la batería. Asimismo, informa Envia, el manganeso es menos caro que los materiales más comunes utilizados para cátodos con base de cobalto. La empresa se ha beneficiado con subvenciones de empresas automovilísticas estadounidenses y dependencias relacionadas con aspectos de energía de California con miras a seguir fabricando la batería para uso comercial; comenta que en vehículos totalmente eléctricos podría ofrecer una autonomía de 480 km (300 millas).
- *Diseño perfeccionado de baterías de Ni-MH*, BASF:<sup>16</sup> Las baterías de Ni-MH actuales tienen una densidad energética de 1 kilowatt-hora (kWh). Para que sean un sustituto viable de las de iones de litio, su densidad energética debe ser de 30 a 50 kWh. BASF está tratando de crear aleaciones híbridas de metal usando metales de bajo costo que reemplacen a los metales de tierras raras en las baterías de Ni-MH y de mejorar su composición química, además de hacer que las nuevas baterías sean más baratas y eficientes. Sin embargo, para vehículos totalmente eléctricos, el litio aún supera al Ni-MH porque es considerablemente más ligero.

Las entrevistas con miembros de las industrias del reciclaje tanto de baterías como de metales indican que los industriales no esperan que surjan próximamente diseños importantes, de modo que en el corto y mediano plazos seguirán usándose baterías de Ni-MH y varias litio.

## 1.4 Ventas de VPE en Canadá, 2000 a 2013

### Ventas de vehículos eléctricos híbridos (VEH) en Canadá

Si bien durante la investigación se encontraron varias fuentes de datos sobre las ventas de vehículos de propulsión eléctrica en Estados Unidos, las correspondientes a Canadá son muy escasas hasta los últimos tres o cuatro años. En varios sitios web dedicados a esos vehículos, las estadísticas empezaban en 2010 (cuando los vehículos eléctricos híbridos enchufables y los totalmente eléctricos entraron al mercado canadiense).

---

<sup>15</sup> Pacific Northwest National Laboratory (2014), “Batteries development may extend range of electric cars” [El avance de las baterías podría ampliar la autonomía de los automóviles eléctricos], Pacific Northwest National Laboratory [Laboratorio Nacional del Noroeste del Pacífico], *Science Daily*, en: <[www.sciencedaily.com/releases/2014/01/140109175504.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2014/01/140109175504.htm)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

<sup>16</sup> K. Hiler (2013), “What’s next in electric-car-battery tech” [Qué sigue en la tecnología de baterías para automóviles eléctricos], *Popular Mechanics*, en: <[www.popularmechanics.com/cars/alternative-fuel/electric/whats-next-in-electric-car-bateria-tech-16280750](http://www.popularmechanics.com/cars/alternative-fuel/electric/whats-next-in-electric-car-bateria-tech-16280750)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

La cifra total de vehículos de propulsión eléctrica vendidos en Canadá a partir de julio de 2009 se calcula en 60,000, de los 21.6 millones de vehículos registrados.<sup>17</sup> En un documento preparado por Sustainable Waterloo<sup>18</sup> (organismo no lucrativo de la región de Waterloo que guía a las organizaciones hacia un futuro más sustentable con una perspectiva medioambiental), se encontraron datos sobre las ventas de vehículos híbridos en Canadá de 2004 a 2009, los cuales provenían de una investigación de Polk Canadá (importante empresa de consultoría automovilística) sobre vehículos híbridos canadienses registrados. Las ventas estimadas de VEH en 2010-2013 se basan en datos de las ventas prorrateadas de VEH en Estados Unidos (que están bien documentadas), tomando en cuenta diferentes tasas de penetración del mercado (como porcentaje de las ventas totales de vehículos) en ambos países.

En el cuadro 6 se presentan estimaciones disponibles de las ventas anuales de VEH en Canadá, del año 2000 (en que sólo se vendieron 400 unidades, 0.03 por ciento del total de vehículos vendidos) a 2013 (cuando las ventas anuales estimadas rebasaron las 23,000 unidades, 1.32 por ciento del total de vehículos vendidos).

### **Ventas de vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y vehículos totalmente eléctricos (VTE) en Canadá**

En el sitio web de la Asociación de Transportes Eléctricos (*Electric Drive Transportation Association*), que publica mensualmente datos sobre la venta de vehículos, se encontró información sobre las ventas de vehículos eléctricos híbridos y totalmente eléctricos en Canadá de diciembre de 2010 (cuando entraron al mercado canadiense) a finales de 2013.<sup>19</sup> En el cuadro 6 se observa que en 2011 se vendieron sólo 468 unidades (fue el primer año completo en que dichos vehículos estuvieron disponibles en el mercado canadiense) y que en 2013 la cifra ascendió a 2,183.

### **Ventas totales de VPE en Canadá**

En el cuadro 6 se presentan las ventas anuales estimadas de toda clase de VPE en Canadá, así como la proporción que representan de las ventas anuales totales de vehículos.

---

<sup>17</sup> AIE, “Canada: On the road and deployments. Hybrid and Electric Vehicle Implementing Agreement (IA-HEV)” [Canadá: por los caminos y uso; acuerdo para la adopción de vehículos eléctricos e híbridos (IA-HEV)], Agencia Internacional de Energía, en: <[www.ieahev.org/by-country/Canada-on-the-road-and-deployments/](http://www.ieahev.org/by-country/Canada-on-the-road-and-deployments/)> (consulta realizada el 4 de mayo de 2014).

<sup>18</sup> Sustainable Waterloo (2010), *Calculating GHG emissions from personal vehicle travel* [Cálculo de las emisiones de GEI generadas por viajes en un vehículo personal], disponible en: <[www.sustainablewaterlooregion.ca/files/u/WasteEmissionFactorDecision.pdf](http://www.sustainablewaterlooregion.ca/files/u/WasteEmissionFactorDecision.pdf)>.

<sup>19</sup> “Electric Drive Transportation Association” [Asociación de Transportes Eléctricos], en: <<http://electricdrive.org/>> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

**Cuadro 6. Ventas anuales y estimadas de vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, 2000-2013**

Tipo de VPE, porcentaje	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>VEH</b>	400 <sup>a</sup>	876	1,510	2,144	2,303 <sup>b</sup>	5,124	8,924	14,832	19,693	17,638	15,255 <sup>c</sup>	11,671	20,894	23,033
<b>VEHE y VTE</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	468	1,974	2,183
<b>Total de VPE</b>	400	876	1,510	2,144	2,303	5,124	8,924	14,832	19,693	17,638	15,255	12,139	22,868	25,216
<b>Total de vehículos vendidos (TVV)</b>	1,545,378	1,570,633	1,703,511	1,593,469	1,534,500	1,583,599	1,615,056	1,653,771	1,640,020	1,461,639	1,558,487	1,587,429	1,677,990	1,745,188
<b>Porcentaje de VEH respecto del TVV</b>	0.03%	0.06%	0.09%	0.13%	0.15%	0.32%	0.55%	0.90%	1.20%	1.21%	0.98%	0.74%	1.25%	1.32%
<b>Porcentaje de VEHE y VE respecto del TVV</b>								0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.12%	0.13%
<b>Porcentaje de VPE respecto del TVV</b>								0.90%	1.20%	1.21%	0.98%	0.76%	1.36%	1.44%

Fuente: PHEV and EV sales: Electric Drive Transportation Association [Ventas de VEHE y VTE: Asociación de Transporte de propulsión eléctrica], en: <<http://electricdrive.org/>> (consulta realizada el 30 de septiembre 2014).

Notas:

<sup>a</sup> Supuestamente es el doble de las ventas de Prius registradas, a las cuales se tuvo acceso a través de fuentes de Toyota, suponiendo que las ventas de Prius constituyan la mayor parte del total de ventas de vehículos híbridos cuando empezaba a desarrollarse el mercado. Esto genera una estimación conservadoramente baja de las ventas totales de vehículos híbridos.

<sup>b</sup> Ventas de híbridos de 2004 a 2009: Sustainable Waterloo, “Calculating GHG emissions from personal vehicle travel” [Cálculo de las emisiones de GEI generadas por viajes en un vehículo personal], apéndice 4, p. 18.

<sup>c</sup> Ventas 2010-2013 prorrateadas respecto de las ventas reportadas en Estados Unidos (<[www.hybridcar.com](http://www.hybridcar.com)> y otras fuentes), prorrateadas a los niveles de penetración más bajos en el mercado canadiense.

<sup>d</sup> Good Car Bad Car (2012), “Overall Canada auto industry sales figures—Monthly and yearly” [Cifras generales de ventas de la industria automovilística canadiense, mensuales y anuales], en: <[www.goodcarbadcar.net/2012/10/Canada-overall-auto-industry-sales-graficas.html?m=1](http://www.goodcarbadcar.net/2012/10/Canada-overall-auto-industry-sales-graficas.html?m=1)> (consulta realizada el 4 de mayo de 2015).

## 1.5 Ventas de vehículos de propulsión eléctrica en México, 2000 a 2013

En el cuadro 7 se presenta la información que el equipo de investigadores recibió de la Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores (AMDA)<sup>20</sup> sobre las ventas anuales de VPE en México desde 2006, las ventas totales de unidades vehiculares y las ventas de vehículos eléctricos híbridos (VEH) como porcentaje del total de unidades vendidas en ese país.

### Ventas de VEH en México

Los vehículos eléctricos híbridos entraron al mercado mexicano en 2006, en tanto que los eléctricos híbridos enchufables y totalmente eléctricos aparecieron en 2011. En dicho cuadro se observa que el Honda Civic IMA fue el único vehículo eléctrico híbrido a la venta en el mercado mexicano entre 2006 y 2010. El año pico de ventas del Honda Civic IMA fue 2006, cuando se vendieron 484 unidades, mientras que en 2012 las ventas bajaron a 95 unidades. Honda vendió 2,436 unidades de este modelo entre 2006 y 2013. Por su parte, el modelo Honda CR-Z entró al mercado mexicano en 2013, año en que se vendieron 498 unidades. A diferencia de los otros países de América del Norte, donde Toyota predomina en el mercado de vehículos híbridos, Honda ocupa a la fecha un lugar preponderante en el mercado mexicano de ese tipo de vehículos, con casi 3,000 VEH vendidos entre 2010 y 2013.

Respecto del total de vehículos vendidos en México (cerca de un millón al año, según se observa en el cuadro 7), las ventas de VEH representaron un modesto porcentaje entre 2006 y 2012. Sin embargo, en 2013 se incrementaron para constituir 0.09 por ciento de las ventas nacionales.

Varias empresas exploran la posibilidad de introducir vehículos eléctricos al mercado mexicano a corto y mediano plazos (a través de exportaciones y producción local). Las iniciativas incluyen las siguientes:

- GM<sup>21</sup> inició un proyecto piloto en 2013 con 50 Volts importados que distribuyó entre miembros del personal de GM y de General Electric.
- Via Motors<sup>22</sup> anunció en marzo de 2013 la producción de modelos grandes de VEH, como Suburban, camionetas y *pick-ups*, como Cheyenne y Silverado. En la nueva planta de San Luis Potosí estos vehículos GM convencionales, producidos en Silao, Guanajuato, se convertirán en vehículos eléctricos híbridos. Se estima que en 2014 se producirán 7,000 unidades y 10,000 en 2015.
- Ford anunció en 2009<sup>23</sup> la introducción de una versión híbrida del modelo 2010 del Fusion, que se produce en su planta de Hermosillo, Sonora. Sin embargo, en la investigación para este informe no se encontraron datos sobre unidades vendidas y producidas.
- Infinity (Nissan) anunció en su sitio web mexicano<sup>24</sup> que en 2014 estaría disponible su segundo y más reciente modelo híbrido, el Q50; el primero había sido el Infiniti QX, introducido en el

<sup>20</sup> Miguel Ángel Camarena Ramos, comunicación personal con los autores, 21 de marzo de 2014.

<sup>21</sup> D. Salado (2013), “Autos eléctricos: ¿son sustentables?” *El Economista*, en: <<http://eleconomista.com.mx/industrias/2013/09/02/autos-electricos-son-sustentables>> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

<sup>22</sup> Autos México (2013), “Via Motors inaugura planta de autos híbridos en México”, *Autos México*, en: <<http://autosmexico.mx/mundo-verde/via-motors-inaugura-planta-de-autos-hibridos-en-México>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>23</sup> E. H. Mayer (2009), “Fusion híbrido rompe récord”, *El Universal*, en: <[www.eluniversal.com.mx/articulos/53870.html](http://www.eluniversal.com.mx/articulos/53870.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>24</sup> “Infinity Q50”, en: <[www.infiniti.mx/Q50/modelos](http://www.infiniti.mx/Q50/modelos)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

mercado mexicano en 2011 (véase el cuadro 2). A la fecha no hay información disponible sobre el modelo Q50.

Durante la investigación para este informe no se encontró información sobre otros vehículos eléctricos híbridos, como Porsche Cayenne, Porsche Panamera y Nissan Pathfinder, que posiblemente hayan estado disponibles en el mercado mexicano.

## **VEHE y VTE en México**

Según consta, en octubre de 2009 Nissan llegó a un acuerdo con el Gobierno de la Ciudad de México por el cual en 2011 se entregarían 500 unidades del Leaf para uso del gobierno y flotas corporativas. A cambio, el gobierno capitalino instalaría infraestructura para recarga y estaba en trámites para lograr la exención del pago del impuesto sobre tenencia o uso de vehículos. En noviembre de 2010, ese gobierno también acordó con Nissan que los primeros 100 Leaf en el país se integrarían a la flota de taxis de la capital; los primeros destinados a este fin se entregaron a finales de septiembre de 2011, con lo cual México se convirtió en el primer mercado latinoamericano en introducir el Leaf.

Para febrero de 2013 había más o menos 70 Leaf que prestaban servicio de taxi: 50 en Aguascalientes<sup>25</sup> y 20 en la Ciudad de México. En Aguascalientes, el programa arrancó en mayo de 2012; su instrumentación comprendió la instalación de un garaje con 58 puntos de carga, el mayor del mundo en su tipo. Carrot México, empresa de autos compartidos que opera en la Ciudad de México, adquirió tres unidades Leaf, que están a disposición de sus 1,600 clientes.

Otras dos compañías han estado analizando la introducción al mercado mexicano de vehículos eléctricos híbridos, eléctricos híbridos enchufables y totalmente eléctricos en el corto y mediano plazos:

- BMW Mini E,<sup>26</sup> con batería de Li-ion, inició un proyecto piloto con doce unidades en 2013.
- MIA Electric México<sup>27</sup> (empresa francesa) planea construir una planta en México para producir cuatro modelos con batería de litio y fosfato de hierro.

Es probable que en México el mercado de vehículos eléctricos crezca con mayor lentitud que el de los eléctricos híbridos y los totalmente eléctricos, porque en general los primeros tienen un sobreprecio de aproximadamente \$EU10,000.

---

<sup>25</sup> Nissan Newsroom (2013), "Growing the grid: EV taxis drive infrastructure transformation in Mexico, Latin America" [La red crece: taxis eléctricos impulsan la transformación de la infraestructura en México y América Latina], 2 de mayo de 2013, video de You Tube, en: <<http://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/video-report-growing-the-grid-ev-taxis-drive-infrastructure-transformation-in-México-latin-america>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>26</sup> E. Smilovitz (2012), "México venderá su primer coche 100% eléctrico en 2013", *Altonivel*, en: <[www.altonivel.com.mx/22410-México-vendera-su-primer-coche-electrico-en-2013.html](http://www.altonivel.com.mx/22410-México-vendera-su-primer-coche-electrico-en-2013.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>27</sup> "MIA Electric México" (2015), en: <[www.mia-electric.mx/](http://www.mia-electric.mx/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

**Cuadro 7. Ventas anuales de vehículos de propulsión eléctrica en México, 2006-2013 (unidades vendidas)**

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Honda Civic Ima	484	465	445	272	246	263	95	166
Honda CR-Z	-	-	-	-	-	-	-	498
Honda Prius	-	-	-	-	168	247	93	213
Infiniti QX	-	-	-	-	-	27	102	120
<b>Total de vehículos híbridos</b>		<b>465</b>	<b>445</b>	<b>272</b>	<b>414</b>	<b>537</b>	<b>290</b>	<b>997</b>
<b>Ventas totales de vehículos</b>		<b>1,099,866</b>	<b>1,025,520</b>	<b>754,918</b>	<b>820,406</b>	<b>905,886</b>	<b>987,747</b>	<b>1,063,363</b>
<b>Híbridos, como porcentaje de las ventas totales de vehículos</b>		<b>0.04%</b>	<b>0.04%</b>	<b>0.04%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.04%</b>	<b>0.09%</b>
Nissan Leaf eléctrico		-	-	-	-	3	88	12

*Fuente:* Miguel Ángel Camarena Ramos, Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores (AMDA), comunicación personal con el autor, 21 de marzo de 2014.

## 1.6 Ventas de VPE en Estados Unidos, 2000 a 2013

Se dispone de gran cantidad de información sobre la venta de vehículos eléctricos híbridos, híbridos enchufables y totalmente eléctricos en Estados Unidos durante el periodo 2000- 2013. En este apartado se presentan por separado los datos para cada una de las tres categorías de vehículos eléctricos.

### Ventas de VEH en Estados Unidos

La información sobre las ventas anuales de vehículos eléctricos híbridos en Estados Unidos entre 2000 y 2013 provienen de dos fuentes:

- la correspondiente a las ventas de 2011, 2012 y 2013 por modelo de vehículo, consolidadas en valores totales, se tomó de HybridCars.com, y
- la de las ventas de otros vehículos, del Centro de Datos de Combustibles Alternativos y Vehículos Avanzados (*Alternative Fuels and Advanced Vehicle Data Center*) del Departamento de Energía de Estados Unidos (*US Department of Energy*).

La información se presenta en el cuadro 8, junto con los datos de las ventas de unidades de vehículos eléctricos híbridos enchufables y totalmente eléctricos de 2010 a 2013.

Se estima que de los 212 millones de vehículos vendidos en Estados Unidos desde 1999, un total de 3.1 millones (incluidos más de 1.5 millones de los modelos Prius de Toyota) fueron eléctricos híbridos; por tanto, los vehículos híbridos podrían representar 1.45 por ciento del inventario total de vehículos de Estados Unidos.

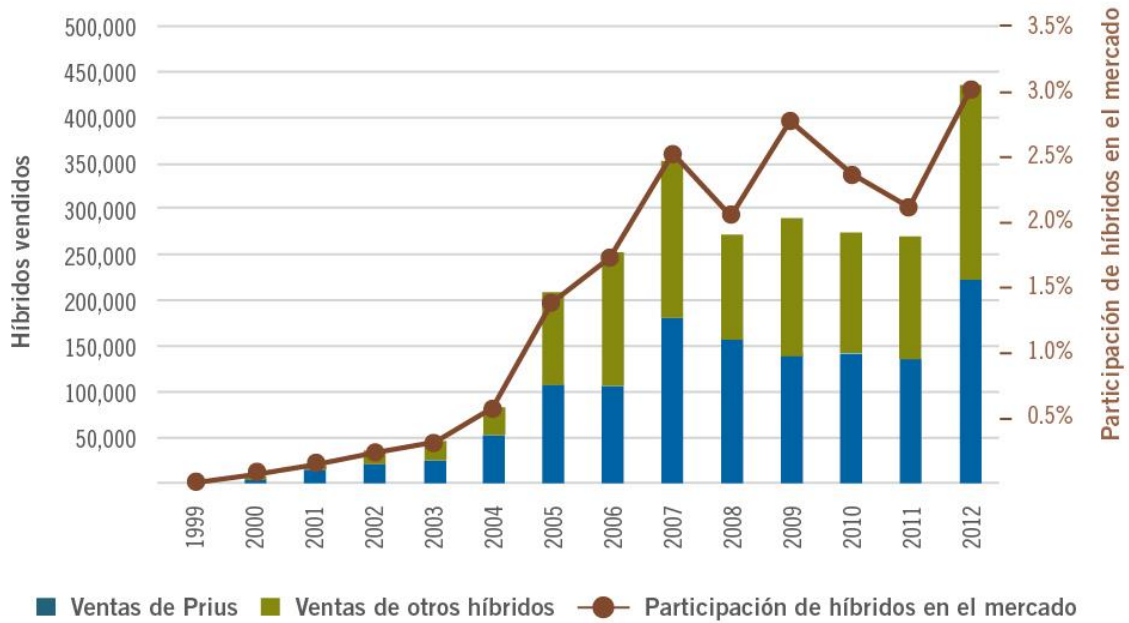
Los datos del cuadro 8 muestran que en 2013 se compraron casi 500,000 VEH en Estados Unidos, 3.2 por ciento de los 15.3 millones de vehículos vendidos ese año. Esta proporción ha crecido de manera significativa frente al porcentaje de 1.4 por ciento correspondiente a 2005.

La gráfica 6 muestra las ventas anuales de vehículo eléctricos híbridos en Estados Unidos de 1999 a 2012, el porcentaje de las ventas totales de vehículos representado por los VEH y la proporción de los VEH vendidos cada año que fueron modelos Prius de Toyota. A pesar de los efectos de la recesión económica de 2008 en Estados Unidos (que provocó una caída notoria en el número absoluto de vehículos convencionales e híbridos vendidos entre 2008 y 2011), puede observarse un importante incremento en las ventas anuales de VEH a partir de 2005: ese año, las ventas de vehículos híbridos equivalían a apenas 1.5 por ciento de



las ventas totales de vehículos en Estados Unidos, en tanto que para 2013 representaron más de 3 por ciento.

**Gráfica 6. Ventas de vehículos híbridos, ventas de Prius y participación de los híbridos en el mercado de Estados Unidos, 1999-2012**

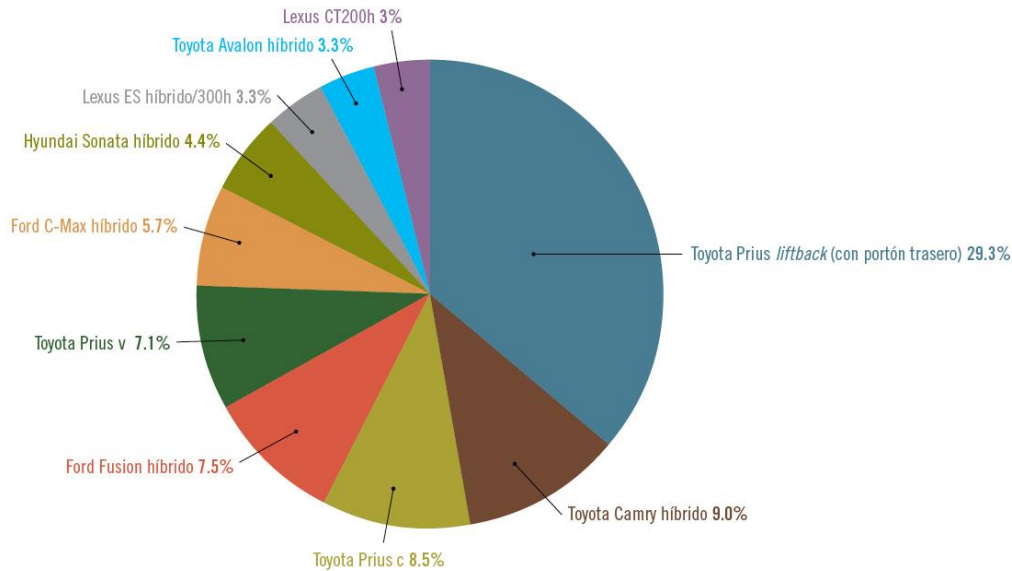


Fuente: DoE, “Hybrid Cars” [Automóviles híbridos], Department of Energy: Alternative Fuels Data Center [Departamento de Energía de Estados Unidos: Centro de Datos de Combustibles Alternativos], en: <[www.hybridcars.com](http://www.hybridcars.com)> (consulta realizada el 21 de abril de 2014).

En la gráfica 7 se muestra la participación en el mercado de diferentes marcas de VEH en Estados Unidos en 2013. Se observa que Toyota es la marca predominante, con más de 60 por ciento del mercado con diferentes autos (el Prius es el más popular, seguido de versiones eléctricas híbridas del Toyota Camry y el Avalon, y dos Lexus híbridos). Por otra parte, los modelos Ford representaron más de 13 por ciento de los VEH vendidos en Estados Unidos en 2013.



**Gráfica 7. Participación de las diez marcas de vehículos eléctricos híbridos más vendidas en el mercado estadounidense, 2013**



Fuente: M. R. Durán Ortiz (2013), "U.S. top selling VH by market share" [Participación en el mercado estadounidense de los vehículos híbridos más vendidos], en: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_electric\\_vehicles\\_in\\_the\\_United\\_States#mediaviewer/File:U.S\\_top\\_selling\\_VH\\_by\\_market\\_share.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicles_in_the_United_States#mediaviewer/File:U.S_top_selling_VH_by_market_share.png)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

## Ventas de VEHE y VTE en Estados Unidos

En el cuadro 8 se presentan las ventas de vehículos híbridos enchufables (VEHE) y vehículos totalmente eléctricos (VTE) en Estados Unidos de 2010 a 2013. Las ventas se han incrementado de manera espectacular desde que esa clase de vehículos se introdujo en el mercado estadounidense en diciembre de 2010. La tecnología de los vehículos eléctricos enchufables se ha adoptado rápidamente; en 2013 se vendieron casi 100,000 unidades. Los VEHE y VTE usan baterías de Li-ion por los requerimientos de sus características de carga y potencia.

En la gráfica 8 se muestran las ventas acumuladas tanto de VEHE como de VTE de diciembre de 2010 a octubre de 2013 en Estados Unidos.<sup>28</sup>

## Ventas totales de VPE en Estados Unidos

En el cuadro 8, así como en las gráficas 5 y 7, se observa que la presencia de los vehículos de propulsión eléctrica (VPE) en el mercado estadounidense continúa siendo muy modesta, pero que se incrementa aceleradamente. En 2013, los VEH representaron 3.2 por ciento de todas las unidades vendidas, y los híbridos enchufables y los totalmente eléctricos, juntos, equivalieron a 0.6 por ciento de las ventas de automóviles, para un total de 3.8 por ciento del mercado estadounidense de vehículos de propulsión eléctrica.

<sup>28</sup> Electric Drive Transportation Association, "Electric drive sales dashboard" [gráfica comparativa de ventas de vehículos eléctricos], en: <<http://electricdrive.org/index.php?ht=d%2Fsp%2Fi%2F20952%2Fpid%2F20952>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

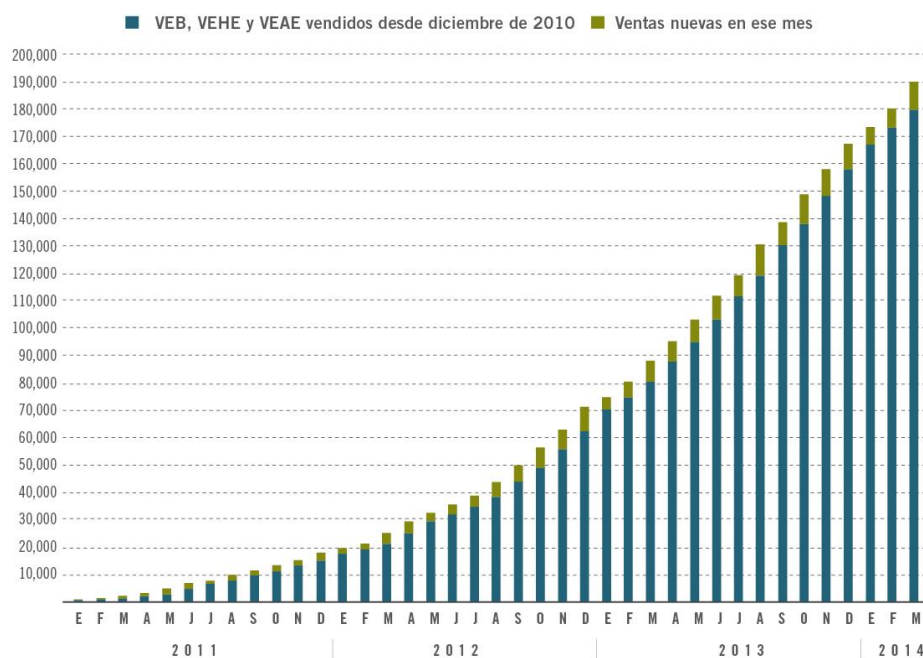
**Cuadro 8. Ventas de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) en Estados Unidos, 2000-2013**

Tipo de vehículo	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
VEH	9,350	20,282	36,035	47,600	84,199	209,711	252,636	352,274	313,673	290,292	274,210	226,329	434,645	495,530
VEHE y VTE								0	0	0	345	17,735	52,835	96,902
Total de VPE								352,274	313,673	290,292	274,555	244,064	487,480	592,432
Total de vehículos vendidos (TVV)								11,777,314	13,260,747	10,429,014	11,588,783	12,734,356	14,439,684	15,531,609
Porcentaje de VEH respecto del TVV								3.0%	2.4%	2.8%	2.4%	1.8%	3.0%	3.2%
Porcentaje de VEHE y VTE respecto del TVV								0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	0.37%	0.62%
Porcentaje de VPE respecto del TVV								2.99%	2.37%	2.78%	2.37%	1.92%	3.38%	3.81%

*Nota:* VEH = vehículo eléctrico híbrido; VEHE = vehículo eléctrico híbrido enchufable; VTE = vehículo totalmente eléctrico.

*Fuente:* Electric Drive Transportation Association, “Electric drive sales dashboard” [gráfica comparativa de ventas de vehículos eléctricos], en: <<http://electricdrive.org/index.php?ht=d%2Fsp%2Fi%2F20952%2Fpid%2F20952>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

**Gráfica 8. Ventas mensuales totales de VPE en Estados Unidos, 2011-2013, y proyecciones para 2014**



*Nota:* VEB = vehículo eléctrico de batería; VEHE = vehículo eléctrico híbrido enchufable; VEAE = vehículo eléctrico de autonomía extendida. Los VEB —por ejemplo, el Leaf de Nissan o el Tesla modelo S— utilizan únicamente baterías recargables para alimentar sus motores eléctricos; por su parte, los VEAE —por ejemplo, el Volt de Chevrolet—, están provistos de una unidad de alimentación integrada que prolonga la autonomía del vehículo.

*Fuente:* Electric Drive Transportation Association (s/f), “Electric drive sales dashboard” [gráfica comparativa de ventas de vehículos eléctricos], en: <<http://electricdrive.org/index.php?ht=d%2Fsp%2Fi%2F20952%2Fpid%2F20952>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

## 1.7 Proyecciones de ventas de baterías para VPE en América del Norte

Las proyecciones de ventas de baterías para vehículos de propulsión eléctrica se basan en las ventas de los vehículos mismos, que incluyen una batería nueva al venderse, y en las de baterías de repuesto cuando la original llega al final de su vida útil. En este apartado se describen dichas proyecciones.

El incremento del número de vehículos de propulsión eléctrica en América del Norte depende de diversos factores, entre otros, y sin ningún orden en particular, los siguientes:

- **Tendencias demográficas:** Se espera que de 2018 a 2040 disminuya el kilometraje global de los vehículos en Estados Unidos debido al envejecimiento de la población que conduce (e índices a la baja de licencias para conducir y recorridos de los grupos más jóvenes), aunado a factores de empleo e ingreso. Por esta razón, cabe esperar que el kilometraje recorrido por vehículo crezca apenas 30 por ciento de 2012 a 2040, según la perspectiva presentada por la Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos (*US Energy Information Administration*) en el *Annual Energy Outlook 2014* [Pronóstico anual de energía para 2014], respecto de la expectativa de crecimiento de 41 por ciento en las proyecciones para 2013.<sup>29</sup>
- **Precios del gas natural:** Incidirán en los costos de la electricidad, que a su vez repercutirán en el costo de operación de los vehículos eléctricos enchufables.
- **Precios del petróleo:** Afectarán el costo de operación de los vehículos comerciales ligeros con motor de gasolina.
- **Política sobre CO<sub>2</sub>:** Determinará los costos de las emisiones de CO<sub>2</sub> si se ocupa del sector del transporte.
- **Normas sobre cartera de renovables (NCR):** Si se adoptan NCR en los ámbitos regional o nacional, éstas influirán en el costo de la electricidad y podrían exigir la “adquisición respetuosa del medio ambiente” de vehículos de propulsión eléctrica.
- **Costo de la batería y desarrollo tecnológico:** El ritmo y la escala de las innovaciones en las baterías ayudarán a determinar la rentabilidad de los vehículos de propulsión eléctrica respecto de otras opciones de vehículos ligeros, pues de los adelantos tecnológicos surgirán baterías más ligeras, con mayor intensidad energética y, en general, más eficientes.<sup>30</sup> Los costos de las baterías se han reducido de manera significativa desde que aparecieron los primeros vehículos eléctricos híbridos, cuando la diferencia del costo en comparación con automóviles convencionales era de hasta \$EU10,000. Ahora, según se informa, esta diferencia se ha reducido a entre 1,500 y 3,000 dólares.<sup>31</sup>

Si bien hasta 2013 era fácil conseguir vehículos de propulsión eléctrica (VPE) en Canadá y Estados Unidos, en México las opciones eran limitadas.

Para llevar a cabo las proyecciones de crecimiento de la participación en el mercado de los VPE, que se presentan más adelante, se revisaron dos fuentes: la Administración de Información sobre Energía (*Energy Information Administration*, EIA) de Estados Unidos y las investigaciones de la Universidad de Minnesota y la Universidad Estatal de Carolina del Norte.

<sup>29</sup> EIA (2014), *Annual energy outlook 2014 with projections to 2040* [Pronóstico anual de energía para 2014 con proyecciones hacia 2040], US Energy Information Administration, disponible en: <[www.eia.gov/forecasts/AEO/pdf/0383%282014%29.pdf](http://www.eia.gov/forecasts/AEO/pdf/0383%282014%29.pdf)>

<sup>30</sup> S. Babae, A. S. Nagpure y J. D. de Carolis (2014), “How much do electric drive vehicles matter to future US emissions?” [¿Qué tanto importan los vehículos de propulsión eléctrica para el futuro de las emisiones en Estados Unidos?], *Environmental Science and Technology* núm. 48(3), pp. 1382-1390, disponible en: <[www4.ncsu.edu/~jfdecaro/papers/Babae\\_etal\\_2014.pdf](http://www4.ncsu.edu/~jfdecaro/papers/Babae_etal_2014.pdf)>.

<sup>31</sup> David Brooks, comunicación personal con los autores, abril de 2014.

- Conforme a los resultados dados a conocer en el Pronóstico de Publicación Anticipada (*Early Release Overview*) del *Annual Energy Outlook 2014* (AEO) [Panorama anual de la energía, 2014] de la Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos, disponible al 15 de abril de 2014, se prevé que en Estados Unidos el inventario total de vehículos aumente de 129 millones en 2011 a 159 millones hacia 2040.<sup>32</sup> Los vehículos eléctricos híbridos (VEH) se incluyen en las proyecciones para motores de combustión interna. No se espera que los híbridos enchufables y los totalmente eléctricos logren una participación significativa en el mercado de vehículos utilitarios ligeros en el lapso de 2012 a 2040, pero sí que los vehículos de combustible alternativo se eleven de su base actual de 4 millones de unidades a 9 millones hacia 2040.
- Se prevé que la participación de los VEH en el total de las ventas totales de vehículos nuevos habrá aumentado de tres por ciento en 2012 a cinco por ciento en 2040.
- Se espera que las ventas de híbridos enchufables y de totalmente eléctricos eleven, cada uno, su participación en el total de vehículos utilitarios: de la “cantidad ínfima” de 1 por ciento en 2012 a 7 por ciento en 2040.<sup>33</sup>
- La Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos (EIA) basa estas proyecciones en modelos complejos. Para ello, parte de los datos de las ventas actuales y luego modeliza las ventas esperadas, recurriendo a los precios previstos de los combustibles, las ofertas actualizadas de productos por parte de los fabricantes, la evolución de las tecnologías, y la percepción de los consumidores. Sin embargo, los datos recientes sobre las ventas, obtenidos durante la investigación realizada para este estudio, ya muestran un rápido crecimiento de las ventas de VEHE y los VTE desde su introducción al mercado estadounidense en diciembre de 2010. Por esta razón, algunos datos de la EIA, pero no otros componentes de su investigación, se utilizaron para las proyecciones del presente estudio. Así, se usó el incremento proyectado de 30 millones de unidades en el inventario de automóviles en Estados Unidos para suponer que las ventas aumentarían aproximadamente en un millón de unidades anuales de 2014 a 2040, y se prorratearon estos valores a Canadá y México para obtener las proyecciones presentadas más adelante en este apartado.
- En investigaciones académicas de la Universidad de Minnesota y la Universidad Estatal de Carolina del Norte se analizaron 108 escenarios en función de cinco variables clave (precios del gas natural, precios del petróleo, políticas sobre CO<sub>2</sub>, adopción de las NCR y costos de las baterías) que influirían en la cantidad de VPE vendidos como porcentaje del total del mercado de vehículos utilitarios ligeros. El estudio concluye que hacia 2050 la participación total de los VPE en el mercado podría ser de entre cero y 42 por ciento de todo el mercado de vehículos utilitarios ligeros, con un valor promedio de 24 por ciento de estos últimos.<sup>34</sup> Se optó por este valor (para 2050) para realizar las proyecciones del presente estudio, ya que es conservadoramente más elevado respecto de la cantidad probable de baterías de VPE al final de su vida útil cada año.

---

<sup>32</sup> EIA (2013), *Annual energy outlook 2014: Early release reference case* [Perspectiva Anual de Energía, 2014; Publicación anticipada de caso de referencia], US Energy Information Administration [Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos], disponible en: <[http://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/energy/AEO2014%20Early%20Release%20Presentation\\_\\_C\\_GEP\(12-18-13\).pdf](http://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/energy/AEO2014%20Early%20Release%20Presentation__C_GEP(12-18-13).pdf)> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

<sup>33</sup> EIA (2013), *Annual energy outlook 2014. Early release overview* [Perspectiva Anual de Energía, 2014. Publicación anticipada], US Energy Information Administration (EIA) [Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos], disponible en: <[www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er(2014).pdf)> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

<sup>34</sup> S. Babae, A. S. Nagpure y J. D. De Carolis (2014), “How much do electric drive vehicles matter to future US emissions?” [¿Qué tanto importan los vehículos eléctricos para el futuro de las emisiones en Estados Unidos?], *Environmental Science and Technology* núm. 48(3), pp. 1382-1390, disponible en: <[www4.ncsu.edu/~jfdcaro/papers/Babae\\_etal\\_2014.pdf](http://www4.ncsu.edu/~jfdcaro/papers/Babae_etal_2014.pdf)>.

Como en 2013 los índices de penetración en el mercado de Estados Unidos fueron de aproximadamente 3 por ciento y la tasa proyectada para 2050, de 24 por ciento, se supuso un incremento anual aproximado de 1.5 por ciento en la tasa de penetración de los vehículos de propulsión eléctrica en ese país.

La gran disparidad entre las estimaciones sobre penetración del mercado emanadas de las proyecciones de largo plazo de la EIA en el *Annual Energy Outlook* y las investigaciones académicas es indicio de que el mercado sigue en un profundo proceso de cambio. La cantidad de variables que afectan el crecimiento del mercado de VPE —y la subsiguiente generación de las respectivas baterías al final de su vida útil— son muchas, lo cual suscita gran incertidumbre en este momento. Por ello se recomienda que estas proyecciones se actualicen periódicamente para tomar en cuenta estudios más recientes y ganar certidumbre respecto de la evolución de los mercados de VPE en los tres países de América del Norte.

En el cuadro 9 se presentan estimaciones del número de baterías para VPE que ingresarán anualmente al mercado de América del Norte de 2010 a 2030. El cuadro se formuló con base en los siguientes supuestos:

- Las proyecciones de la venta de vehículos partieron de una base inicial para 2014 de las ventas anuales promedio en cada país de 2007 a 2013. En este promedio se tomó en cuenta la recesión económica de 2009-2010, que produjo una drástica reducción de las ventas de vehículos respecto de años anteriores o posteriores a dicho periodo.
- Las proyecciones 2015-2030 para cada país de América del Norte se basaron en una tasa de crecimiento anual promedio de 2 por ciento.
- Alrededor de 80 por ciento de los VEH seguirá usando baterías de Ni-MH (el valor actual es poco más de 80 por ciento).
- Cerca de 20 por ciento de los VEH y todos los híbridos enchufables (VEHE) y totalmente eléctricos (VTE) utilizarían baterías a base de litio.
- En conjunto, los VPE representarían 12 por ciento de todos los vehículos vendidos en cada país de la región (a mitad de camino del objetivo de 24 por ciento para 2050 utilizado en uno de los escenarios de Estados Unidos formulados por la Universidad de Minnesota y la Universidad Estatal de Carolina del Norte, como se dijo) hacia 2030. Este valor se eligió para las proyecciones de este estudio porque ofrece una cifra ligeramente más alta para la cantidad factible de baterías de vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil cada año.
- Se supuso que los incrementos de las ventas de VPE para llegar a esos objetivos en cada país son lineales (pero ajustados en los primeros años, para que sean realistas).
- Hacia 2030, el número de VEH y de VEHE y VTE en el mercado sería igual en los tres países de América del Norte, suponiendo que crezca la infraestructura para los vehículos totalmente eléctricos.
- Se calcula que 20 por ciento de los VPE reemplazará la batería ocho, nueve o diez años después de que la original adquirida con el vehículo nuevo haya agotado su potencial de uso vehicular.

**Cuadro 9. Ventas pasadas y proyectadas de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, Estados Unidos y México, 2000-2030**

Año	Baterías para VPE vendidas en Canadá (miles de unidades)		Baterías para VPE vendidas en México (miles de unidades)		Baterías para VPE vendidas en Estados Unidos (miles de unidades)		Total de baterías para VPE vendidas en América del Norte (miles de unidades)	
	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion
2000	0	0	0	0	7	2	8	2
2001	1	0	0	0	16	4	17	4
2002	1	0	0	0	29	7	30	8
2003	2	0	0	0	38	10	40	10
2004	2	0	0	0	67	17	69	17
2005	4	1	0	0	168	42	172	43
2006	7	2	0	0	202	51	209	52
2007	12	3	0	0	282	70	294	73
2008	16	4	0	0	251	63	267	67
2009	14	4	0	0	234	58	248	62
2010	12	3	0	0	223	55	235	58
2011	10	3	0	0	187	63	197	66
2012	17	6	0	0	355	140	373	146
2013	19	7	1	0	410	196	430	203
2014	25	11	2	1	465	212	492	225
2015	31	17	3	4	507	222	542	242
2016	37	23	6	7	527	232	570	262
2017	42	29	9	12	550	288	601	329
2018	47	36	13	18	573	358	634	412
2019	52	43	17	24	592	421	661	488
2020	58	51	21	30	652	502	731	583
2021	64	59	25	36	688	582	776	677
2022	70	69	29	43	741	657	840	768
2023	76	79	33	49	774	734	883	862
2024	82	89	37	56	807	815	926	960
2025	89	101	42	63	839	909	970	1,073
2026	95	113	46	71	872	1,007	1,014	1,191
2027	101	125	51	79	905	1,110	1,057	1,314
2028	107	139	56	88	938	1,217	1,101	1,443
2029	113	156	60	95	971	1,329	1,144	1,580
2030	120	173	68	101	1,004	1,390	1,192	1,665

Fuente: Proyecciones basadas en los análisis que se presentan en los apartados 1.7 y 1.8.

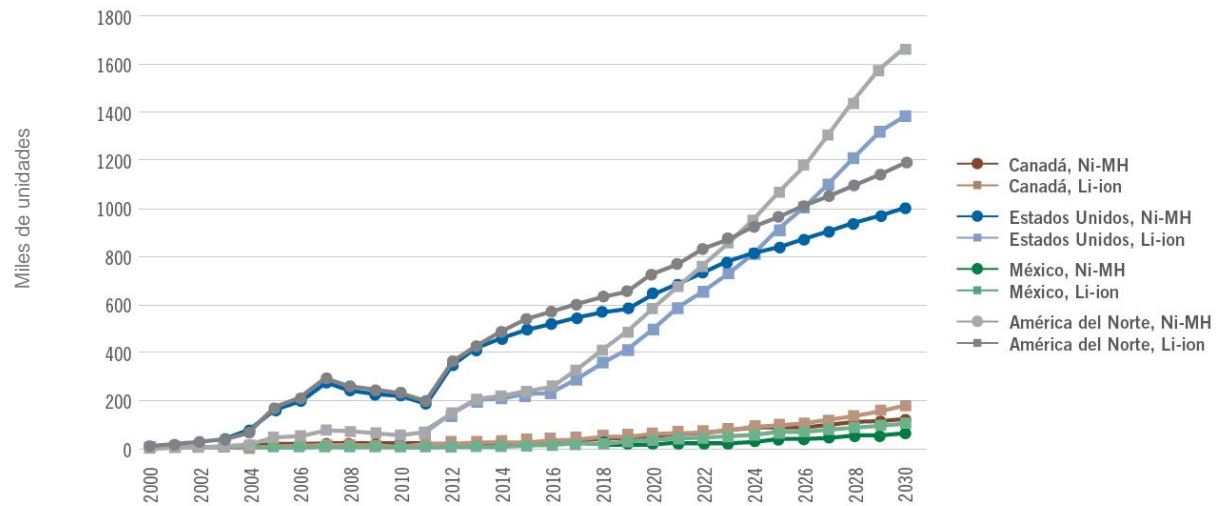
En el cuadro 9, al igual que en la gráfica 9, se observa el marcado incremento del número de baterías de Ni-MH y de iones de litio que se proyecta serán vendidas para su uso en VPE de 2010 a 2030 en los tres países de América del Norte. En el futuro previsible, la mayor parte de las ventas tendrá lugar en Estados Unidos. Destaca, asimismo, el hecho de que en 2013 se hayan vendido en la región más de 630,000 baterías para VPE, de las cuales alrededor de 430,000 fueron de Ni-MH y más de 200,000 de Li-ion.

Estas cifras prácticamente se duplicarán hacia 2020; se proyecta que para entonces se venderán más de 730,000 baterías de Ni-MH y 580,000 de Li-ion en la región.



Estas proyecciones tienen que actualizarse periódicamente para dar cuenta de los cambios rápidos y significativos que ocurren en el mercado de VPE, pues las opciones de productos se incrementan con rapidez y los consumidores de América del Norte compran cada vez más vehículos de esta clase.

**Gráfica 9. Ventas pasadas y proyectadas de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, Estados Unidos y México, 2000-2030 (miles de unidades)**



Fuente: Proyecciones basadas en los análisis que se presentan en los apartados 1.7 y 1.8.

## 1.8 Limitaciones del análisis

Para localizar datos confiables sobre la venta de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) en cada uno de los países de América del Norte, se realizó una búsqueda de información y publicaciones en Internet.

Conseguir fuentes sobre la venta total nacional de vehículos eléctricos híbridos (VEH) en Canadá supuso un verdadero desafío porque todavía no hay un seguimiento sistemático de las estadísticas ni éstas están centralizadas para facilitar su consulta. En México tampoco se cuenta con un registro, pero las asociaciones de la industria automovilística informan que en este momento las cifras son mínimas.

En Estados Unidos, en cambio, abunda la información sobre las ventas de VPE. Los datos sobre las unidades eléctricas híbridas enchufables y totalmente eléctricas vendidas en Canadá y Estados Unidos pueden consultarse mediante la Asociación de Transportes Eléctricos (*Electric Drive Transportation Association*, EDTA).<sup>35</sup> La información sobre México se obtuvo de la Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores (AMDA).<sup>36</sup>

Se revisaron las proyecciones de ventas de VPE de diversos grupos, pero aquéllas partían de premisas muy diferentes, según la organización responsable. Las proyecciones de este informe parten de los datos de varias fuentes encontradas.

Las proyecciones, aproximadas y basadas en diversos supuestos documentados en el presente informe, deben actualizarse periódicamente conforme evolucione el mercado de VPE.

<sup>35</sup> “Electric Drive Transportation Association” [Asociación de Transportes Eléctricos], en: <www.electricdrive.org> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>36</sup> Miguel Ángel Camarena Ramos, comunicación personal con los autores, 21 de marzo de 2014.

## 2 Proyecciones de las baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil en América del Norte, a 2030

En este apartado se presentan proyecciones sobre la cantidad de baterías de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) al final de su vida útil en los países de América del Norte, así como los supuestos empleados para las estimaciones.

### 2.1 Duración del ciclo de vida como método para formular estimaciones sobre el final de la vida útil

Las estimaciones sobre el número de baterías de Ni-MH y de litio para VPE que alcanzarán el final de su vida útil entre 2010 y 2030 en los tres países de América del Norte se llevaron a cabo mediante un modelo de duración del ciclo de vida que toma en consideración varios factores, entre otros:

- ventas anuales de baterías de Ni-MH y de litio para VPE (tanto las incluidas en vehículos nuevos como las de reemplazo);
- duración del ciclo de vida de las baterías de Ni-MH y de litio (véase el apartado 3.2);
- grado en que las baterías de Ni-MH y de litio se reutilizan al término de su primera etapa de vida, y
- tiempo que las baterías de Ni-MH y de litio pasan almacenadas al final de su primera vida, antes de ser descartadas, al final de su vida útil.

Este modelo —utilizado para realizar estimaciones sobre el final de la vida útil de diversos productos, como dispositivos electrónicos, baterías de uso común, baterías de plomo-ácido, electrodomésticos de gran tamaño y lámparas fluorescentes— se describe en detalle en el apéndice A.

### 2.2 Duración del ciclo de vida útil de las baterías para VPE

Los fabricantes de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) ofrecen una garantía de ocho años y una que oscila entre 160,934 y 201,168 km (100,000 y 125,000 millas). Se anticipa que la vida de las baterías que se diseñen en el futuro, cuya aparición se prevé hacia 2030, será de nueve a quince años. En una valoración reciente del ciclo de vida de las baterías de iones de litio, el parámetro fue de diez años.<sup>37</sup> En el presente estudio se optó por un valor de ocho a diez años. Actualmente se realizan numerosas investigaciones sobre la posibilidad de utilizar baterías de VPE al final de su vida útil en dispositivos de almacenamiento de energía (en el caso de la energía renovable, como la eólica y la solar), pero dada la incertidumbre en torno a tal aplicación, no se le tomó en cuenta en la modelización del presente estudio .

### 2.3 Reemplazo, reensamblaje y segunda vida de las baterías de VPE

Las entrevistas realizadas como parte de este proyecto, así como el material publicado que se analizó, indicaron que no es frecuente adquirir baterías de reemplazo para vehículos de propulsión eléctrica (VPE), a menos que el propietario original conserve el vehículo por mucho tiempo. La batería de Ni-MH de todos los híbridos Prius de Toyota (el modelo más popular) tiene una garantía de 160,934 km (100,000 millas) u ocho años. Los propietarios han informado que en realidad la batería dura más, a veces hasta 241,401 km

---

<sup>37</sup>Abt Associates (2013), *Application of life cycle assessment for nanoscale technology: Lithium ion batteries for electrical vehicles* [Aplicación de la valoración del ciclo de vida de tecnología de nanoescala: Baterías de iones de litio para vehículos eléctricos]; disponible en: <<http://seeds4green.net/sites/default/files/LCA%20for%20Lithium-Ion%20Batteries%20for%20Electric%20Vehicles.pdf>>.



(150,000 millas) antes de tener que reemplazarla. Por lo general, de 1 a 3 por ciento de las baterías tiene que reemplazarse antes por accidentes o fallas del producto, si bien estas últimas son muy raras.

En las proyecciones de ventas se parte del supuesto de que las baterías de 20 por ciento de los VPE serían reemplazadas después de su primera vida de ocho a diez años, y que en el 80 por ciento restante los propietarios comprarían un nuevo vehículo con batería nueva. El vehículo descartado podría convertirse en chatarra (en cuyo caso la batería se reciclaría o reutilizaría). Si el vehículo descartado fuera adquirido de segunda mano por otra persona, es probable que necesitara una nueva batería.

Es práctico renovar las baterías de Ni-MH; las celdas o el empaque se pueden revisar para detectar empaques gastados y reutilizables, y se puede armar una batería nueva a partir de los componentes en buen estado de otra usada. Las baterías de iones de litio no se prestan al reensamblaje, ya que es muy peligroso manipularlas por su naturaleza inflamable y explosiva (en particular en contacto con el agua).<sup>38</sup> Por estas razones, no se supuso que las baterías de VPE volverían a usarse después de agotar su vida útil. Si estas estimaciones se actualizan periódicamente, como se recomienda en este informe, tendría que revisarse este supuesto a medida que madure el mercado del reensamblaje.

En el Departamento de Energía de Estados Unidos es intensiva la investigación en curso sobre el posible uso de las baterías de VPE como dispositivos de almacenamiento de energía. No se han sacado conclusiones sobre esta posible aplicación de una segunda vida para las baterías de VPE, pero de tener éxito, se prolongaría considerablemente su vida útil y demoraría la necesidad de reciclar un número importante de estas baterías de gran formato. Si bien es muy necesario el almacenamiento de energía (en particular, la eólica y la solar), los expertos del sector entrevistados para este proyecto comentaron que las centrales eléctricas analizan opciones de almacenamiento, pero no “están casadas con alguna batería en particular”. Dada la incertidumbre respecto del uso potencial de las baterías de VPE al final de su vida útil (analizado en detalle en el apartado 5), no se tomó en consideración para las proyecciones del final de la vida útil.

## **2.4 Proyecciones sobre baterías de VPE al final de su vida útil hacia 2030**

Para efectuar las proyecciones del modelo de duración del ciclo de vida se partió de los siguientes supuestos:

- Las ventas anuales de vehículos presentadas en el apartado 2 se tomaron como punto referencia para las proyecciones sobre las baterías al final de su vida útil.
- Los VPE seguirán utilizando baterías tanto de Ni-MH (80%) como de iones de litio (20%).
- Los vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y los totalmente eléctricos (VTE) usarán baterías de iones de litio.
- Todas las baterías para VPE tienen un ciclo de vida útil de entre ocho y diez años (distribuidos equitativamente en el modelo de duración del ciclo vida).
- Se comprarían baterías de repuesto para 20 por ciento de los VPE al término del ciclo de vida útil inicial de ocho a diez años.
- El posible uso de las baterías como dispositivos para almacenar energía (analizado en el apartado 5) no se tomó en consideración en las estimaciones.

En el cuadro 10 se presenta la cantidad de baterías de VPE al final de su vida útil (primera vida en el vehículo original) calculada con el modelo de duración del ciclo de vida. Dado el número de variables que aún influyen en el mercado de VPE y en el de almacenamiento de energía, es prudente analizar las

---

<sup>38</sup> Representante del sector de reciclaje de baterías, comunicación personal (confidencial), abril de 2014.

baterías sólo respecto del final de su vida útil en los estudios preliminares de MAA, y dejar de lado la posible prolongación de su duración de su ciclo resultante de su uso para almacenamiento de energía, hasta que ésta no se haya aclarado. Con todo, esta opción se podría tomar en cuenta para futuras proyecciones, que se recomienda llevar a cabo periódicamente.

**Cuadro 10. Cantidad estimada de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para VPE al final de su primera vida en el vehículo original en Canadá, Estados Unidos y México, 2010-2030**

Año	Baterías para VPE vendidas en Canadá (miles de unidades)		Baterías para VPE vendidas en México (miles de unidades)		Baterías para VPE vendidas en Estados Unidos (miles de unidades)		Total de baterías para VPE vendidas en América del Norte (miles de unidades)	
	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion	Ni-MH	Li-ion
2010	1	0	0	0	18	2	18	2
2011	1	0	0	0	28	6	29	7
2012	2	0	0	0	45	10	46	10
2013	3	1	0	0	91	20	94	21
2014	4	1	0	0	146	33	150	34
2015	8	2	0	0	217	49	225	51
2016	12	3	0	0	245	61	257	64
2017	14	3	0	0	255	64	270	67
2018	14	4	0	0	236	59	250	62
2019	12	3	0	0	214	59	227	62
2020	13	4	0	0	255	86	268	90
2021	15	5	0	0	317	133	333	138
2022	21	8	1	1	410	183	431	191
2023	25	12	2	2	461	210	488	223
2024	31	17	4	4	500	222	535	243
2025	37	23	6	8	528	247	571	278
2026	42	29	9	13	550	293	602	334
2027	47	36	13	18	572	356	632	410
2028	52	43	17	24	606	427	675	494
2029	58	51	21	30	644	502	723	583
2030	64	60	25	36	693	580	782	676

*Fuente:* Proyecciones basadas en los análisis que se presentan en los apartados 2.4 y 2.5.

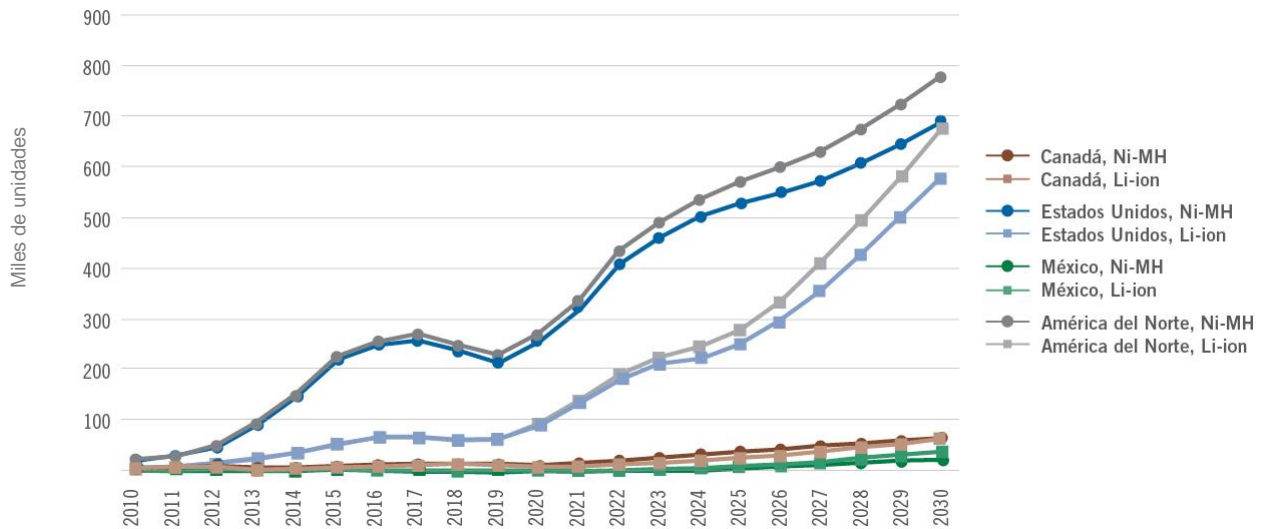
En el cuadro 10, al igual que en la gráfica 10, se observa que, en el futuro previsible, las mayoría de las baterías de VPE al final de su vida útil se encontrará en Estados Unidos (la cifra de Canadá es menor y la de México, ínfima). Esto se debe a que la duración del ciclo de vida útil de las baterías para vehículos eléctricos híbridos (VEH) es de cuando menos ocho años, pero estos vehículos se introdujeron en el mercado mexicano apenas en 2006 y el número de unidades vendidas en ese país es aún muy reducido. Las cifras también son relativamente bajas en el mercado canadiense porque hasta ahora las ventas de VEH han sido muy modestas.

Los vehículos eléctricos híbridos enchufables y los totalmente eléctricos se introdujeron al mercado de América del Norte apenas en diciembre de 2010, y las ventas alcanzaron niveles mayores en 2013; por lo tanto, no será sino hasta 2020 cuando muchas de esas baterías lleguen al final de su vida útil.

Un número importante de baterías de Ni-MH de los primeros VEH empezará a llegar al final de su vida útil hacia 2015: 10,000 en Canadá, 266,000 en Estados Unidos y un número mínimo en México, según el pronóstico del modelo de duración del ciclo de vida. Se estima que para 2020, un total de 268,000 baterías

de Ni-MH llegarán al final de su vida útil en América del Norte (cerca de 13,000 en Canadá, 255,000 en Estados Unidos y 600 en México); las cifras correspondientes a las baterías de iones de litio se calculan en 90,000 (4,000 en Canadá, 86,000 en Estados Unidos y una cantidad mínima en México). Por tanto, en el futuro previsible, el manejo de ambas clases de baterías será un asunto que concernirá sobre todo a Estados Unidos, país con el mayor número de VEH (con un estimado para 2013 de dos millones de vehículos en circulación) y donde es creciente la cantidad de vehículos eléctricos híbridos enchufables y totalmente eléctricos.

**Gráfica 10. Cantidad estimada de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) para VPE al final de su primera vida en el vehículo original en Canadá, Estados Unidos y México, 2010-2030 (miles de unidades)**



Fuente: Proyecciones basadas en los análisis que se presentan en los apartados 2.4 y 2.5.

## 2.5 Limitaciones del análisis

El análisis de las baterías para vehículos de propulsión eléctrica (VPE) al final de su primera vida útil se basa en premisas que cambiarán año con año, conforme se vayan modificando las proyecciones de ventas de vehículos nuevos y lleguen los cambios tecnológicos al mercado de América del Norte.

El análisis supone que para 2030 los VPE representarán 12 por ciento de las ventas de vehículos en los tres países. Se eligió este valor por estar a medio camino del 24 por ciento proyectado para 2050 en el análisis de la Universidad de Minnesota y la Universidad Estatal de Carolina del Norte; su proyección para los vehículos eléctricos híbridos enchufables y los totalmente eléctricos coincide con las proyecciones más recientes del Departamento de Energía de Estados Unidos. Otro supuesto es que el mercado de esas dos clases de vehículo crecerá de manera sustancial y que su participación en el mercado será igual a la de los vehículos eléctricos híbridos hacia 2030. Esta hipótesis implica la creación de una infraestructura de carga para vehículos eléctricos en toda América del Norte.

Por tanto, las Partes tendrán que actualizar periódicamente el análisis.

### 3 Recolección, manejo, infraestructura de procesamiento y legislación vigente en torno de las baterías para vehículos de propulsión eléctrica

En el reciclaje de baterías suele haber varios participantes:

- compañías que recolectan baterías;
- compañías que procesan las baterías antes de mandarlas a plantas de procesamiento más grandes y especializadas;
- operaciones especializadas de procesamiento de baterías, y
- operaciones de refinación y fundición de gran envergadura en que se utilizan baterías como una de varias fuentes de carga de alimentación para sus operaciones.

Muchos de los participantes están evaluando el mercado del reciclaje de baterías para VPE y preparándose para cuando aumente su número. Hoy en día sólo un puñado de empresas se ocupan de este tipo de reciclaje. La economía y la viabilidad de este negocio dependen del valor de los materiales de que están hechas. Este aspecto se aborda también en el presente apartado.

#### 3.1 Valor de los materiales de las baterías para VPE y viabilidad económica de su reciclaje

El mercado del reciclaje de baterías para vehículos de propulsión eléctrica (VPE), como el de otros productos básicos, depende del valor de los materiales contenidos en las baterías (tema analizado en el apartado 2).

El valor de los materiales contenidos en las baterías para VPE fluctúa con el tiempo por las condiciones económicas normales del mercado de productos básicos. En el cuadro 11 se presenta una instantánea de la historia de los precios recientes de los materiales de que están hechas las baterías para VPE.

**Cuadro 11. Valor de los productos básicos usados en las baterías para VPE**

Producto recuperado	Precio promedio actual (dólares estadounidenses/tonelada)	Baterías para VPE que contienen esos productos
Níquel	\$19,401 <sup>a</sup>	Ni-MH (80% de los VEH)
Cobalto	\$30,400 <sup>b</sup>	Li-ion (pero las concentraciones se están reduciendo rápidamente)
Carbonato de litio	\$6,000 <sup>c</sup>	Li-ion (todos los VEHE y los VTE; 20% de los VEH)
Chatarra de metales ferrosos	\$390 <sup>d</sup>	Carcasas de acero que envuelven las baterías de VPE

Fuentes:

<sup>a</sup> Valor de la Bolsa de Metales de Londres, 31 de mayo de 2014.

<sup>b</sup> *Ibid.*, 17 de junio de 2014.

<sup>c</sup> Fox Davies Resource Specialists, *The Lithium Market* [El mercado del litio], septiembre de 2013.

<sup>d</sup> Bolsa de Metales, “Precio promedio para 2013”, en: <[www.metalsexchange.com](http://www.metalsexchange.com)> (consulta realizada el 27 de mayo de 2014).

Los precios de mercado del níquel y el cobalto en México, que pueden consultarse en el Servicio Geológico Mexicano (SGM),<sup>39</sup> se basan en los precios *spot* o corrientes de la Bolsa de Metales de Londres (*London Metal Exchange*, LME) o ajenos a dicha bolsa. El 30 de mayo de 2014, el valor del níquel —según precios ajenos a la LME— se ubicó en \$EU19,240 por tonelada,<sup>40</sup> y el del cobalto en \$EU30,100.<sup>41</sup>

Es importante señalar que estos precios corresponden a los metales primarios o secundarios refinados, que tienen que procesarse en instalaciones especializadas inexistentes en México. Por ello, los precios de metales secundarios, como la chatarra de níquel, fluctúan entre 80 y 120 pesos por kilo<sup>42</sup> (6.40 a 9.60 dólares estadounidenses por kilogramo o entre 6,400 y 9,600 dólares estadounidenses por tonelada), valores inferiores a los presentados en el cuadro 11.

En México, los precios de la chatarra de metal ferroso fluctúan entre 3.40 y 3.70 pesos/kg<sup>43</sup> (0.27 a 0.30 dólares estadounidenses/kg, o 270 a 300 dólares estadounidenses/tonelada); éstos son similares a los que se muestran en dicho cuadro.

Los fabricantes de baterías para vehículos eléctricos están sometidos a una presión continua para reducir los costos de su material, mientras los costos de los componentes de aquéllas, como cobalto o metales de tierras raras, están subiendo. El uso de cobalto, por ejemplo, está en disminución.

Entrevistado para este estudio, un ejecutivo de alto rango del sector de reciclaje de baterías para VPE señaló que “el objetivo último del reciclaje de las baterías de VPE será recuperar los materiales y regresárselos a los fabricantes de baterías nuevas”. Este tipo de reciclaje de “ciclo cerrado” es la mejor manera de conservar la mayor cantidad del valor de las baterías usadas en VPE. Por ejemplo, el fosfato ferroso (FePO<sub>4</sub>) puede recuperarse reciclando las baterías, pero el valor de este material reside en sus características energéticas cuando se emplean en baterías de VPE. Al reciclar las baterías se pueden recuperar por separado el hierro y el fosfato, pero esos materiales de suyo valen poco si se venden solos. Muchos de los recicladores entrevistados para este proyecto expresaron gran preocupación respecto de la transición a este tipo de baterías para VPE, pues prácticamente carecen de valor para ellos. De ahí que el trabajo de las partes interesadas en el desarrollo y mejoramiento de la infraestructura para recuperar y reciclar baterías para VPE debe dar prioridad a las tecnologías de recuperación y reciclaje de ciclo cerrado.

### 3.2 Infraestructura para la recolección y el manejo de baterías para VPE

Los vehículos de propulsión eléctrica (VPE) son relativamente nuevos en el mercado de América del Norte, y sus baterías son de vida larga, por lo que la cantidad de esta clase de baterías que ha llegado al final de su vida útil es relativamente pequeña. Por ello, son pocas las que han llegado al mercado del reciclaje, lo que a su vez limita el crecimiento de la infraestructura correspondiente. Es probable que el mercado del reciclaje de baterías crezca a medida que los VPE se tornen más populares. La infraestructura permite la concentración de las baterías de Ni-MH y de iones de litio al final de su ciclo de vida en los talleres de los concesionarios que dan servicio a los VPE y sus baterías (lo que exige habilidades técnicas especializadas). Cuando se acumulan en un número suficiente, las baterías se envían al reciclador. Un empresario dedicado al manejo de desechos, en entrevista para este proyecto, informó que un cliente le

<sup>39</sup> “Servicio Geológico Mexicano (SGM)”, en: <<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/precio-metales/niquel.html>> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

<sup>40</sup> SGM, “Metal Prices” [Precios de los metales], Servicio Geológico Mexicano, en: <[www.metalprices.com/metal/cobalt/lme-cobalt-cash-official](http://www.metalprices.com/metal/cobalt/lme-cobalt-cash-official)> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

<sup>41</sup> SGM, “Kitco Metals” [Metales Kitco], Servicio Geológico Mexicano, en: <[www.kitco.com/charts/nickel.html](http://www.kitco.com/charts/nickel.html)> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

<sup>42</sup> Los precios representativos de los metales secundarios pueden encontrarse en: Chatarrera Metales Z.1., en: <[http://metaleszi.com.mx/sistema/pdf/precios\\_compra.php](http://metaleszi.com.mx/sistema/pdf/precios_compra.php)> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

<sup>43</sup> *Idem*. En ambos casos, el valor del dólar estadounidense se estimó en 12.50 pesos.

pidió que almacenara baterías de iones de litio de VPE en el predio de su establecimiento para no dejarlas en el taller de servicio. La empresa de manejo de desechos se mostró renuente, pues años antes había sufrido un incendio en un embarque de baterías de iones de litio posconsumo, el cual había sido difícil de controlar, por lo que habían optado por ser cautelosos en el manejo de esa clase de baterías.

En América del Norte, algunas compañías clave tienen la capacidad y la tecnología para procesar las baterías de Ni-MH y de iones de litio de VPE. Por ejemplo:

- Retrie, formada por Kinsbursky Brothers y Toxco;
- Inmetco (para baterías de níquel);
- Glencore/Xstrata (para baterías de cobalto);
- Umicore (para baterías tanto de litio como de níquel), y
- RMC (para baterías de níquel).

Actualmente, Retrie tiene una participación predominante en el mercado. Umicore (belga) ha establecido centros concentradores en Estados Unidos, donde realiza ciertas tareas de procesamiento previo de las baterías de VPE antes de embarcarlas a Hoboken, Bélgica, para procesarlas (esto se describe en el apartado 5). Retrie informa que menos de 1 por ciento del procesamiento en sus plantas establecidas en Estados Unidos es de baterías de VPE.<sup>44</sup>

El reciclaje de baterías de Ni-MH y de iones de litio para VPE al final de su vida útil apenas comienza y son muchos los aspirantes a hacerse de un nicho de ese mercado. Se espera que en los próximos dos a cinco años se incorporen más, pero los contactos del sector informan que hoy por hoy son pocos los que participan en el mercado (todos hacen negocios entre ellos) y que tienen acuerdos comerciales para enviar las baterías de determinada composición química a plantas con la experiencia necesaria para reciclarlas.

La cadena de suministro de baterías de VPE al final de su vida útil la controlan desmanteladores y fabricantes de automóviles, así como talleres mecánicos y de reparación de autos que contribuyen con cantidades reducidas de productos. Toyota (que domina el mercado de VEH) utiliza baterías de Ni-MH en sus híbridos, y trabaja para asegurar una cadena de suministro inversa de baterías recicladas para recuperar y reutilizar los metales (níquel y otros) en la producción de nuevas baterías para este tipo de vehículo. En Japón ya existe un programa de reciclaje de ciclo completo (véase el apartado 5), y Toyota Tsusoho America trabaja con Retrie para establecer una estrategia similar en América del Norte.

Los fabricantes de baterías para VPE dialogan ya con los fabricantes de esos vehículos para crear un sistema más formal de recolección, al estilo del sistema de recuperación de interruptores de mercurio establecido en Canadá y Estados Unidos. Esos industriales preferirían establecer un sistema voluntario, sin mecanismos reglamentarios (ajeno a la normativa vigente en materia de manejo de desechos peligrosos).

En América del Norte, los fabricantes de baterías suelen dejar el manejo de la infraestructura de recolección de baterías de VPE a los fabricantes de vehículos.<sup>45</sup> Durante esta fase de recolección surgen problemas complejos sobre la responsabilidad de las partes y cómo adjudicar los riesgos por manejo inadecuado o accidentes que puedan ocurrir en esta fase. Estos problemas aún no se resuelven.

Hasta ahora, los representantes de las empresas entrevistados para este estudio han visto muy pocas baterías de VPE al final de su vida útil, pero suponen que su número se incrementará con los años. Algunos de los actuales desafíos que presentan las baterías de iones de litio incluyen:

- dificultad para identificar la composición química de la batería (véase el apartado 5, etiquetado);
- incertidumbre respecto de cómo desmantelarlas sin riesgo;

---

<sup>44</sup> Todd Coy, comunicación personal con los autores, 11 de marzo de 2014.

<sup>45</sup> Fabricante de baterías para vehículos eléctricos (confidencial), comunicación personal con el autor, 12 de marzo de 2014.



- falta de conocimientos sobre cómo funciona la electrónica en las celdas de las baterías, e
- incertidumbre respecto de los valores de en el mercado de repuestos de los metales recuperados, en particular porque se modifica la composición química de la batería (se expresó gran preocupación por las bajas concentraciones de cobalto de las baterías de iones de litio).

### 3.3 Recicladores y desmanteladores de automóviles

En los tres países de América del Norte, la mayor parte de las baterías para VPE al final de su vida útil pasan por la cadena de abasto de desmanteladores o recicladores de automóviles. En ciertos casos proceden de talleres mecánicos, pero es factible que la mayoría provenga de concesionarios oficiales de Toyota, GM, Ford y otros distribuidores, dado que la tecnología de los VPE es muy reciente y se precisan mecánicos capacitados para darles servicio.

Los recicladores y desmanteladores de automóviles están representados por las siguientes asociaciones:

- Asociación de Recicladores de Automotores de Estados Unidos (*Automotive Recyclers Association*, ARA), que representa a 5,000 mil empresas (2,000 miembros directos y 3,000 afiliados). La industria total en Estados Unidos comprende a 8,400 negocios de reciclaje de automóviles que generan alrededor de 23,000 millones de dólares al año.
- Recicladores de Automotores de Canadá (*Automotive Recyclers of Canada*, ARC), representante de siete asociaciones provinciales y 490 compañías (más o menos 50 por ciento del mercado).

En México, la cantidad de vehículos al final de su vida útil (VfVU) se estimó en aproximadamente 837,000 unidades hacia 2012,<sup>46</sup> cuya mayor parte se envía a:

- plantas pequeñas de desmantelamiento, que recuperan partes usadas con valor de venta a particulares, y
- talleres de reparación de vehículos.

En ambos casos, las partes desmanteladas se reutilizan (vidrio, radios, neumáticos, baterías, etc.). El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) calcula en 7,346 las empresas pequeñas y medianas<sup>47</sup> que participan en la recuperación y venta de partes de automóviles usados.

La chatarra restante la recolectan los vendedores de la misma, quienes clasifican y trituran los metales y los venden a plantas siderúrgicas para reciclar el metal. En México hay ocho grandes empresas recicladoras de metales y diez compañías autorizadas para triturar y compactar chatarra de VfVU.<sup>48</sup>

En México, dos importantes iniciativas se concentran en el manejo de vehículos al final de su vida útil:

---

<sup>46</sup> Semarnat (2012), *Plan de manejo de vehículos al final de su vida útil*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, disponible en: <[www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/residuos/vehiculos/Documents/plan-manejo-vehiculos.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/residuos/vehiculos/Documents/plan-manejo-vehiculos.pdf)>.

<sup>47</sup> Inegi, “Directorio estadístico de unidades económicas: Comercio al por menor de partes y refacciones usadas para automóviles, camionetas y camiones”, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en: <[www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx)> (consulta realizada el 15 de abril de 2014).

<sup>48</sup> Semarnat (2009), *Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generada por los vehículos usados al final de su vida útil*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, disponible en: <<http://web2.semarnat.gob.mx/temas/residuos/vehiculos/Documents/estudio-elv-2009.pdf>>.



- El Programa de Renovación Vehicular, iniciativa de la Secretaría de Economía (SE) que ha autorizado a 14 empresas certificadas, con 25 centros autorizados de recepción de VFVU. La mayoría de estos centros se dedica al reciclaje de automóviles y vehículos grandes.
- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) elaboró y publicó el Plan de Manejo de Vehículos al Final de su Vida Útil, iniciativa integral a la que ninguna empresa (desmanteladoras, trituradoras ni alguna otra implicada en actividades relacionadas con VFVU) se ha acogido a la fecha.

Para el estudio se compiló una lista de 25 recicladores de automóviles seleccionados de México y, como parte del proyecto de investigación, se estableció contacto con ellos. De las 14 compañías entrevistadas, ninguna informó haber recibido vehículos eléctricos ni baterías al final de su vida útil, lo cual no es de sorprender, dada la muy reciente aparición de vehículos eléctricos en el mercado mexicano (véase el apartado 2).

### 3.4 Reensamblaje de baterías para vehículos de propulsión eléctrica

Al parecer, no hay en este momento un negocio formalmente dedicado al reensamblaje o reutilización de baterías de VPE, si bien es muy probable que aficionados a la mecánica y negocios pequeños estén explorando aplicaciones diversas. Entre los obstáculos para reensamblar baterías de VPE al final de su vida útil para un segundo uso, figuran los siguientes:

- susceptibilidad ante el incierto índice de degradación en el segundo uso;
- elevado costo del reensamblaje e integración de las baterías;
- bajo costo de soluciones alternativas de almacenamiento de energía;
- falta de mecanismos de mercado y presencia de reglamentos, y
- percepción que se tiene de las baterías usadas.<sup>49</sup>

Muchos grupos interesados han analizado la posibilidad de utilizar baterías de VPE al final de su vida útil para almacenar energía. Este uso potencial se describe en detalle en el apartado 5.

En general, los desmanteladores de automotores que encuentran baterías para vehículos eléctricos al final de su vida útil intentan venderlas a distribuidores de automóviles o talleres de reparación.

El reensamblaje de baterías de VPE puede ser peligroso, ya que éstas pueden hacer descargas de 200 voltios, suficientes para lesionar de gravedad o quitar la vida a un trabajador sin la capacitación necesaria para manejarlas de manera adecuada. Por esta razón, las asociaciones de recicladores de automotores de Estados Unidos (ARA) y Canadá (ARC) se han ocupado de formular documentos informativos, como la *Hybrid Vehicle Dismantling Guide* [Guía de desmantelamiento de vehículos híbridos],<sup>50</sup> con el fin de salvaguardar la seguridad de los trabajadores. Underwriters Lab (UL) publicó al respecto el documento *Safety Issues for Lithium-Ion Batterys* [Aspectos de seguridad de las baterías de iones de litio].<sup>51</sup>

---

<sup>49</sup> J. Neubauer y A. Pesaran (2010), *PHEV/EV li-ion batteries second-use project* (NREL/PR-540-48018) [Proyecto para un segundo uso de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos híbridos enchufables y vehículos totalmente eléctricos (NREL/PR-540-48018)], National Renewable Energy Laboratory [Laboratorio Nacional sobre Energía Renovable], disponible en: <[www.nrel.gov/docs/fy10osti/48018.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48018.pdf)>.

<sup>50</sup> E. MacDonald, “Hybrid vehicle dismantling—Recycling the future” [Desmantelamiento de vehículos híbridos: Reciclemos para el futuro], presentación en el International Automobile Recycling Congress [Congreso Internacional de Reciclaje de Automóviles ], Green Recycled Parts, marzo de 2013.

<sup>51</sup> Underwriters Lab (2012), *Safety issues for lithium-ion batteries* [Aspectos de seguridad de las baterías de iones de litio], disponible en:

Algunos grupos han emprendido trabajos importantes sobre el manejo de baterías de VPE al final de su vida útil, centrados en la salud y seguridad del trabajador, como ARA, el Laboratorio Nacional sobre Energía Renovable (*National Renewable Energy Laboratory*, NREL) de Estados Unidos, el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (*Electric Power Research Institute*, EPRI), el Consorcio de Baterías Avanzadas de Estados Unidos (*US Advanced Battery Consortium*, USABC), la Fundación para la Investigación sobre Protección contra Incendios (*Fire Protection Research Foundation*), la Sociedad de Ingenieros Automotrices (*Society for Automotive Engineers*) y otros. Si bien algunos de estos grupos se interesan por las mejores prácticas y el manejo sin riesgos de las baterías, otros centran su atención en una segunda oportunidad para las baterías de VPE al final de su primera vida en usos relacionados con la energía.

De las entrevistas realizadas para este proyecto se desprende que algunos operadores pequeños valoran las baterías usadas y construyen una nueva a partir de 30 por ciento de las celdas que todavía funcionan. Estas baterías reensambladas suelen venderse en eBay y otros sitios de Internet. Es posible sustituir los electrolitos contenidos en las celdas de las baterías de VPE y utilizarlas en aplicaciones estacionarias (para almacenar energía).

A continuación se presentan los precios de venta sugeridos por el fabricante para reemplazar una batería usada por una nueva en las tres generaciones del modelo Prius, el sedán Camry Hybrid y el Highlander Hybrid SUV:

- Toyota Prius 2001-2003 (primera generación): \$EU 3,649, menos 1,350 dólares de “crédito para el comprador” (por la devolución de la batería usada);
- Toyota Prius 2004-2008 (segunda generación): \$EU3,649, menos 1,350 dólares de “crédito para el comprador”;
- Toyota Prius 2009 a la fecha (tercera generación): \$EU3,939, menos 1,350 dólares de “crédito para el comprador”;
- Toyota Camry Hybrid: \$EU3,541, “crédito para el comprador” deducido, y
- Toyota Highlander Hybrid: \$EU4,848, “crédito para el comprador” deducido.

Toyota no especificó el costo de la mano de obra del Camry ni del Highlander, pero en el Prius de segunda generación el cambio de la batería tarda 1.7 horas, en tanto que en el de la tercera generación toma 1.6 horas de mano de obra.<sup>52</sup>

En contraste, en eBay, los precios de las baterías híbridas de segunda mano y reensambladas oscilan entre 300 y 1,500 dólares estadounidenses.<sup>53</sup>

### 3.5 Sistema de reciclaje y procesamiento de baterías para vehículos de propulsión eléctrica en América del Norte

El manejo ambientalmente adecuado (MAA) de las baterías de VPE al final de su vida útil implica procesarlas para después reciclarlas en plantas con prácticas de MAA. Como se describe en otra parte del informe, las baterías son de Ni-MH o de Li-ion, y las reciclan unas cuantas empresas especializadas en Canadá y Estados Unidos (durante el estudio no se encontró ninguna en México). Dichas empresas

---

<[www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS\\_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries\\_10-12.pdf](http://www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries_10-12.pdf)>.

<sup>52</sup> A. Ingram (2012), “Toyota hybrid battery replacement cost guide” [Guía de costos de reemplazo de las baterías híbridas de Toyota], *Green Car Reports*, en: <[www.greencarreports.com/news/1078138\\_toyota-hybrid-batería-replacement-cost-guide](http://www.greencarreports.com/news/1078138_toyota-hybrid-batería-replacement-cost-guide)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

<sup>53</sup> Búsqueda de baterías híbridas en eBay, en: <[www.ebay.com/bhp/hybrid-battery](http://www.ebay.com/bhp/hybrid-battery)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

se resumen en el cuadro 12, y con más detalle en el apartado siguiente del presente informe. Los principales procesadores especializados en baterías de Ni-MH y Li-ion de gran formato en América del Norte están estrechamente relacionados y comparten sus recursos.

Lo que motiva el procesamiento de las baterías es el valor del níquel (en las de Ni-MH) y del cobalto (en las de Li-ion). El valor de los productos básicos se abordó previamente en este apartado. Cuando el valor de estos productos no es suficiente, el reciclaje de las baterías para vehículos eléctricos implica un costo.

En los procesos actuales, el litio metálico en su forma pura no se recupera de las baterías porque no es caro y se obtiene fácilmente en la minería de superficie. Cuando el litio escasee y suba de precio, tal vez valdrá la pena recuperarlo de las baterías de litio al final de su vida útil.<sup>54</sup>

La concentración de cobalto en las baterías de Li-ion se está reduciendo (dado su elevadísimo costo) porque los fabricantes de automóviles están cambiando a baterías de litio con otra composición química que al final de su vida útil contienen muy poco material valioso. Esto modificará la dinámica del mercado del reciclaje de baterías de VPE y el reciclaje de las de litio tendrá un costo neto. Las más recientes tecnologías europeas y asiáticas (analizadas en el apartado 5) se concentran más en el reciclaje de batería a batería y en la recuperación de metales de tierras raras, níquel y cobalto.

En ocasiones, las baterías se desmantelan manual o mecánicamente antes de procesarse. Las estrategias de las diversas empresas se describen más adelante. En general, los desmanteladores recurren a procesos hidrometalúrgicos (a base de procesos hídricos y eléctricos) o a distintos procedimientos pirometalúrgicos (a base de calor):

- La hidrometalurgia se refiere al procesamiento de los metales en soluciones acuosas. El procesamiento hidrometalúrgico de las baterías de desecho implica un paso mecánico y uno químico. En la fase mecánica, las baterías se trituran para separar metales, papel, plástico y masa negra. Esta última pasa por otros procesos químicos para producir una solución que se somete a electrólisis o algún otro tratamiento para separar los metales disueltos.<sup>55</sup>
- En la pirometalurgia se utilizan altas temperaturas para transformar, separar y purificar los metales. No hay un método genérico para el reciclaje pirometalúrgico de las baterías, y los existentes son propios de las empresas que los aplican.<sup>56</sup>

En el cuadro 12 se presenta una lista de las plantas que procesan baterías de VPE al final de su vida útil en Canadá y Estados Unidos. En el caso de México, éstas se concentran y se envían a dichas plantas para el procesamiento final, pues los fabricantes de esos vehículos de América del Norte han instituido cadenas de suministro inversas para recuperar las baterías.

La investigación preliminar realizada para el presente estudio apunta a que, a la fecha, son muy pocos los VPE vendidos en México, por lo que el número de baterías al final de su vida útil será modesto en el futuro previsible. Es probable que los fabricantes de automóviles (como Toyota, Honda y GM, entre otros) se coordinen con los desmanteladores de automotores para concentrar cargas de baterías y enviarlas a Canadá o Estados Unidos para su procesamiento, tal vez en una planta *Retriev* (véase el cuadro 12). De las entrevistas con miembros del personal de Honda en México se desprende que, a la fecha, les han regresado unas 20 baterías híbridas que no funcionaban adecuadamente, las cuales se enviaron a Estados Unidos para procesarse.

---

<sup>54</sup> Personal de Umicore, comunicación personal, 5 de mayo de 2014.

<sup>55</sup> K. Fisher, E. Wallen, P. P. Laenen y M. Collins (2006), *Battery waste management life cycle assessment* [Evaluación del manejo del ciclo de vida de baterías de desecho], disponible en: [www.epbaeurope.net/090607\\_2006\\_Oct.pdf](http://www.epbaeurope.net/090607_2006_Oct.pdf).

<sup>56</sup> *Idem*.

**Cuadro 12. Plantas de reciclaje que procesan baterías de VPE al final de su vida útil en Canadá y Estados Unidos**

Nombre, domicilio, información de contacto y sitio en Internet de la compañía	Tipos de baterías de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) recicladas y procesadas
<b>RMC (Raw Materials Company, Inc.)</b> 17 Invertose Drive Port Colborne, Ontario, Canadá L3K 5V5	Baterías Ni-MH de VEH. Baterías Li-ion de todos los VPE enviadas a Retrie, Columbia Británica.
<b>Retrie Technologies (antes Toxco<sup>a</sup>)</b> 9384 Highway 22A Trail, Columbia Británica, Canadá V1R 4W6 <www.retrieve.com/batteries/electric-and-hybrid-vehicles>	Baterías Li-ion de todos los VPE.
<b>Glencore Xstrata</b> Sudbury, Ontario, Canadá	Todo tipo de baterías de níquel o cobalto, dependiendo del contenido de metal. Incluye las baterías Ni-MH de VEH y las baterías Li-ion (que contienen cobalto) de todos los VPE.
<b>Inmetco</b> One Inmetco Drive Ellwood City, Pensilvania, EU, 16117 <www.inmetco.com/services_battery.htm>	Baterías de níquel, incluidas las baterías Ni-MH de VTE. Baterías de Li-ion (de todos los VPE) generalmente enviadas a otras fundidoras (por ejemplo, Glencore Xstrata).
<b>Metal Conversion Technologies (MCT)</b> 1 East Porter ST, Cartersville, Georgia, EU, 30120 678-721-0022 <www.metalconversion.com>	Baterías Ni-MH de VEH y baterías Li-ion de todos los VPE. Se procesan <i>in situ</i> para obtener aleaciones refundidas de níquel y aleaciones de cobalto mediante un sistema patentado de recuperación del metal a alta temperatura.
<b>Retrie Technologies</b> <www.retrieve.com>	Construirá una segunda planta de recuperación exclusiva para Li-ion al sureste de Columbus, Ohio. Las baterías de Li-ion se usan en todos los VEHE y VTE, así como en algunos VEH. Recibe baterías usadas de automotores y dispositivos electrónicos; puede hacerlo gracias a su capacidad en materia electrónica. Retrieve tiene instalaciones de investigación y desarrollo en Folcroft, Pensilvania.
<b>Retrie Technologies</b> 125 East Commercial St. A Anaheim, California, EU, 92801	Punto de concentración de todas las baterías destinadas a las plantas de reciclaje de Retrieve en la costa oeste. Acepta baterías de Ni-MH y Li-ion para embarcarlas a otras plantas. Cuenta con todas las autorizaciones (conocida como “Kinsbursky Bros”).
<b>Retrie Technologies</b> 265 Quarry Rd SE Lancaster, Ohio, EU, 43130	En este sitio se procesan todas las baterías de VPE, y se procesarán baterías comunes e industriales de Ni-MH, plomo-ácido y níquel cadmio. Cuenta con todas las autorizaciones. Una vez ampliado, será la sede de las líneas de reciclaje avanzado de baterías de gran formato, en proceso de construcción, con los 9.5 millones de dólares de fondos de contrapartida asignados por el Departamento de Energía de Estados Unidos para fomentar el uso de baterías sustentables en los VPE.
<b>Retrie Technologies</b> 8090 Lancaster-Newark Rd NE; Baltimore, Ohio, EU, 43105	Planta de manejo universal de grandes cantidades de desechos; especializada en clasificación, identificación, empaqueo y envío de baterías alcalinas, de NiCad, Ni-MH, LAB, Li-ion y otras menos comunes.
<b>Umicore</b> 17182 Airport Road Maxton, Carolina del Norte, EU www.batteryrecycling.umicore.com	Concentradora, tratamiento previo y desmantelamiento de baterías de Ni-MH para envío a procesos de ultra alta temperatura en Hoboken, Bélgica (capacidad: 7,500 toneladas/año o 150,000 baterías para vehículo).

<sup>a</sup> Cambió de nombre a Retrieve en septiembre de 2013.

A continuación se describen todas las empresas en segmentos independientes, por país.

### 3.6 Recicladores de baterías para vehículos de propulsión eléctrica en Canadá

En Canadá hay tres recicladores especializados que pueden procesar baterías de Ni-MH y Li-ion para VPE, mismos que se estudian en este segmento.

### 3.6.1 Retriev (Toxco): Trail, Columbia Británica

En la planta Retriev (antes Toxco) de Trail, Columbia Británica, opera un establecimiento para el procesamiento integral de baterías de litio. Entre sus clientes se cuentan el ejército de Estados Unidos y compañías petroleras de todo el mundo. Los equipos de perforación direccional de las empresas petroleras utilizan baterías de litio que Retriev procesa y recicla.

La planta de Trail, en Columbia Británica, lleva 20 años en el negocio; acepta todo tipo de baterías y las clasifica; los componentes químicos que no puede reciclar los remite a sus socios. Las baterías de níquel se mandan a la planta de Retriev (antes Toxco), en Ohio.

La empresa empezó procesando sólo baterías de litio primarias, sobre todo del ejército y la marina estadounidenses. Gran parte de sus actividades iniciales fue producto de un contrato para reciclar grandes baterías de litio para silos de armas nucleares de Estados Unidos, donde se utilizaban como respaldo del sistema de energía en cuarto grado. La planta de Trail todavía se dedica en lo fundamental a baterías de litio de cualquier composición química, incluidas baterías primarias (no recargables) y recargables.

En espera de que, con el tiempo, aumente la cantidad de baterías de litio, Retriev ha mantenido por varios años contratos con fabricantes de VPE.

Asimismo, Retriev ha elaborado una base de datos sobre celdas, módulos y paquetes recibidos hasta ahora, pues los diversos fabricantes de baterías tienen paquetes muy distintos entre sí, según el vehículo para el que fueron diseñados. A la fecha, Retriev ha desensamblado, analizado y procesado más de 90 baterías de VPE claramente distintas, algunas de las cuales corresponden a diseños experimentales únicos que nunca llegaron a la fase de producción. Las empresas que diseñan y fabrican estos prototipos tienen que asegurarse de que se destruyan por completo.

La hidrometalurgia es el principal proceso utilizado en el reciclaje de baterías de Li-ion para VPE. Los pasos que se siguen en la planta Retriev se describen a continuación:

- Las baterías se clasifican y envían por banda transportadora a un triturador de martillo en una solución procesada de salmuera de litio que consta de electrolitos y sales de litio disueltos.
- Acto seguido, el caudal del proceso se separa de la “pelusa” (“*fluff*”) de los iones de litio que es una mezcla de plásticos y algo de acero. Si el contenido de acero es suficiente, se envía a recuperación; de lo contrario, se desecha. En ocasiones, el contenido de acero puede ser hasta de 65 por ciento, dependiendo de la materia prima.
- El caudal del proceso pasa después por una mesa oscilatoria para formar un producto de cobre-cobalto (mezcla de cobre [Cu], aluminio [Al] y cobalto [Co]), el cual se vende a productores de metales primarios.
- Los lodos se depositan en un tanque de mezclado o tanque contenedor.
- Estos lodos pasan por un filtro prensa para producir una torta de filtro de cobalto: mezcla de cobalto y carbono (C). Este producto se vende a productores de metales primarios.
- Los lodos restantes se envían a la línea de proceso principal para recuperar el litio en forma de carbonato de litio.

Se producen cuatro caudales:

1. “Pelusa” de Li-ion: mezcla de plásticos y algo de acero.
2. Producto de cobre-cobalto (Cu, Al y Co).
3. Torta de filtro de cobalto (Co y C).
4. Lodos de salmuera de litio: electrolitos y sales de litio disueltos

Todos estos materiales tienen mercados finales. El litio de grado alto podría destinarse a la industria farmacéutica, pero este producto no se produce en la planta de Trail. Las entrevistas con miembros del sector indican que actualmente el litio abunda y no es caro, de modo que a los precios actuales no vale la pena recuperarlo en forma pura mediante reciclaje. El carbonato de litio de grado técnico (>99 por ciento de pureza)<sup>57</sup> que se produce en la planta de Trail suele venderse a un fabricante de acero.

El índice de eficiencia de reciclaje estimado a lo largo del proceso fluctúa entre 65 y 80 por ciento del peso de las baterías entrantes, según las baterías de que se trate.

Retriev cuenta con 15 empleados en sus instalaciones de Trail, Columbia Británica. Normalmente, la planta recibe una batería del proveedor o fabricante para un análisis inicial, al cabo del cual se emite un informe completo sobre las etapas y el tiempo requeridos para desensamblar la batería hasta llegar a las celdas. Éstas se procesan en el sistema de la planta de Trail. Retriev también lleva a cabo el análisis completo de cada celda para determinar los valores de metal que contiene, los cuales se utilizan en el proceso de evaluación. Según el contenido de metal y los valores corrientes en el mercado, se determina si debe aplicarse una tarifa por llevarlo a un vertedero o se acredita una cantidad. En general, Retriev cobra por libra de material procesado. A la mayor parte de las baterías de litio se les carga una cuota de vertedero. Como los valores de níquel y cobalto son ahora menores, se cobra una tarifa como la mencionada en casi todas las baterías de Li-ion, si bien antes en ocasiones se acreditaba una cantidad por el procesamiento, y al generador se le pagaba por el valor del metal menos una cuota de vertedero.

### 3.6.2 Raw Materials Company, Inc.: Port Colborne, Ontario

Raw Materials Company, Inc. (RMC) es una corporación privada que opera una planta de reciclaje de baterías en Port Colborne, Ontario, y otra en Búfalo, Nueva York (que hace las veces de centro de embarques y recepción para los clientes de Estados Unidos). Los embarques pueden concentrarse en la misma notificación para el ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*, EC) en la planta de Búfalo y después cruzar la frontera estadounidense hacia Port Colborne para ser procesados.

Las baterías no están clasificadas como desechos peligrosos o material reciclable peligroso ni en Ontario ni en Estados Unidos. La empresa maneja baterías de Ni-MH y de Li-ion de consumidores, así como de VPE. A la fecha ha recibido hasta 100 baterías para VPE de diversas fuentes.

Las baterías de Ni-MH se procesan *in situ*. RMC las tritura y por medios mecánicos extrae los materiales que contienen níquel, los cuales vende a la industria de recubrimientos. El proceso, enteramente mecánico, comprende trituración, detección, secado y agitación. Hay dos procesos para separar de la batería el polvo que contiene metal. En la planta se produce un concentrado de níquel que se vende a la industria química de la región para recubrimientos resistentes y otras aplicaciones.

RMC también produce y recupera componentes metálicos y plásticos.

En RMC se procesan localmente baterías de Li-ion mediante un procedimiento similar al utilizado para las de Ni-MH, del cual resulta un material de cobalto que se vende para recuperación. El carbonato de litio cobalto, comerciable en diversas industrias, se utiliza como materia prima en aplicaciones industriales o para recuperar el cobalto. En Canadá y Estados Unidos hay muchos fabricantes de recubrimientos que utilizan cobalto, por su color azul y sus propiedades intrínsecas. En el sector de los recubrimientos también se utiliza litio.

RMC no utiliza al máximo su capacidad. La planta de reciclaje tiene capacidad para tres turnos diarios, siete días a la semana, para procesar 10,000 toneladas anuales (20 millones de libras) (poco más de nueve millones de kilos) de mezcla total. Por el níquel de las baterías híbridas y el cobalto se paga el valor de mercado; por procesar las baterías de litio que no contienen cobalto se cobra una tarifa.

---

<sup>57</sup> Los precios no están disponibles al público, pero han fluctuado entre \$EU1,500 y \$EU4,500 por tonelada.

### **3.6.3 Glencore/Xstrata: Sudbury, Ontario**

Glencore/Xstrata (G/X) funciona con 300 empleados en una gran planta fundidora de cobre y níquel ubicada en Sudbury (antes Falconbridge), Ontario. Con capacidad para 550,000 toneladas anuales, tiene un nicho en el procesamiento de cobalto. Las baterías constituyen una parte muy menor del total de los materiales procesados en la planta, pero representan un nicho de mercado que G/X desea ampliar. La compañía, cuya especialidad son las baterías que contienen cobalto, invirtió hace unos años 30 millones de dólares canadienses (32.4 millones de dólares estadounidenses) en un horno incinerador giratorio para la planta de Sudbury, el cual le permite procesar una gama más amplia de baterías.

La fundidora recupera níquel, cobalto y cobre. Las baterías se procesan de dos maneras: se introducen directamente en un convertidor o se destinan al horno giratorio. Las opciones de procesamiento de cargas de baterías empacadas con plástico son limitadas dada la inflamabilidad de éste, por lo que se destinan de manera directa al horno giratorio donde los plásticos se queman; todos los gases de salida se tratan en la cámara de poscombustión para garantizar que no se liberen dioxinas.

Las carcasas de acero, junto con el cobalto producido en la operación de reciclaje, se introducen en el convertidor para procesamiento ulterior. Como la temperatura del baño de metal fundido es de 1,300 grados centígrados (Celsius) (2,372 grados Fahrenheit), los componentes de la batería se descomponen. El litio queda en la escoria (y se pierde), mientras que el cobalto pasa al acabado mate. El cobalto mate se produce mediante un proceso hidrometalúrgico con cloro. El cobalto metálico así obtenido se vende en los mercados mundiales de productos básicos.

G/X cuenta con estrictas políticas de seguridad cuando evalúa nuevos materiales. El personal de comercialización determina dónde vender el níquel y el cobalto, así como las estrategias que puede aplicar la compañía para recibir de vuelta el material y reciclarlo; han presionado a diseñadores y fabricantes de baterías de gran formato para que consideren el final de la vida útil al momento de diseñar baterías y nuevas composiciones químicas para las mismas.

G/X procesa sobre todo pequeñas baterías portátiles, pero ha hecho investigaciones para el manejo de baterías grandes para vehículos de propulsión eléctrica. La empresa considera que estas baterías conllevan un riesgo mucho mayor en virtud de la gama de sustancias químicas implicadas. Por ejemplo, la batería de litio fosfato de hierro (fabricada por A123) es muy diferente de otras baterías de iones de litio y no contiene muchos metales de los que interesan a G/X. La empresa no procesaría estas baterías a menos que se aplicara una cuota de vertedero.

Las baterías para VPE no representan un porcentaje importante de lo que G/X procesa. En general, la empresa trata con los recolectores y les pide que realicen un tratamiento previo a las baterías para desactivarlas y que las descompongan en elementos pequeños (paquetes de seis o doce celdas, o celdas individuales) por las limitaciones de alimentación del horno giratorio. Las celdas o paquetes de ellas (cuando tienen el tamaño adecuado) se introducen en el horno incinerador para la recuperación de los metales mediante un proceso pirometalúrgico.

G/X sigue interesado tanto en el níquel como en el cobalto. Un ejemplo del tipo de batería que le interesaría procesar es la batería estándar del Tesla 18620 (paquete de baterías cilíndricas con alto contenido de cobalto, fabricada por Panasonic).

El cobalto mate que se produce en Sudbury se envía a Noruega para procesamiento ulterior.

G/X impone un “cargo por tratamiento” para el procesamiento. Por otra parte, ofrece créditos considerables por el cobalto a los clientes que le confían sus baterías. Cuando llega una carga, el personal tiene una idea vaga del contenido de cobalto que debe haber, pero G/X paga en función de un análisis que lleva a cabo en su propio laboratorio. Algunas baterías de litio usadas solían contener de 18 a 22 por ciento de cobalto una vez eliminado el plástico, pero, como se se dijo, esa cifra disminuye cada vez más. Si las baterías procesadas están en el empaque original, contienen papel y material de empaque extra. G/X pesa el material, pero le resta el peso del papel y material de empaque porque la cantidad de cobalto es menor.



### 3.7 Infraestructura para el reciclaje y procesamiento de baterías para vehículos de propulsión eléctrica en México

México cuenta con una planta de reciclaje que procesa baterías de VPE al final de su vida útil, y con otra dedicada a desechos electrónicos con capacidad potencial para recolectar y exportar baterías de Li-ion.

#### 3.7.1 Sitrasa: Irapuato, Guanajuato

Sitrasa cuenta con autorización oficial de la Semarnat para tratar desechos industriales peligrosos.<sup>58</sup> Se trata de la única compañía que recicla y trata baterías internas de programas de reciclaje posconsumo. La empresa impone una cuota de vertedero al recibir estas baterías. En su sitio de Internet, Sitrasa manifiesta que también recibe y procesa diversas clases de batería para VPE y recicla los metales para distintos usos. En la información disponible no se menciona si las operaciones de refinación y fundición se llevan a cabo en México.

#### 3.7.2 TES-AMM Latin America: Cuautitlán Izcalli, Estado de México

TES-AMM recolecta y clasifica desechos electrónicos y los exporta a su planta de Singapur. La clasificación incluye baterías de Li-ion que se exportan y reciclan mediante un proceso hidrometalúrgico mecánico patentado. TES-AMM tiene una empresa conjunta con Recupyl, que utiliza un innovador proceso de reciclaje de baterías y recuperación de metales valiosos.

Otra posible opción futura para el reciclaje de baterías de VPE en México es Johnson Controls International (JCI), que tiene en México dos plantas dedicadas al reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas importadas de Estados Unidos. JCI ha anunciado inversiones en Estados Unidos con el fin de crear productos, servicios y soluciones de calidad para optimizar las baterías de plomo-ácido para VPE (varias composiciones químicas).

Las estimaciones llevadas a cabo en el marco de este estudio indican que lo más probable es que antes de 2022 sean muy pocas las baterías para VPE producidas en México. Incluso a partir de esa fecha la cantidad se mantendrá en un nivel bajo si se atiende a las actuales proyecciones de ventas y dada la larga duración aquéllas. La infraestructura y la capacidad de reciclaje de baterías para VPE en México podrían evolucionar de una de las siguientes maneras:

- creación de empresas (incluidas comercializadoras de chatarra) que acumularán temporalmente las baterías al final de su vida útil para después revenderlas o exportarlas;
- establecimiento de empresas que recolecten baterías para procesarlas antes de enviarlas a grandes plantas de procesamiento especializadas, ya sea en Canadá, Estados Unidos u otros países, y
- desarrollo de operaciones de procesamiento de baterías especializadas para reciclar las generadas en México e importarlas de otros países para procesarlas en territorio mexicano.

Si hubiera desechos peligrosos derivados del manejo de baterías para VPE, aquéllos se podrían manejar en los estados de Nuevo León y Coahuila.

También es factible que fabricantes de automóviles como Toyota, Honda, GM y otros colaboren con los desmanteladores de autos para concentrar cargas de baterías de VPE al final de su vida útil provenientes de operaciones de mantenimiento, reciclaje y desmantelamiento para luego enviarlas a Canadá o Estados Unidos para ser procesadas.

---

<sup>58</sup> Semarnat (2014), *Empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos*, en: <[www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparencia-focalizada/residuos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos](http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparencia-focalizada/residuos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

## 3.8 Compañías de reciclaje de baterías para VPE en Estados Unidos

Durante la investigación se encontraron en Estados Unidos cuatro empresas que reciclan baterías de Ni-MH y Li-ion para vehículos de propulsión eléctrica (VPE), las cuales se describen a continuación.

### 3.8.1 Inmetco (International Metal Company): Elwood City, Pensilvania

Inmetco se ubica en Ellwood City, Pensilvania, 56.3 km (35 millas) al noroeste de Pittsburgh. Filial de Vale Inco (originalmente Inco, adquirida en 2007 por Vale, empresa minera brasileña), la compañía opera desde 1978. Cuenta con todas las autorizaciones necesarias para las plantas de reciclaje, con estatus en términos de la Parte B de la Ley de Recuperación y Conservación de Recursos (*Resource Conservation and Recovery Act*, RCRA) de Estados Unidos para almacenamiento de desechos peligrosos. En la planta trabajan unas 110 personas.

Si bien en Inmetco no se procesa todo tipo de baterías, la compañía las acepta todas, como un servicio a sus clientes. Las baterías que no se procesan ahí se envían a otra respetada planta de reciclaje que cuenta con las debidas autorizaciones. Como parte del manejo ambientalmente adecuado, se realizan auditorías ambientales en todos los sitios de terceros antes de cualquier envío.

Inmetco ha sido siempre la única fuente de procesamiento de todas las baterías recolectadas por la Rechargeable Battery Recycling Corporation, ahora Call 2 Recycle (C2R). A través de C2R, Inmetco recibe baterías posconsumo de todo Estados Unidos, ya sea de los municipios o de minoristas.

En Inmetco se procesan diversos caudales de desechos ricos en metales, entre otros:

- colectores de polvo KO61 (con alto contenido de níquel);
- cascarilla de laminación;
- virutas y residuos de esmerilado, y
- baterías.

Los lingotes, que se venden a la industria del acero inoxidable, son el producto principal del proceso de reciclaje. El níquel, cromo y hierro de las baterías usadas que se reciclan en Inmetco se procesan y recuperan en una aleación de acero inoxidable refundido. Los insumos se mezclan con coque y se mandan a un horno de dos pasos (de solera giratoria). El producto es una barra de metal (conocida como lingote) que pesa 11 kg (25 libras) y consta de 13 por ciento de níquel y 13 por ciento de cromo; el resto es hierro. El níquel y el cromo son costosos y esenciales para la fabricación de acero inoxidable; por tanto, todas las baterías con níquel tienen valor para Inmetco.

Como Inmetco se concentra en la recuperación de metales —principalmente níquel, cromo, hierro y cadmio—, en la planta no se procesan otros materiales. Los plásticos y demás embalajes se separan de la batería y se envían a una planta debidamente autorizada para su incineración, o bien se consumen en los hornos de proceso. Antes de la recuperación del metal, los plásticos y contaminantes se eliminan con un triturador de martillo y un oxidante térmico.

Todos los procesos de Inmetco cuentan con dispositivos adecuados de control de la contaminación que contratistas independientes revisan y monitorean regularmente e informan al Departamento de Protección del Medio Ambiente de Pensilvania (Pennsylvania Department of Environmental Protection).

Inmetco clasifica y envía las baterías de iones de litio a Glencore/Xstrata (Sudbury) para la recuperación y el reciclaje del cobalto. El vanadio de las baterías de litio no es adecuado para los procesos de Inmetco, y el cobalto no es adecuado para su producto. La empresa recibe para reciclaje baterías con cantidades reducidas de litio, óxido de plata o carbonato de zinc y de cualquier otro tipo, las cuales se consumen en el proceso de reciclaje del acero inoxidable o, si la cantidad es considerable, se envían fuera del sitio.

Inmetco acepta baterías de VPE para reciclarlas e, idealmente, descomponerlas hasta llegar a las celdas o paquetes de ellas (seis celdas juntas). Ya ha procesado algunas que llegaron aún montadas en la estructura o la carcasa de acero, pero esto le acarreó problemas por el cobre no deseado, que resulta una carga por la tarea manual que implica retirar el alambre de la batería del VPE antes del fundido. La empresa produce una aleación refundida para la industria del acero, y en el proceso de fabricación de éste, el cobre es un contaminante.

Inmetco tiene muchos negocios con las baterías de Li-ion, las cuales se concentran en cargas mixtas para enviarlas al fundidor.

A la empresa le preocupa la aparición de baterías de litio-hierro-fosfato en el mercado, ya que no le interesa procesarlas porque carecen de metales de valor.

Los precios que cobra Inmetco reflejan el valor comparativo o costo de manejo que tienen para la empresa las diferentes baterías: paga por algunas en función del contenido de níquel y el valor corriente, pero cobra por otras. La estructura de costos del reciclaje y procesamiento de baterías depende de la batería y del valor del metal recuperado. Inmetco cobra o paga según la composición química de las baterías. Suele otorgar un crédito por las baterías que contienen níquel si el valor es suficientemente alto.

### 3.8.2 Retrie (antes Kinsbursky Brothers-Toxco): Ohio

Retrie tiene dos plantas grandes de procesamiento de baterías en Ohio:

- La planta para desechos universales en Baltimore, Ohio, es un sitio de concentración de baterías de cualquier composición química para la costa este. Una vez que se acumulan 40,000 libras (18,143 kg) de baterías, se envían a la planta de Retrie (antes conocida como Toxco), ubicada en Trail, Columbia Británica, Canadá. En esta planta también se llevan a cabo ciertas labores de manejo; el personal revisa cada tambor de baterías para asegurarse de que las baterías de litio no lleguen al horno.
- Retrie tiene en Lancaster, Ohio, a 30 minutos de Columbus, una planta que cumple con las condiciones previstas en la Parte B de la RCRA y cuenta con autorización para funcionar como planta de tratamiento, almacenamiento y eliminación. En la planta de tratamiento de desechos universales se procesan baterías de Ni-MH para recuperar el níquel, y también lantano e itrio (conocidos como *misch metals*, aleación de metales de tierras raras). Esta planta también funciona como concentradora y ofrece apoyo logístico para el reciclaje de baterías en la costa este y la región sur de Estados Unidos. Gracias a una subvención de 9.5 millones de dólares del Departamento de Energía de Estados Unidos, en la actualidad se construye una nueva línea de reciclaje de baterías de iones de litio.

En Ohio, las siderúrgicas reciben material ferroso de carcasas. El ferroníquel residual es una chatarra de muy alto grado. La producción de la planta se vende a empresas que utilizan metales de tierras raras, acero inoxidable o aleaciones especiales, como la industria aeroespacial, en que la resistencia a la corrosión es esencial. El acero inoxidable contiene de 13 a 16 por ciento de níquel (con 13 a 16 por ciento de cromo).

El objetivo corporativo de la compañía es ser la mejor recicladora de baterías de América del Norte y tener como negocio principal el reciclaje de baterías, actividad que considera como una gran oportunidad de crecimiento.

### 3.8.3 Umicore: Maxton, Carolina del Norte

Umicore, empresa recicladora de metales complejos, posee 80 plantas de fabricación y reciclaje, así como 14,000 empleados en todo el mundo. Inició sus operaciones en la década de 1880 y tiene una planta concentradora de baterías de VPE en Maxton, Carolina del Norte, tanto de Ni-MH como de Li-ion, que se

desmantelan manualmente para separar los metales fáciles de reciclar localmente (carcasas de acero y alambre de cobre). Después del tratamiento previo y el desmantelamiento, los paquetes de celdas o las celdas individuales (dependiendo del tamaño) se concentran para enviarse a la planta de Umicore en Hoboken, Bélgica, donde se procesan en la fundidora de Umicore (diseño patentado que admite altas temperaturas). Los productos de la fundición incluyen:

- escorias que contienen aluminio, manganeso, litio y metales de tierras raras, y
- aleaciones que contienen cobalto, níquel, cobre y metal ferroso.

Las escorias se utilizan en proyectos de construcción, en tanto que los metales de tierras raras se envían a otra refinación. Las aleaciones se mandan refinar en Olen, Bélgica, donde se venden a fabricantes de baterías para construir otras nuevas.

La fundición incluye un tratamiento con gases de diseño especial (confidencial de Umicore) para garantizar la eliminación total de polvos y evitar que se formen compuestos orgánicos volátiles (COV).

Actualmente no se recupera el litio de las escorias porque no tiene sentido desde el punto de vista económico. Si su precio se incrementara en el futuro, Umicore evaluaría otros procesos para recuperarlo en su forma pura. A la larga, cuando el volumen de baterías de VPE al final de su vida útil sea suficientemente elevado, Umicore planea abrir tres plantas distribuidas en el mundo (una en Europa, una en América del Norte y otra en Asia) para concentrar las baterías de VPE y enviarlas a Bélgica.

### **Gráfica 11. Desmantelamiento de baterías de vehículos de propulsión eléctrica en las instalaciones de Umicore, en Carolina del Norte, Estados Unidos**



*Fuente:* M. Pederson (2013), “Reciclaje y desmantelamiento de baterías de vehículos eléctricos (híbridos) en Umicore, Maxton, Carolina del Norte, EU”, presentación.

### **3.8.4 MCT: Región de Atlanta, Georgia**

MCT Georgia procesa baterías de Ni-MH y de Li-ion provenientes de programas de reciclaje posconsumo, así como baterías industriales. A la fecha son pocas las baterías de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) al final de su vida útil que le han llegado intactas o desmanteladas. En el primer caso, las han entregado en la planta, donde cuentan con procedimientos de desmantelamiento seguro. La compañía

cobra una cuota de vertedero por las baterías de gran formato, y según la composición química de las mismas, el cliente puede recibir un crédito.

Los productos finales son:

- aleación refundida de níquel de las baterías de Ni-MH, y
- aleaciones de cobalto de las baterías de litio,

### 3.9 Legislación vigente sobre baterías para vehículos de propulsión eléctrica

Las baterías usadas que contienen litio y se envían a reciclaje o disposición final constituyen desechos clasificados conforme al Convenio de Basilea sobre el Control del Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos y su Eliminación, por lo que al embarcarse a través de fronteras internacionales deben manejarse en apego a los requisitos del citado Convenio.<sup>59</sup> Éste indica que los desechos peligrosos constituidos por elementos que aparecen en el anexo I al punto de tornarlos peligrosos (es decir, que muestren alguna de las características listadas en el anexo III), y otros desechos incluidos en el anexo II, deben cumplir con los procedimientos del Convenio de Basilea. Específicamente, las baterías de VPE suelen exportarse de conformidad con el código A1170 (“Acumuladores de desecho sin seleccionar [...]”) del Convenio de Basilea y el código de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en materia de desechos. Estos procedimientos establecen que el exportador debe notificar a la “autoridad competente” del país importador y, al recibir la carta de consentimiento emitida por dicha autoridad, las baterías de desecho se envían de conformidad con todos los reglamentos aplicables. Asimismo, la parte exportadora debe conservar toda la documentación aprobatoria. Tanto Canadá como México forman parte del Convenio de Basilea, y si bien Estados Unidos es signatario pero no Parte del Convenio, en el MAA se considera como práctica óptima tomar en consideración los requisitos del Convenio al formular las políticas.

A continuación se describe por separado la legislación específica de cada país respecto de las baterías de vehículos eléctricos.

#### 3.9.1 Canadá

En Canadá son varias las leyes federales, provinciales, territoriales y municipales aplicables al manejo de baterías de VPE al final de su vida útil. La reglamentación en la materia comprende leyes y requisitos legales y de otra índole (por ejemplo, aprobaciones y licencias) que abordan lo mismo los desechos en general que los peligrosos, así como la protección del medio ambiente y las operaciones de reciclaje y disposición final. Entre los reglamentos federales aplicables al movimiento de baterías de VPE usadas y de desecho se incluyen las Normas para la Exportación e Importación de Residuos Peligrosos y Materiales Reciclables Peligrosos (*Import of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations*), el Reglamento sobre el Movimiento Interprovincial de Residuos Peligrosos y Materiales Reciclables Peligrosos (*Interprovincial Movement of Hazardous Waste Regulations*) y los Reglamentos para el Transporte de Bienes Peligrosos (*Transportation of Dangerous Goods Regulations*).

#### 3.9.2 México

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), que entró en vigor el 8 de enero de 2004, aborda todo tipo de desechos sólidos peligrosos, incluidas las baterías.

---

<sup>59</sup> Secretariado del Convenio de Basilea (2014), *Convenio de Basilea sobre el Control del Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos y su Eliminación*, disponible en: <[www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-e.pdf](http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-e.pdf)>.

El 19 de marzo de 2014, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) enmendó la LGPGIR.<sup>60</sup> En su artículo 19, esta ley presenta una lista de los desechos de manejo especial, entre otros: “baterías que contienen litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc o cualquier otro elemento que permita la generación de energía, en niveles tales que no se consideren desechos peligrosos en la Norma Oficial Mexicana correspondiente”. Otros tipos de desechos incluidos en la lista son los desechos tecnológicos de la industria de la computación, los de la fabricación de productos electrónicos o de vehículos automotores, y otros que al final de su vida útil requieren, por sus características, métodos de manejo específicos.

Los desechos de manejo especial se definen como “aquellos generados en procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”.

En el artículo 27, la LGPGIR introduce el concepto de planes de manejo de ciertos tipos de desechos y generadores. Los planes tienen por objeto impulsar la minimización de desechos, la recuperación de éstos, la distribución de responsabilidades en su manejo, así como lograr que las innovaciones tecnológicas hagan de su manejo una actividad económicamente viable. Otro objetivo radica en satisfacer las necesidades específicas de los generadores de desechos con características especiales.

Además, al artículo 28 de la citada ley se agregó un nuevo párrafo en que se enumeran las entidades responsables de formular y ejecutar planes de manejo de desechos que requieren manejo especial. Según la Norma Oficial Mexicana correspondiente, los grandes generadores y productores, importadores, exportadores y distribuidores de baterías eléctricas que sean consideradas como desechos de manejo especial tendrán que establecer planes de devolución.

El marco reglamentario mexicano cuenta con elementos adecuados para el manejo de las baterías de Ni-MH y Li-ion de VPE al final de su vida útil, así como de los propios vehículos al terminar su vida útil.

Ayudados en leyes nacionales y convenios internacionales firmados por México, los instrumentos jurídicos que norman el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos en México incluyen:

- Convenio de Basilea sobre el Control del Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos y su Eliminación (Convenio de Basilea);
- Decisión C(2002)107 (FINAL) de la OCDE;
- Anexo III del Acuerdo entre México y Estados Unidos de cooperación para la protección y mejoramiento del medio ambiente en la zona fronteriza (Tratado de La Paz), conocido como Acuerdo de Cooperación entre México y Estados Unidos sobre Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y Sustancias Peligrosas, y
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de México y otros instrumentos nacionales de reglamentación relacionados con desechos.<sup>61</sup>

El movimiento transfronterizo (hacia o desde México) de baterías de VPE usadas, sea para tratamiento o reciclaje, es viable siempre que los países importadores y exportadores cumplan con las leyes y convenios citados que rigen el movimiento transfronterizo de desechos.

---

<sup>60</sup> Secretaría de Gobernación, “Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, *Diario Oficial de la Federación*, en: <[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5337505&fecha=19/03/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5337505&fecha=19/03/2014)>.

<sup>61</sup> Semarnat, *Guía para la importación y exportación de residuos en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, disponible en: <[http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-029AF/guia\\_Import\\_Export\\_RP.pdf](http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-029AF/guia_Import_Export_RP.pdf)>.



Por tanto, si bien México no ha aprobado ningún reglamento específico relativo al reciclaje o manejo de baterías de vehículos híbridos o eléctricos al final de su vida útil, éstas pueden manejarse adecuadamente en apego a la legislación y los reglamentos señalados.

### 3.9.3 Estados Unidos

En Estados Unidos, el manejo de las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) y de las pequeñas de plomo-ácido selladas se rige por la Ley de Manejo de Baterías Recargables y con Contenido de Mercurio (*Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act*), la cual establece los requisitos de etiquetado uniforme y facilita su reciclaje.<sup>62</sup> De conformidad con esta ley, el manejo de las baterías de Ni-Cd y las pequeñas de plomo ácido selladas debe apegarse a las Reglas sobre Desechos Universales (*Universal Waste Rules*). No obstante, esta ley no cubre las baterías de Li-ion ni de Ni-MH.

Las baterías de Li-ion no se considerarían desechos peligrosos a menos que siguieran reactivas o contuvieran otros componentes, como metales pesados, que las hicieran tóxicas. Cuando son peligrosas, estas baterías pueden manejarse de conformidad con los reglamentos sobre desechos universales, que ofrecen un sistema de manejo simplificado para fomentar la recolección adecuada con objeto de garantizar que no vayan a dar al caudal de desechos sólidos municipales y que se reciclen o se disponga adecuadamente de las mismas.

En general, según las leyes federales y estatales de Estados Unidos, las baterías de Ni-MH selladas y sin fugas se consideran baterías de celdas secas y, por tanto, entran en la categoría de desechos no peligrosos. Estas baterías se rigen por el Código de Reglamentos Federales (*Code of Federal Regulations*, CFR) 49 parte 172.101 del Departamento de Transporte de Estados Unidos. Las baterías de Ni-MH con fugas se consideran desechos peligrosos tanto en los reglamentos federales como en los estatales, en tanto que el Departamento de Transporte las considera material peligroso. Cuando estas baterías están dañadas de otra manera también pueden quedar sujetas a las disposiciones previstas en leyes sobre desechos peligrosos; en tales casos, las empresas de reciclaje pueden aceptarlas, pero se deben tomar medidas adicionales en cuanto a su transporte y disposición final. En California, las baterías de Ni-MH deben manejarse de conformidad con las Reglas sobre Desechos Universales (*Universal Waste Rules*) de California.

## 3.10 Costos del reciclaje de las baterías de VPE

Ninguna de las compañías de reciclaje entrevistadas para la realización del presente estudio estuvo dispuesta a compartir información sobre los costos del reciclaje; manifestaron que se otorga un crédito por el reciclaje de algunas baterías cuando el valor del metal extraído es suficiente para cubrir los costos del procesamiento. En otros casos, el reciclaje de la batería implica una cuota de vertedero. Dados los cambios en la composición química de las baterías de Li-ion hacia materiales de menor valor (y sin cobalto), es probable que en el futuro el reciclaje de las baterías para vehículos eléctricos tenga un costo neto.

---

<sup>62</sup> EPA (1997), *Implementation of the Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act* [Instrumentación de la Ley de Manejo de Baterías Recargables y con Contenido de Mercurio], Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/osw/hazard/recycling/battery.pdf](http://www.epa.gov/osw/hazard/recycling/battery.pdf)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).



## 4 Manejo ambientalmente adecuado y prácticas óptimas de manejo de baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil

En este apartado se tratan diversos aspectos del manejo ambientalmente adecuado (MAA) de las baterías de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) al final de su vida útil.

### 4.1 Rutas ambientales de los componentes de las baterías de vehículos eléctricos híbridos (VEH), híbridos enchufables (VEHE) y totalmente eléctricos (VTE)

Cuando están selladas, las baterías de Li-ion y Ni-MH representan un riesgo limitado para el medio ambiente y la salud humana, pero si el sello se rompe y los diversos componentes de la batería se liberan, se presentan algunos riesgos de impacto ambiental.

En este apartado se informa de los posibles efectos de cada componente de las baterías de VPE como elementos en lo individual. En la mayor parte de los casos, estas baterías contienen elementos compuestos, por lo que los impactos potenciales y las rutas ambientales pueden ser diferentes.

#### 4.1.1 Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)

Las baterías de Ni-MH se componen de varios materiales, como acero, zinc, manganeso, níquel, cobalto, otros metales, álcalis, agua y ciertos elementos no metálicos. Algunos de estos materiales pueden ser perjudiciales para la salud humana si la exposición ocurre a niveles elevados, lo cual no se espera de las baterías de Ni-MH de VPE. Sin embargo, a fin de dar información, en el cuadro 13 se presentan las posibles repercusiones de la exposición a niveles elevados de los dos materiales principales de las baterías de Ni-MH (níquel y manganeso).

Actualmente utilizan baterías de Ni-MH alrededor de 80 por ciento de los vehículos eléctricos híbridos (Toyota Prius, Toyota Highlander, Ford Escape, Honda Insight, etc.). El níquel representa de 24 a 35 por ciento del contenido de estas baterías, según el diseño; el níquel también se usa en algunas baterías de Li-ion.

En las baterías de Li-ion se usan níquel y compuestos de níquel-metal, además de manganeso y compuestos de manganeso, como óxido de litio-manganeso; níquel-cobalto-manganeso (NCM); níquel-cobalto-aluminio (NCA) y espinela de óxido de manganeso (MnO).<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> B. Berman (2008), “The hybrid car battery: A definitive guide” [La batería del automóvil híbrido: guía completa], *Hybrid Cars*, en: <[www.hybridcars.com/hybrid-car-battery/](http://www.hybridcars.com/hybrid-car-battery/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

**Cuadro 13. Posibles efectos medioambientales de los componentes de las baterías de Ni-MH**

Níquel y compuestos de níquel <sup>a</sup>		
Posibles efectos medioambientales	Posibles efectos en la salud humana en general	Posibles efectos en la salud ocupacional
<p>Gran parte del níquel liberado en el medio ambiente acaba en el suelo o en sedimentos y se fija con fuerza a partículas que contienen hierro o manganeso. Si el medio es ácido, el níquel tiene más movilidad en el suelo y podría filtrarse al agua subterránea. Aparentemente, el níquel no se concentra en los peces, aunque algunos estudios muestran que ciertas plantas pueden absorberlo y acumularlo. No obstante, se ha demostrado que no se acumula en animales pequeños que habitan en sitios donde el suelo ha sido tratado con lodos que contienen níquel.</p>	<p>El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha determinado que el níquel metálico tal vez sea cancerígeno en humanos (grupo 2B). La población en general puede estar expuesta al níquel por inhalación, o por vía oral o dérmica. De estudios sobre la exposición en los centros de trabajo, informes de dermatitis alérgica por contacto y estudios sobre la exposición animal, se desprende que los destinos principales de la toxicidad parecen ser las vías respiratorias, tras la exposición por inhalación; el sistema inmunitario, como consecuencia de inhalación o exposición oral o dérmica, y posiblemente, el aparato reproductor y el feto en desarrollo, por exposición oral.</p>	<p>Los efectos más perjudiciales en la salud derivados de la exposición al níquel, como bronquitis crónica, disminución de la capacidad pulmonar y cáncer de pulmón y senos nasales, se han presentado en personas que han inhalado polvos con ciertos compuestos de níquel por su trabajo en refineras o plantas procesadoras del metal. Los niveles en esos centros de trabajo son mucho más elevados que en el medio ambiente en general (niveles de referencia). Los casos de cáncer pulmonar y de senos nasales se presentaron en trabajadores expuestos a más de 10 mg de níquel/m<sup>3</sup> en forma de compuestos de níquel difíciles de disolver (como el subsulfuro de níquel).</p>
Manganeso y compuestos de manganeso <sup>b</sup>		
<p>Como otros elementos, el manganeso no puede descomponerse en el medio ambiente; sólo cambia de forma o se fija o separa de las partículas. El estado químico del manganeso y el tipo de suelo determinan la velocidad con que se mueve en el suelo y qué tanto retiene. En el agua, la mayor parte del manganeso tiende a adherirse a partículas o a asentarse en el sedimento.</p> <p>Si bien ciertas fuentes de agua en Estados Unidos están contaminadas por exceso de manganeso, el riesgo de exposición por ingestión de peces o mariscos procedentes de aguas contaminadas es reducido, a menos que los niveles de manganeso en los peces sean extremadamente altos o el pescado sea el alimento básico.</p> <p>En el agua, el manganeso puede estar significativamente bioconcentrado en niveles tróficos bajos.</p> <p>El factor de bioconcentración (BCF) relaciona la concentración de una sustancia química en plantas y tejidos animales respecto de la concentración de esa sustancia química en el agua en que habitan.</p>	<p>Si bien para la salud humana es necesaria la ingestión de niveles reducidos de manganeso, la exposición a niveles elevados es tóxica. Informes de efectos adversos derivados de la exposición al manganeso en seres humanos los relacionan principalmente con la inhalación en el centro de trabajo. El manganeso inhalado suele transportarse directamente al cerebro antes de que el hígado lo metabolice.</p> <p>Los síntomas de toxicidad pueden hacerse evidentes poco a poco, en el transcurso de meses o años.</p> <p>Estudios en niños sugieren que la exposición a niveles extremadamente altos de manganeso puede resultar en efectos indeseables en el desarrollo del cerebro, incluidos cambios de comportamiento y menor capacidad de aprendizaje y problemas de memoria. En algunos casos se ha sospechado que estos mismos niveles de exposición al manganeso causan graves síntomas de "manganismo" (entre otros, dificultad para hablar y caminar). No se sabe a ciencia cierta si estos cambios se deben únicamente al manganeso, ni tampoco si son temporales o permanentes.</p>	<p>Los problemas de salud más comunes en trabajadores expuestos a niveles elevados de manganeso se presentan en el sistema nervioso. Sus efectos en la salud incluyen cambios de comportamiento y otros síntomas en el sistema nervioso, como, por ejemplo, movimientos lentos y torpes. Cuando esta combinación de síntomas alcanza cierta gravedad, se le considera como un cuadro de "manganismo". Otro efecto menos grave en trabajadores expuestos a concentraciones más bajas es la lentitud en el movimiento de las manos. La inhalación de cantidades importantes de polvos o gases que contienen manganeso puede provocar irritación pulmonar que puede convertirse en neumonía. También se ha observado pérdida de la libido y daños espermáticos en varones expuestos a niveles altos de manganeso en el aire del lugar de trabajo. Las concentraciones que provocan efectos tales como lentitud en el movimiento de las manos en algunos trabajadores son aproximadamente 20 mil veces superiores a las concentraciones que suelen encontrarse en el medio ambiente.</p>

Nota: mg = miligramos; m<sup>3</sup> = metros cúbicos.

<sup>a</sup> Fuente de datos sobre el níquel: ATSDR (2005), *Toxicological profile for nickel* [Perfil toxicológico del níquel], US Department of Health and Human Services: Public Health Service: Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Departamento de Salud y Servicios Humanos: Servicios de Salud Pública: Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades de Estados Unidos], disponible en: <[www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf)>.

<sup>b</sup> Fuente de datos sobre el manganeso: ATSDR (2012), *Toxicological profile for manganese* [Perfil toxicológico del manganeso], US Department of Health and Human Services: Public Health Service: Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Departamento de Salud y Servicios Humanos: Servicios de Salud Pública: Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades de Estados Unidos], disponible en: <[www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf)>.

#### 4.1.2 Baterías de iones de litio

Las baterías Li-ion tienen una estructura de tres capas: ánodo, cátodo y separador poroso (ubicado entre las capas del ánodo y el cátodo). Por lo general, el ánodo está hecho de grafitos y otros aditivos conductores, y el cátodo, de óxidos de metales de transición en capas (por ejemplo, cobaltita de litio [LiCoO<sub>2</sub>] y fosfatos de hierro litio [LiFePO<sub>4</sub>]).<sup>64</sup>

En un estudio que Abt Associates llevó a cabo para la EPA en 2012,<sup>65</sup> se evaluaron tres composiciones químicas de baterías de Li-ion para un vehículo totalmente eléctrico y dos para vehículos eléctricos híbridos enchufables con una autonomía de 40 millas (64.3 km). Las composiciones químicas de las baterías evaluadas fueron las siguientes:

- óxido de litio-manganeso (LiMnO<sub>2</sub>),
- óxido de litio-níquel-cobalto-manganeso (LiNi<sub>0.4</sub>Co<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.4</sub>O<sub>2</sub>), y
- fosfato de litio-hierro (LiFePO<sub>4</sub>).

Por otra parte, se evaluó una tecnología de nanotubos de carbono monocapa o de pared simple que en el futuro podría utilizarse en esas baterías.

Uno de los resultados del estudio fue que es factible que las baterías que emplean cátodos de níquel y cobalto, así como el procesamiento de los electrodos a base de solventes, sean las que tienen repercusiones medioambientales adversas (agotamiento de recursos, calentamiento global, toxicidad ecológica, daños a la salud humana).<sup>66</sup> Los procesos más responsables de causar efectos negativos son los relacionados con la producción, procesamiento y uso de compuestos metálicos de cobalto y níquel, que podrían dar lugar a reacciones respiratorias, pulmonares y neurológicas adversas en individuos expuestos a concentraciones elevadas. Estos efectos pueden reducirse adoptando algunas medidas, como sustituir el material del cátodo, procesar los electrodos con menos solventes y reciclar los metales de las baterías.<sup>67</sup> En el cuadro 14 se describen los efectos potenciales de los dos materiales principales de las baterías de Li-ion (litio y cobalto). Para níquel y manganeso, véase el cuadro 13.

---

<sup>64</sup> EPA (2012), *Lithium-ion batteries and nanotechnology for electric vehicles: A life cycle assessment* [Baterías de iones de litio y nanotecnología para vehículos eléctricos: Evaluación del ciclo de vida], Environmental Protection Agency: Office of Pollution Prevention and Toxics, and National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development [Agencia de Protección Ambiental: Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas y Oficina de Investigación y Desarrollo del Laboratorio Nacional de Investigación para el Manejo de Riesgos de Estados Unidos]; disponible en: <<http://nepis.epa.gov>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>65</sup> *Idem.*

<sup>66</sup> *Idem.*

<sup>67</sup> *Idem.*



**Cuadro 14. Posibles efectos medioambientales de los componentes de las baterías de iones de litio**

Litio y compuestos de litio <sup>a</sup>		
Posibles efecto medioambientales	Posibles efecto en la salud humana en general	Posibles efecto en la salud ocupacional
<p>Los impactos medioambientales de la producción de litio se asocian con la producción de energía, la liberación de otros minerales (más tóxicos) y la intrusión natural en el sitio de producción.<sup>b</sup></p> <p>El litio elemental (metálico) se oxida con facilidad en reacciones intensamente exotérmicas. La reacción con agua es particularmente peligrosa por la generación simultánea de calor y gas hidrógeno, que puede resultar en una explosión o incendio.<sup>c</sup></p>	<p>El litio afecta al sistema nervioso y con gran frecuencia se prescribe como medicamento para el tratamiento del trastorno afectivo bipolar. A la fecha, los informes de estudios sobre sus efectos en la movilidad de los espermatozoides y la fertilidad masculina son contradictorios. Se sabe de un caso de intoxicación grave por iones de litio cuya característica clínica principal fue insuficiencia respiratoria, secundaria a un edema pulmonar, posiblemente por depresión del miocardio asociada a estupor profundo.</p>	<p>El litio elemental causa quemaduras graves en ojos y piel. La exposición industrial al litio puede ocurrir durante la extracción del metal del mineral o la preparación de diversos compuestos, así como al soldar, latonar, esmaltar o utilizar híbridos de litio.</p> <p>El litio pertenece a los metales alcalinos y es altamente reactivo.<sup>d</sup></p>
Cobalto y compuestos de cobalto <sup>e</sup>		
<p>Hay pruebas suficientes de la carcinogénesis del óxido de cobalto (II) en animales de experimentación.</p> <p>Las principales vías de exposición al cobalto de preocupación entre la población en general, son los alimentos y el agua potable. En general, los compuestos de cobalto que se disuelven fácilmente en agua son más dañinos que los difíciles de disolver.</p> <p>A menudo, el cobalto depositado en el suelo se fija con fuerza a las partículas de éste, por lo que no alcanza grandes profundidades. Sin embargo, la forma del cobalto y la naturaleza del suelo en un sitio en particular determinan su penetración. Tanto en el suelo como en sedimentos, la cantidad de cobalto móvil se incrementa en condiciones de mayor acidez.</p> <p>En última instancia, casi todo el cobalto va a dar al suelo o a sedimentos.</p>	<p>No se ha encontrado que el cobalto no radiactivo cause cáncer en seres humanos ni en animales por exposición a través de alimentos o agua. No obstante, se ha demostrado que, en animales, el cobalto inhalado o colocado directamente bajo la piel o en los músculos produce cáncer. El Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha determinado que el cobalto tal vez sea cancerígeno en humanos (grupo 2B).</p> <p>Se ha demostrado que la exposición a compuestos de cobalto (metal, sales o metal duro) produce efectos clastógenos (capaces de provocar el rompimiento de cromosomas) en células de mamíferos, incluidos los linfocitos humanos.</p>	<p>Los efectos principales del cobalto en los tejidos respiratorios se hacen evidentes luego de su inhalación. Éstos incluyen disminución de la capacidad pulmonar, tos más frecuente, inflamación de las vías respiratorias y fibrosis. Se ha informado de niveles de entre 0.015 y 0.13 mg Co/m<sup>3</sup> por exposición laboral. Se considera que la exposición a polvos que contienen cobalto, ya sea metal o metal duro, puede resultar en miocardiopatía caracterizada por efectos funcionales en los ventrículos y crecimiento del corazón, si bien no se han determinado los niveles de exposición asociados con efectos cardíacos por inhalación en seres humanos. La exposición dérmica al cobalto en humanos suele provocar dermatitis.</p>

Nota: mg = miligramos; m<sup>3</sup> = metros cúbicos.

Fuentes:

<sup>a</sup> National Library of Medicine HSDB Database (2007), "Lithium compounds" [Compuestos de litio], en: <<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+6900>>.

<sup>b</sup> L. Gaines y R. Cuenca (2000), *Costs of lithium-ion batteries for vehicles* [Costos de las baterías de iones de litio para vehículos], United States Department of Energy, Center for Transportation Research: Energy Systems Division, Argonne National Laboratory [Centro de Investigación sobre el Transporte del Departamento de Energía de Estados Unidos: División de Sistemas de Energía del Laboratorio Nacional de Argonne], Argonne, Illinois.

<sup>c</sup> V. Ekermo (2009), *Recycling opportunities for Li-ion batteries from hybrid electric vehicles*. [Oportunidades de reciclaje de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos híbridos], tesis para obtener el grado de maestría en Ciencias, Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química y Biológica, Reciclaje de Materiales Industriales, Universidad Tecnológica Chalmers, Göteborg, Suecia.

<sup>d</sup> *Idem*.

<sup>e</sup> ATSDR (2004), Toxicological profile for cobalt [Perfil toxicológico del cobalto], US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicios de Salud Pública, Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades de Estados Unidos], disponible en: <[www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.pdf)>.

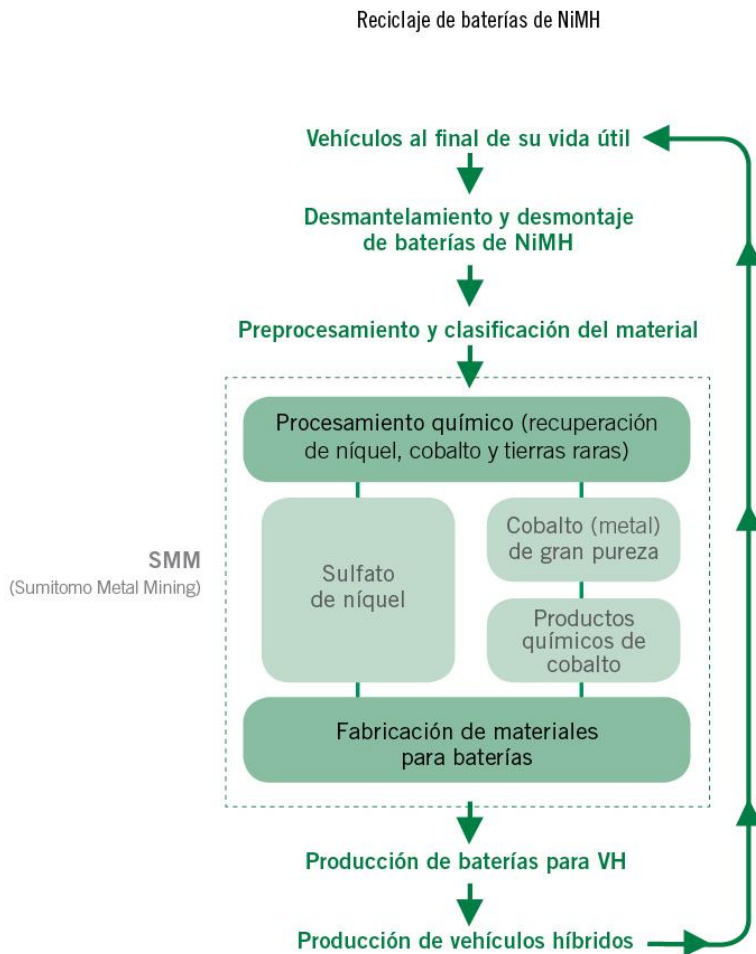
## 4.2 Mejores prácticas técnicas para el reciclaje de baterías de vehículos de propulsión eléctrica

En Europa y Asia se llevan a cabo diversas operaciones de tecnología de punta para el reciclaje de baterías de VPE. En este apartado se describe una selección representativa de las mismas.

### 4.2.1 Mejores prácticas de punta para el reciclaje de baterías de VPE en Asia

La primera compañía en reciclar el níquel de las baterías de Ni-MH de vehículos eléctricos híbridos (VEH) para usarlo en baterías nuevas de ese mismo material fue Sumitomo Metal Mining (SMM) Corp., en Japón, como parte de una iniciativa emprendida en 2010. Junto con Toyota Motor Corporation (TMC), SMM desarrolló una tecnología de alta precisión para detectar y extraer níquel que permite introducir materiales directamente al proceso de refinación del níquel, con lo que se logra un reciclaje “de batería a batería”. Actualmente, TMC trata de llevar al extranjero este sistema, ilustrado en la gráfica 12.

**Gráfica 12. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de baterías de níquel-hidruro metálico: Sumimoto Metal Mining Corporation, Japón**

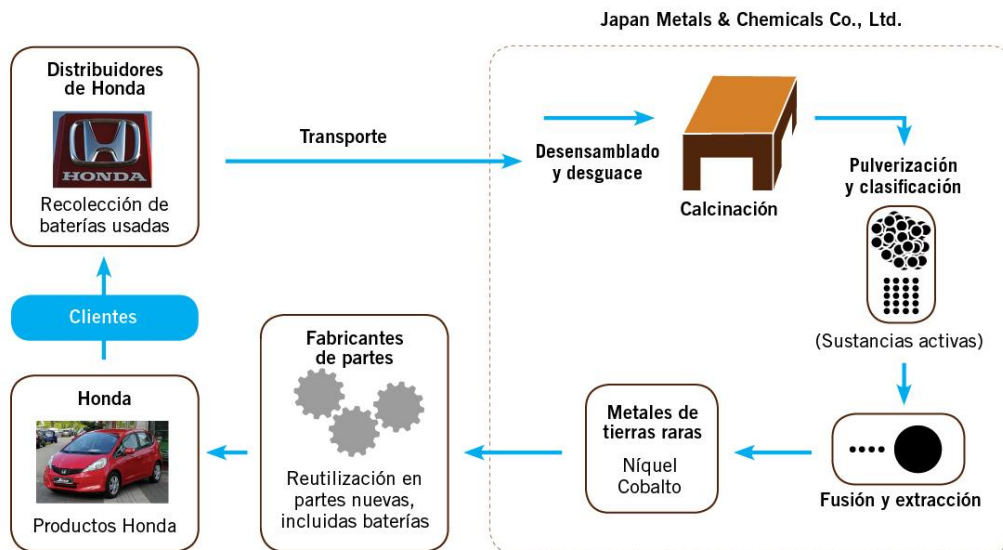


Fuente: Sumitomo Metal Mining Co. (2013), *CSR Report 2013* [Informe CSR 2013], disponible en: <[www.smm.co.jp/E/csr/report/pdf/csr2013\\_allpages.pdf](http://www.smm.co.jp/E/csr/report/pdf/csr2013_allpages.pdf)>.

Antes de la adopción de este sistema, los distribuidores y desmanteladores de automóviles recuperaban las baterías de Ni-MH y las sometían a un tratamiento de recuperación; la chatarra con níquel se reciclaba como materia prima para la fabricación de acero inoxidable.

En 2012, después del terremoto y el tsunami ocurridos en Japón en marzo de 2011, Honda instituyó en la Japan Metals & Chemicals (JMC) un nuevo proceso de extracción de los óxidos con metales de tierras raras (*mischmetal*) de las baterías de Ni-MH. Desde marzo de 2013, JMC entrega los metales extraídos a un fabricante de baterías que los reutiliza en los electrodos negativos de nuevas baterías de Ni-MH para VEH. La extracción de los metales de tierras raras en el proceso de reciclaje implica que, una vez desmantelada la batería, la mezcla de metales se somete a altas temperaturas y se pulveriza. La porción de metal de tierras raras se funde y a continuación se extrae. A diferencia del método actual de reciclaje, que implica tratar con calor las baterías de Ni-MH y utilizar el producto resultante como chatarra de metal para fabricar acero inoxidable, esta tecnología permite a Honda recuperar el acero inoxidable.<sup>68,69</sup> El proceso se ilustra en la gráfica 13.<sup>70</sup>

**Gráfica 13. Proceso de Honda para el reciclaje de baterías de níquel-hidruro metálico con recuperación de metales de tierras raras**



Fuente: “Asian Metal, Rare earths: Recycling” [Metales asiáticos; tierras raras: reciclaje], *Metalpedia*, en: <[http://metalpedia.asianmetal.com/metal/rare\\_earth/recycling.shtml](http://metalpedia.asianmetal.com/metal/rare_earth/recycling.shtml)> (consulta realizada el 31 de marzo de 2015).

<sup>68</sup> C. Michelsen (2012), “Hybrid battery recycling works! according to Honda” [Según Honda, ¡el reciclaje de las baterías híbridas funciona!], *Clean Technica*, en: <<http://cleantechnica.com/2012/04/24/hybrid-battery-recycling-works-according-to-honda/>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>69</sup> F. Els (2013), “Honda’s starts recycling program to extract 80% of rare earths from used hybrid batteries” [Honda inicia programa de reciclaje para extraer 80% de tierras raras de baterías híbridas usadas], *InfoMine*, en: <[www.mining.com/hondas-starts-recycling-program-to-extract-80-of-rare-earths-from-used-hybrid-batteries-43719](http://www.mining.com/hondas-starts-recycling-program-to-extract-80-of-rare-earths-from-used-hybrid-batteries-43719)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>70</sup> Integrity Exports (2012), “Honda introduces rare earth metal recovery tech for old hybrid car batteries” [Honda introduce tecnología de recuperación de metales de tierras raras de las viejas baterías de automóviles híbridos], *Integrity Exports*, en: <<http://integrityexports.com/2012/04/18/honda-introduces-rare-earth-metal-recovery-tech-for-old-hybrid-car-batteries/>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).



#### 4.2.2 Prácticas óptimas de punta para el reciclaje de baterías para VPE en Europa

En 2000-2003, Umicore (ubicada en Bélgica y descrita en el apartado 3) creó un nuevo proceso de reciclaje llamado Val'Eas. Este proceso de ciclo cerrado es el único proceso industrial específico para baterías recargables de Ni-MH y Li-ion y no se deriva de otros procesos utilizados previamente para otro tipo de baterías; se trata, más bien, de una combinación de procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos.

Esta tecnología patentada por Umicore elimina la necesidad de realizar el peligroso tratamiento previo de las baterías de iones de litio, de polímeros de litio y de níquel-hidruro metálico. Para comenzar, las baterías para vehículos eléctricos híbridos (VEH), eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y totalmente eléctricos (VTE) se desmantelan en una línea especial. El aumento de temperatura y las condiciones de reducción (lo opuesto a la oxidación) se monitorean y dirigen muy de cerca para prevenir explosiones y asegurar la total recuperación, en la fase metálica, del cobalto, el níquel y el acero. Del proceso de fundición se obtienen fracciones de metal y chatarra que contienen níquel, cobalto y otros metales valiosos, los cuales se refinan aún más y se transforman en  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  y  $\text{LiMeO}_2$ . Estos dos productos son materiales para el cátodo activo de las baterías, por lo que este proceso cierra el ciclo de batería a batería. El cobalto se utiliza para hacer óxido de litio-cobalto, que puede revenderse a fabricantes de baterías.

Las emisiones de gases se controlan mediante la instalación de la respectiva limpieza del gas, con lo que se garantiza que no se produzcan dioxinas perjudiciales ni compuestos orgánicos volátiles. En esa planta se recoge fluorina del electrolito que puede recuperarse.

El proceso de reciclaje de Umicore está diseñado para cualquier batería de Li-ion y Ni-MH provenientes de vehículos híbridos y totalmente eléctricos al final de su vida útil, sin importar la composición química de las celdas. Si bien el proceso está diseñado de manera específica para lograr gran eficiencia en el reciclaje, también puede aplicarse al reciclaje de otros materiales complejos. En la gráfica 14 se ilustra su funcionamiento.

Las operaciones de fundición se llevan a cabo en Hoboken, Bélgica, en la planta industrial de reciclaje de Umicore, donde las baterías se llevan directamente a un horno, sin necesidad de realizar un riesgoso procesamiento previo (como la trituración).

La *Société Nouvelle d’Affinage des Métaux*, SNAM (Nueva Sociedad de Refinación de Metales), empresa francesa dedicada al reciclaje de metales, puede procesar hasta 300 toneladas anuales de baterías de Li-ion. Una vez clasificadas, las baterías se someten a pirólisis para eliminar los materiales plásticos y el papel. El cobalto, aluminio, cobre y hierro se reciclan, pero el litio no se recupera actualmente. La SNAM recicla baterías de vehículos eléctricos híbridos y totalmente eléctricos de marcas como Volkswagen, Audi, SEAT y Skoda; también tiene un convenio con Honda para el reciclaje de baterías de sus VEH en Europa.<sup>71</sup>

Otra compañía francesa, SAPRP Industries/Euro Dieuze, se especializa en el reciclaje de baterías, incluida la recuperación de litio, mediante un proceso hidrometalúrgico. Sin embargo, como se trata de un proceso nuevo en etapa de investigación y desarrollo, los detalles no se han hecho públicos.

---

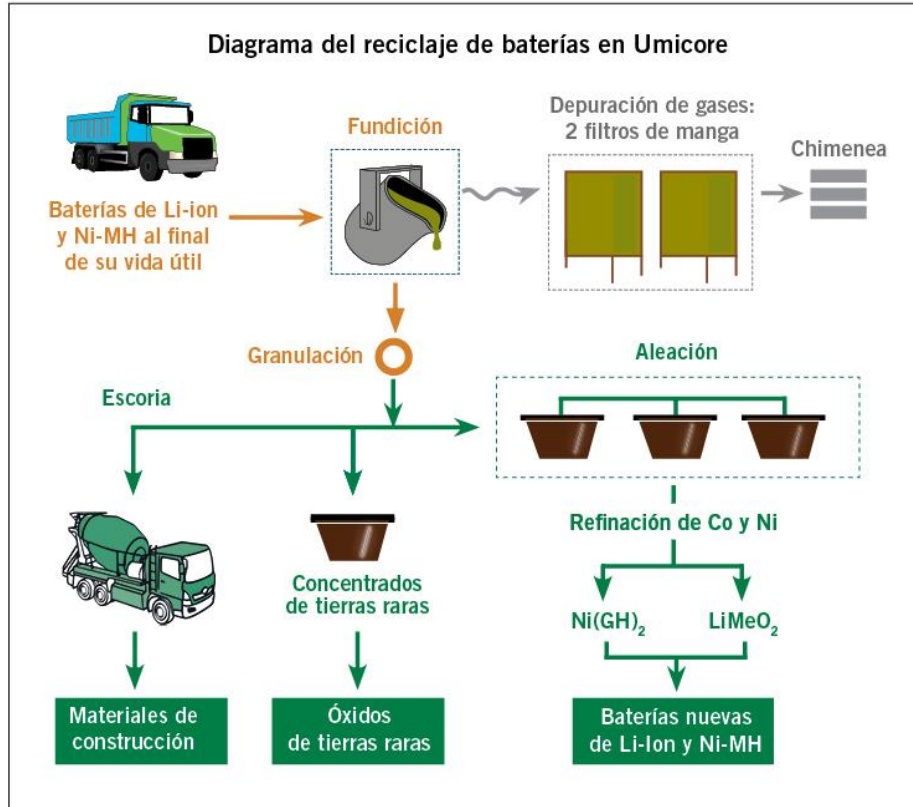
<sup>71</sup> C. Morris (2014), “Volkswagen Group France arranges for recycling of hybrid and EV batteries” [El Grupo Volkswagen Francia llega a acuerdos para reciclar baterías de vehículos híbridos y totalmente eléctricos], *Charged*, en: <<http://chargedevs.com/newswire/volkswagen-group-france-arranges-for-recycling-of-hybrid-and-ev-batteries/>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Friends of the Earth Europe, Friends of the Earth England Wales and Northern Ireland (2013), *Lithium* [Litio], disponible en: <[www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/13\\_factsheet-lithium-gb.pdf](http://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/13_factsheet-lithium-gb.pdf)>.

Toyota Motor Corporation, “Toyota announces sustainable battery recycling agreement in Europe” [Toyota anuncia convenio de reciclaje sustentable de baterías en Europa], comunicado de prensa, en: <<http://toyota.eu/about/pages/newsdetails.aspx?prid=688&prs=Corporate&prrm=pressrelease>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

También en Francia, Recupyl trata las baterías usadas de VEH, VEHE y VTE mediante hidrometalurgia. Su tecnología patentada de valorización de material a bajas temperaturas se basa en un sistema de ciclo cerrado en el que los materiales vuelven a usarse para producir baterías nuevas.<sup>72</sup>

Gráfica 14. Diagrama de flujo del reciclaje de baterías para vehículos eléctricos en Umicore, Bélgica



Fuente: Umicore, en: <[www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/process/process.jpg](http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/process/process.jpg)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Otras compañías que procesan baterías para VPE usados en Europa son Batrec (Suiza) y AkkuSer (Finlandia).

En Suiza, Batrec tiene una planta de procesamiento mecánico de celdas para baterías de Li-ion, las cuales se trituran en una atmósfera de gas  $CO_2$  por medio del cual se evapora el electrolito orgánico volátil que se recoge como un condensado que no se puede usar. La trituration se lleva a cabo a temperatura ambiente para evitar que ocurran reacciones de oxidación. El siguiente paso es la “neutralización” del litio metálico mediante la incorporación de una cantidad controlada de un reactivo que contenga oxígeno (como el aire). Una vez neutralizado el litio, las baterías vuelven a triturarse y se separan los materiales, cuyas fracciones se venden como materia prima para otros procesos.<sup>73</sup>

<sup>72</sup> Una descripción más detallada del proceso puede consultarse en C. O. Vadenbo (2009), *Prospective environmental assessment of lithium recovery in battery recycling* [Evaluación medioambiental prospectiva de la recuperación de litio en el reciclaje de baterías], disponible en: <[www.uns.ethz.ch/pub/publications/pdf/1717.pdf](http://www.uns.ethz.ch/pub/publications/pdf/1717.pdf)>.

<sup>73</sup> Global PSC (2011), “Batrec—Return Batteries and Accumulators” [Devuelva baterías y acumuladores: Batrec], video de YouTube, en: <[www.youtube.com/watch?v=e6qyLT\\_x53o](http://www.youtube.com/watch?v=e6qyLT_x53o)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

En Finlandia, AkkuSer no utiliza sustancias químicas, calor ni agua en el reciclaje de baterías para vehículos híbridos y totalmente eléctricos; cuenta con su propia planta y aplica una tecnología en seco (trituration y tratamiento con gas).<sup>74</sup> Se informa que este método (tecnología en seco) es de los que tienen mayor índice de recuperación de material de las baterías, incluso a escala mundial. Las baterías recargables se trituran y los elementos reutilizables se separan según sus propiedades físicas (como peso, cualidades magnéticas, etc.).<sup>75</sup> Este proceso, que ha demostrado ser una de las mejores técnicas disponibles (MTD), consume relativamente poca energía (0.3 kWh/kg) y a pesar de ello logra un índice de reciclaje muy elevado (más de 90 por ciento).<sup>76</sup>

### 4.3 Investigaciones sobre el empleo de baterías de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) como dispositivos para almacenar energía

Organismos de Estados Unidos, como el Departamento de Energía, el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (*US National Renewable Energy Laboratories*) y el Instituto Internacional de Investigación sobre la Energía Eléctrica (*International Electric Power Research Institute*, EPRI), junto con varias universidades (como el Instituto Tecnológico de Rochester [*Rochester Institute of Technology*], la Universidad de California en Davis [*UC Davis*] y la Universidad de California en Berkeley [*UC Berkeley*]), exploran la posibilidad de encontrar un nuevo uso para las baterías de VPE: para almacenar y distribuir energía y como energía fantasma en dispositivos eléctricos. Este trabajo se centra parcialmente en el uso más amplio de baterías de gran formato como dispositivos de almacenamiento de energía.

Entre los varios “segundos usos” identificados (algunos ya aplicados) a la fecha figuran:

- conjuntamente con una red de suministro de energía basada en tecnologías de generación de energía eólica y solar, aplicaciones como la acumulación de electricidad en horas de menor costo y su distribución cuando los precios aumentan (*energy time shifting*), la consolidación de un sistema de energía a partir de recursos renovables y prestación de servicios confiables y de calidad;
- aplicaciones en telecomunicaciones, como torres para telefonía celular;
- aplicaciones estacionarias no dependientes de una red, como, por ejemplo, energía de respaldo y para instalaciones remotas;
- operaciones móviles de vehículos de carga no ligera, por ejemplo en tiempos de inactividad comercial, vehículos utilitarios y recreativos, y de transporte público (varios tipos de microhibridación)<sup>77</sup>, y

---

<sup>74</sup> SYKLI Environmental School of Finland, “Batteries” [Baterías], en: <[www.sykli.fi/en/materials-and-tools/batteries-recycling/recycling](http://www.sykli.fi/en/materials-and-tools/batteries-recycling/recycling)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>75</sup> CTC-N (2012), *Development of a recycling process for Li-Ion batteries* [Creación de un proceso de reciclaje de baterías de Li-Ion], Climate Technology Centre and Network [Centro y Red de Tecnología del Clima], en: <<http://ctc-n.org/content/development-recycling-process-li-ion-batteries>> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

<sup>76</sup> AkkuSer (2011), AkkuSer Ltd – Battery Recycling – Dry Technology [AkkuSer Ltd: Reciclaje de baterías con tecnología seca], video de YouTube, en: <[www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=HD1dB7zI7Ec](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=HD1dB7zI7Ec)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

<sup>77</sup> J. Neubauer y A. Pesaran (2010), *PHEV/EV li-ion battery second-use project* [Proyecto para un segundo uso de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos híbridos y eléctricos] (NREL/PR-540-48018), National Renewable Energy Laboratory [Laboratorio Nacional de Energía Renovable], disponible en: <[www.nrel.gov/docs/fy10osti/48018.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48018.pdf)>.

- fuentes de energía para aplicaciones especializadas, como granjas de servicios y necesidades agrícolas, entre otras.

La batería de un VPE, por ejemplo, puede tener 200 celdas cableadas hacia ocho módulos conectados eléctricamente. Al final de la vida útil de la batería, algunos de esos módulos, o todos, conservan suficiente carga para aplicaciones estacionarias (por ejemplo, la bomba de una granja). Un electricista o un técnico capacitado puede dismantelar la batería y adaptar los módulos al tamaño adecuado para aplicaciones específicas. Este tipo de reasignación es atractiva para organizaciones formales como las ya mencionadas, así como para personas que hacen sus propias adaptaciones u operaciones “caseras” en nichos de mercado pequeños. Sin embargo, la Asociación de Baterías Recargables (*Rechargeable Battery Association*, PRBA) ha expresado su preocupación sobre el reacondicionamiento de baterías para VPE por cuestiones de seguridad; son grandes los riesgos de una descarga eléctrica que pondría en peligro la salud humana, a menos que el reacondicionamiento de estas baterías lo lleve a cabo una persona debidamente capacitada.<sup>78</sup>

Otras investigaciones en proceso incluyen las siguientes:

- alianza entre Nissan y Sumitomo para emprender un plan de negocios centrado en la recuperación y reventa de baterías de automotores usadas, y
- una compañía de energía colabora con Itochu para crear sistemas para almacenamiento de energía en edificios de departamentos, para “ayudar a crear un mercado secundario” para las baterías usadas.

Con objeto de que la industria del reacondicionamiento de baterías de VPE al final de su primera vida optimice el valor de la captación y al mismo tiempo garantice la seguridad humana y del medio ambiente podría ser necesario establecer normas al respecto. Además, que las baterías se modifiquen para darles un uso subsiguiente luego de ser descartadas por un VPE, despierta interrogantes sobre a quién correspondería la responsabilidad en caso de que la batería o las celdas fallaran y hubiese daños de consideración en la salud humana o el medio ambiente: el fabricante del vehículo, el fabricante de la batería o el propietario del vehículo.

Un sólido mercado para la reutilización de las baterías de VPE después de su primer uso alargaría los años antes de tener que reciclarlas. Este potencial no se tomó en consideración al aplicar el modelo de duración del ciclo de vida para realizar las estimaciones sobre el final de la vida útil presentadas en el apartado 3, dada la incertidumbre que persiste en cuanto a si estas aplicaciones de “segundo uso” realmente funcionarían en América del Norte. Los expertos entrevistados para este proyecto sugirieron que los hogares urbanos de países en desarrollo (donde son frecuentes las interrupciones prolongadas en el suministro eléctrico) podrían ser un buen mercado para el uso de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil como dispositivos de almacenamiento de energía, aunque también existen preocupaciones de que al haberse diseñado originalmente para vehículos no resulten ideales en aplicaciones de almacenamiento de energía.

#### 4.4 Legislación sobre prácticas óptimas para el MAA de baterías de vehículos de propulsión eléctrica

Europa es líder en materia de legislación sobre el reciclaje de baterías. La Directiva Europea sobre Baterías (*European Batteries Directive*), adoptada originalmente en 1991, fija objetivos claros sobre la recolección y el reciclaje de todo tipo de baterías. Si bien no es específica para baterías de VPE, sus requisitos son aplicables a éstas. El objetivo esencial de esta Directiva es minimizar el efecto negativo

---

<sup>78</sup> George A. Kerchner, comunicación personal con los autores, 13 de marzo de 2014.

de baterías, acumuladores y baterías de desecho en el medio ambiente, de tal forma que contribuya a la protección, preservación y mejora de la calidad medioambiental.<sup>79</sup>

La Directiva estipula varios requisitos sobre el reciclaje de baterías, como, por ejemplo, que todas las baterías recolectadas deben reciclarse; que el uso de mercurio está restringido; que no pueden desecharse en rellenos sanitarios ni incinerarse; que deben llevar en la etiqueta la imagen de un contenedor de basura tachado; que los productores de baterías o terceros que actúen en su nombre no pueden rehusarse a recibir baterías de desecho, y que los procesos de reciclaje deben lograr un mínimo de eficiencia de 50 por ciento en las baterías híbridas de iones de litio y de níquel metal. En la Directiva también se estipula que las baterías deben ser fácilmente desmontables de los aparatos y que todos los dispositivos que incluyan baterías (incluidos los vehículos) deben acompañarse de instrucciones sobre cómo retirarlas sin riesgos.

De acuerdo con la citada Directiva Europea, las baterías para VPE se consideran baterías industriales (no para automotores), para las cuales el índice de recolección de las ya usadas debe llegar a 25 por ciento hacia septiembre de 2012 y a 45 por ciento en septiembre de 2016. Los estados miembro de la Unión Europea son libres de exigir índices de recolección superiores en sus territorios. Alemania impuso una tasa de 35 por ciento para septiembre de 2012. También se ha definido un índice de 50 por ciento de eficiencia en el reciclaje para “composiciones químicas comúnmente utilizadas en baterías”.<sup>80</sup>

La Directiva fija también ciertos requisitos de recuperación y reciclaje obligatorios. A continuación, algunos ejemplos específicos:<sup>81</sup>

- **Esquemas de recolección.** “Los estados miembro deben asegurarse de que los productores de baterías y acumuladores industriales, o terceros que funjan en su nombre, no se nieguen a recibir baterías y acumuladores industriales de desecho que les devuelvan los usuarios finales, independientemente de su composición química y origen. Terceros independientes también pueden recolectar baterías y acumuladores industriales”.
- **Desmontaje de baterías y acumuladores de desecho.** “Los estados miembro deben asegurarse de que los fabricantes diseñen aparatos que permitan desmontar fácilmente baterías y acumuladores. Los aparatos que incluyan baterías y acumuladores deben ir acompañados de instructivos sobre cómo desmontarlos sin riesgo y, en su caso, informar al usuario final del tipo de batería o acumulador. Estas disposiciones no serán aplicables cuando por razones de seguridad, desempeño, médicas, de integridad de los datos o continuidad del suministro de energía se requiera y sea necesaria una conexión permanente entre el aparato y la batería o acumulador”.

El reciclaje de baterías también está regulado por la Directiva de la Unión Europea sobre Vehículos al Final de su Vida Útil (2000/53/EC). Según lo declarado en dicha Directiva, “las baterías y acumuladores para vehículos deben cumplir con los requisitos de la Directiva 2000/53/EC, en particular el artículo 4 de la misma. Por tanto, debe prohibirse el uso de cadmio en baterías industriales (incluidas las de Ni-MH y

---

<sup>79</sup> Toshiba of Europe Ltd. (2013), “Legal directives in Europe” [Directivas legales en Europa], en: <[www.toshiba.eu/eu/Environmental-Management/Legal-directives-in-Europe/](http://www.toshiba.eu/eu/Environmental-Management/Legal-directives-in-Europe/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>80</sup> VARTA, Environmentally-friendly substances and recycling [Sustancias respetuosas del medio ambiente y reciclaje], en: <[www.varta-consumer.com/en/Company/Environment/EU-battery-directive-and-Battery-recycling.aspx](http://www.varta-consumer.com/en/Company/Environment/EU-battery-directive-and-Battery-recycling.aspx)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>81</sup> Unión Europea (2013), “Directiva 2013/56/UE del Parlamento y del Consejo del 20 de noviembre de 2013 por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, por lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores portátiles que contengan cadmio, destinados a utilizarse en herramientas eléctricas inalámbricas, y de pilas botón con un bajo contenido de mercurio, y se deroga la Decisión 2009/603/CE de la Comisión”, Unión Europea, *Diario Oficial de la Unión Europea*; disponible en: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32013L0056>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Li-ion), a menos que pueda beneficiarse de una exención sobre la base del Anexo II de tal Directiva”. En la primavera de 2014, la provincia de Ontario emitió para consulta una directiva provisional sobre vehículos al final de su vida útil. Esta directiva requeriría el adecuado desmontaje de todas las baterías de vehículos antes de la trituración.

Además de las directivas anteriores, en abril de 2010 la Comisión Europea emitió una comunicación para una “estrategia europea sobre vehículos limpios y energéticamente eficientes”. La estrategia en que se reconoce el potencial de expansión del mercado global de vehículos eficientes en consumo energético incluye algunas recomendaciones que conforman “un marco de políticas tecnológicas neutrales apropiadas sobre vehículos limpios y eficientes en el consumo de energía”. Entre las propuestas de la estrategia se incluye analizar qué cambios serán necesarios para que la legislación vigente sobre baterías se adapte a las circunstancias del nuevo mercado; promover programas europeos sobre su reciclaje y reutilización, y examinar opciones para modificar las reglas que rigen el transporte de éstas.<sup>82</sup>

El manejo de productos de ingeniería complejos al final de su vida útil es objeto cada vez más de las leyes y reglamentos de lo que suele llamarse “gestión ambiental del producto” en todo el mundo. Se trata de un modelo de política por el cual se pide a los fabricantes de productos que paguen el costo del manejo responsable de los mismos al final de su vida útil. Actualmente, en América del Norte estas leyes —vigentes por lo general en los ámbitos provincial o estatal, más que en el federal en Canadá y Estados Unidos, pero sí en la esfera nacional en México— se aplican a aparatos electrónicos, pinturas, plaguicidas, neumáticos, cilindros de gas, alfombras, dispositivos radiactivos, lámparas fluorescentes, dispositivos que contengan mercurio (termostatos) y otras categorías de productos al final de su vida útil. La legislación sobre gestión ambiental del producto suele aprobarse cuando se hace evidente que los sistemas de manejo de desechos locales llevan una concentración excesiva por los componentes peligrosos de estos productos complejos, e intenta regresar los costos a los fabricantes del producto (y por extensión, a los consumidores de éste). Se considera muy poco factible que las baterías de VPE vayan a dar a depósitos de desechos municipales, ya que su tamaño y peso los hacen muy visibles y difíciles de desechar subrepticamente.

Los ejecutivos del sector entrevistados para este estudio coincidieron, en términos generales, en que las leyes sobre gestión ambiental del producto no son el modelo correcto para esta clase de productos. Esperan, en cambio, que se conforme un sistema sólido, voluntario, similar al establecido por Call 2 Recycle (antes Corporación sobre el Reciclaje de Baterías Recargables [*Rechargeable Battery Recycling Corporation*, RBRC]) para baterías recargables pequeñas. En este sistema, los fabricantes pagan a una organización no lucrativa (Call 2 Recycle) independiente en función de la cantidad y tipo de baterías que entran al mercado. Estas cuotas cubren el costo de establecer puntos de recolección por todo el país y reciclar las baterías. Los grupos de interesados preferirían no ver una legislación nacional que incluya el rubro “baterías de VPE”.

## 4.5 Políticas sobre prácticas óptimas

Se han concebido numerosas políticas que buscan fomentar la adquisición de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) y de esa manera reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las huellas medioambientales (siempre que el vehículo al final de su vida se maneje de forma ambientalmente adecuada). En general, estas políticas promueven la compra de VPE ofreciendo descuentos. A continuación se mencionan algunas de esas políticas:

1. Estacionamiento más barato o gratuito para vehículos híbridos: esta política se ha instrumentado en ciudades como Albuquerque (Nuevo México), Austin (Texas), Baltimore (Maryland), Ferndale (Michigan), Huntington (Nueva York), Los Ángeles (California), New Haven (Connecticut), Salt

---

<sup>82</sup> Eurobat (2010), “Otras legislaciones” en: <[www.eurobat.org/other-legislation](http://www.eurobat.org/other-legislation)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).



- Lake City (Utah), San Antonio (Texas), San José (California), Santa Mónica (California), Vail (Colorado) y Westchester (Nueva York).
2. Obligación de que los taxis sean híbridos: Vancouver, Columbia Británica (Canadá) y otras ciudades.
  3. Metas de adquisición de VPE para diversas flotas ecológicas.
  4. Permiso para que los VPE puedan circular por los carriles reservados para vehículos con varios pasajeros; exención a dichos vehículos de los requisitos de verificación de emisiones, y tarifas eléctricas bajas, créditos fiscales y otros incentivos para los propietarios de vehículos de propulsión eléctrica.

En el apéndice B se incluye una lista de los incentivos.

Algunos de los fabricantes de automóviles ofrecen incentivos en efectivo para alentar a los consumidores a que devuelvan las baterías de VPE al final de su vida útil. Además de ofrecer un descuento en efectivo de \$EU100 cuando se regresa una de esas baterías, Toyota Motor Corporation de Australia ofrece un descuento de 500 dólares sobre la adquisición de una batería nueva de repuesto. La rebaja o descuento puede solicitarse en cualquiera de las distribuidoras Toyota en ese país. Por otra parte, para asegurarse de que todas las baterías regresen a la compañía y que el distribuidor no se deshaga de ellas sin más, Toyota ofrece una recompensa de 200 dólares por cada batería de Prius devuelta al final de su vida útil.<sup>83</sup> Honda ofrece un “depósito base” de 500 dólares que se devuelven al cliente cuando regresa la batería del VPE para recibir una nueva.<sup>84</sup>

## 4.6 Estrategias técnicas sobre prácticas óptimas de manejo ambientalmente adecuado de baterías para VPE

Se debe cumplir con el manejo ambientalmente adecuado (MAA) de las baterías para vehículos de propulsión eléctrica (VPE) en cada etapa de su ciclo de vida para garantizar la protección de la salud humana y el medio ambiente al final de la vida útil. En este apartado se presentan sugerencias de personas entrevistadas para la investigación.

### 4.6.1 MAA de baterías para VPE en la etapa de diseño

La primera práctica óptima para el manejo ambientalmente adecuado (MAA) de baterías para vehículos de propulsión eléctrica (VPE) es diseñar baterías multicelulares con salvaguardas activas para mitigar o prevenir fallas y riesgos de seguridad y, también, que puedan desmantelarse fácilmente al final de su vida útil. Dada la inestabilidad térmica de los materiales activos de la batería a altas temperaturas y la posibilidad de que haya cortos circuitos internos que podrían representar algún riesgo, el diseño de estos productos debe comprender un amplio análisis de riesgos con herramientas de diseño industrial probadas, como modos de falla y análisis de árbol de falla sobre los efectos. Los riesgos de seguridad de las baterías para VPE están previstos en normas y protocolos de pruebas que pueden guiar a los fabricantes sobre una manera más segura de fabricar y utilizar baterías de Li-ion.

---

<sup>83</sup> Carbon Pig, “Electric cars don’t use fossil fuel, but what’s the environmental impact and life cycle of the batteries?” [Los automóviles eléctricos no utilizan combustible fósil, pero ¿cuál es el impacto ambiental y el ciclo de vida de las baterías?], *CarbonPig*, en: <<http://carbonpig.com/article/electric-cars-dont-use-fossil-fuel-whats-environmental-impact-and-life-cycle-batteries>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>84</sup> Bumblebee Batteries LLC, “MAX-IMA replacement IMA battery for Honda Civic Hybrid” [MAX-IMA reemplaza la batería IMA en el Honda Civic híbrido], en: <<http://bumblebeebatteries.com/hybrid-batteries/honda-civic-hybrid-battery>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Los estándares de seguridad relevantes en América del Norte suelen formularse mediante un proceso de consensos basados en la participación de representantes de organismos reglamentadores, fabricantes, grupos industriales, organizaciones de defensa del consumidor, compañías de seguros y otros grupos interesados clave para la seguridad. Underwriters Laboratories (UL) fortaleció recientemente sus normas sobre baterías de Li-ion.<sup>85</sup> Hay varias normas vigentes y protocolos de pruebas utilizados para evaluar algunos de los aspectos de seguridad de las baterías de Li-ion en etapa de diseño.<sup>86</sup>

#### 4.6.2 MAA de baterías para VPE mediante el etiquetado

Algunos recicladores comentaron que sería útil etiquetar con claridad las baterías para VPE respecto de su composición química específica. El etiquetado de las baterías sobre su constitución química, riesgos y manejo adecuado debería entrar en vigor durante la etapa de diseño porque favorece la seguridad, el uso correcto y la recuperación óptima de su valor durante todas las etapas posteriores del ciclo de vida. Debe hacerse de tal forma que se protejan las fórmulas patentadas del fabricante, pero con información suficiente para que las partes que manejen las baterías de VPE al final de su vida útil conozcan los riesgos y el valor potencial de las mismas (por ejemplo, las celdas con elevada concentración de cobalto son muy valiosas para los recicladores).

Dos anécdotas mencionadas durante el estudio ponen de relieve la necesidad de un etiquetado adecuado:

- Una gran cadena de trituradores de automóviles de América del Norte informa que no aceptará baterías de VPE (ni tampoco vehículos híbridos o eléctricos a los que no se les haya retirado la batería). En su política señala que: “además de aspectos medioambientales, presentan graves riesgos de seguridad y pueden provocar incendios. En un par de nuestras instalaciones ha habido casos de casi electrocución e incendios pequeños con este tipo de baterías”. La empresa decidió no recibir baterías de VPE en el futuro previsible, y remitirá a los portadores a su mecánico o al distribuidor para que desmonte la batería; ya desmontada, el triturador recibirá el vehículo.<sup>87</sup>
- Los fundidores de baterías de plomo-ácido informan que han tenido problemas de seguridad con baterías de iones de litio —con factores de forma muy similares a los de las de plomo-ácido—, que al mezclarse con las de plomo-ácido han causado explosiones u otros problemas.<sup>88</sup>

La Asociación de Baterías Recargables (*Rechargeable Battery Association*, PRBA) trabaja en el etiquetado de las baterías para VPE, y la Asociación de Recicladores de Baterías para Automotores envió recientemente una carta a la Sociedad de Ingenieros Automotrices (*Society for Automotive Engineers*) con la solicitud de que formule un método y normas para identificar de manera sistemática las baterías de Li-ion.<sup>89</sup> Las etiquetas deben adherirse físicamente a la batería; no es realista esperar que los recicladores, siempre muy ocupados, busquen el número de serie para determinar la composición química y los riesgos. Las baterías

---

<sup>85</sup> Reuters (2013), “Standards are tightened for lithium-ion batteries” [Se endurecen normas en materia de baterías de iones de litio], *The New York Times*, en: <[www.nytimes.com/2013/06/13/business/lithium-ion-battery-standards-are-tightened.html?\\_r=0](http://www.nytimes.com/2013/06/13/business/lithium-ion-battery-standards-are-tightened.html?_r=0)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>86</sup> Underwriters Lab (2012), *Safety issues for lithium-ion batteries* [Aspectos de seguridad de las baterías de iones de litio], disponible en: <[www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS\\_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries\\_10-12.pdf](http://www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries_10-12.pdf)>.

<sup>87</sup> Información confidencial de una gran cadena de trituradores de automotores de América del Norte, comunicación personal con los autores, 17 de marzo de 2014.

<sup>88</sup> Información confidencial de una fundidora de plomo de Estados Unidos, comunicación personal con los autores, 10 de marzo de 2014.

<sup>89</sup> Información confidencial de un ejecutivo de la industria del reciclaje de baterías, comunicación personal con los autores, 11 de marzo de 2014.

de VPE no etiquetadas podrían representar un obstáculo para el crecimiento de la infraestructura de recuperación del valor al final de su vida útil.

#### 4.6.3 MAA de baterías para VPE durante el transporte

El manejo adecuado durante el transporte de baterías para VPE tiene requisitos diferentes si se trata de baterías nuevas o usadas. El sistema de reglamentos que rige el transporte internacional de desechos peligrosos, que cubre todos los tipos de transporte, es bastante maduro. Las Naciones Unidas reúnen a las Partes para definir las normas.

En el Subcomité de Expertos del Transporte de Bienes Peligrosos de las Naciones Unidas se formó un grupo de trabajo sobre baterías de litio. El grupo se reunió a principios de febrero de 2014 en Bruselas para abordar los cambios propuestos en los requisitos de pruebas y en las definiciones del *Manual de pruebas y criterios* de las Naciones Unidas para baterías de litio de gran formato. La organización de las reuniones corre por cuenta de la Asociación de Baterías Recargables (*Rechargeable Battery Association*, PRBA), el Consejo sobre Seguridad en el Transporte de Artículos Peligrosos (*Council on Safe Transportation of Hazardous Articles*, COSTHA) y la Asociación Europea de Baterías Recargables Avanzadas (*European Association for Advanced Rechargeable Batteries*, Recharge). Entre los participantes se cuentan funcionarios gubernamentales de Estados Unidos, el Reino Unido, Alemania, Francia y Canadá, así como expertos importantes de las industrias de baterías y automóviles de Japón, Alemania, China, Corea, Francia y Estados Unidos.<sup>90</sup>

Los reglamentos de las Naciones Unidas se incorporarán en el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas de la Organización Marítima Internacional (OMI) a que se sujetan todos los productos peligrosos transportados por mar. Por ejemplo, si una empresa como Tesla transporta para reciclaje una batería a Japón, tendrá que cumplir con dicho código.

En este momento, Canadá no tiene reglamentos para el transporte de baterías de Li-ion al final de su vida útil; se ha recomendado que actualice sus reglamentos para cuando sean de desecho.<sup>91</sup>

#### 4.6.4 MAA de baterías para VPE en sus fases de fabricación e instalación

La siguiente etapa del ciclo de vida de las baterías para VPE que incide en la seguridad relacionada con el final de su vida útil es la instalación. Actualmente hay organizaciones internacionales de normalización que buscan mejorar la compatibilidad del producto entre el fabricante del vehículo y el de la batería con unidades de Li-ion integradas. Ello comprende efectuar las respectivas pruebas de desempeño en apego a las normas aplicables. Un ejemplo de esta estrategia se encuentra plasmado en la norma IEC 60950-1 (UL 60950-1), *Information Technology Equipment, Safety*, primera parte [Equipo para tecnología de la información: seguridad].<sup>92</sup>

Una preocupación manifestada por sectores interesados de diversas industrias es que puede contarse con los mejores reglamentos y normas en materia de diseño, fabricación y transporte de baterías para VPE,

---

<sup>90</sup> RBRC (2014), *Working group makes progress on updating UN testing requirements for large lithium batteries* [Grupo de trabajo avanza en la actualización de los requisitos de las pruebas de las Naciones Unidas para baterías de litio de gran tamaño], Rechargeable Battery Association [Asociación para Baterías Recargables], en: <[www.prba.org/general/working-group-makes-progress-on-updating-un-testing-requirements-for-large-lithium-batteries-804/](http://www.prba.org/general/working-group-makes-progress-on-updating-un-testing-requirements-for-large-lithium-batteries-804/)> (consulta realizada el 13 de marzo de 2014).

<sup>91</sup> G. Kerchner, comunicación personal con los autores, 13 de marzo de 2014.

<sup>92</sup> Underwriters Lab (2012), *Safety issues for lithium-ion batteries* [Aspectos de seguridad de las baterías de iones de litio], disponible en: <[www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS\\_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries\\_10-12.pdf](http://www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries_10-12.pdf)>.

y los principales fabricantes “de marca” (Panasonic, Sanyo) pueden apearse estrictamente a tal normatividad, pero en el siguiente nivel de fabricantes de baterías, los que no tienen “marca” —y ya los hay, a menudo en los mercados de mano de obra barata—, se van a ignorar esas prácticas óptimas, por lo que las baterías “subestándar” para VPE entrarán al mercado y se instalarán en los VPE. Esta situación de libre mercado, que puede ser muy difícil de abordar, exige diligencias de todas las partes de la cadena de adquisición (de fabricantes a distribuidores, a propietarios de vehículos, etc.) para garantizar que se cumpla con la máxima calidad y las normas óptimas.

#### 4.6.5 MAA de baterías para VPE en su etapa de uso

Es de fundamental importancia que todas las partes que pueden entrar en contacto con una batería para vehículo de propulsión eléctrica (VPE) cuando aquélla no funciona adecuadamente estén capacitadas para su gestión y manipulación. Esto implica informar a muchas de las partes interesadas, entre otras: distribuidores, mecánicos, propietarios de vehículos y personal de atención de emergencias (en caso de accidentes e incendios) y de operaciones de rescate (cuando los vehículos destruidos en accidentes son transportados por grúas). Las baterías para vehículos eléctricos tienen cargas de 200 voltios, a diferencia de las de plomo-ácido, de sólo 12 voltios. Muchos grupos interesados han elaborado documentos de orientación al respecto, como asociaciones de jefes de bomberos y el sector del mercado secundario de venta de automóviles.<sup>93</sup>

#### 4.6.6 MAA de baterías para VPE al final de su vida útil

Entre las normas de higiene industrial, existen diversas estrategias que garantizan el manejo ambientalmente adecuado de las baterías de VPE al final de su vida útil como, por ejemplo, proteger la salud y la seguridad de los trabajadores. Estas estrategias se han sometido a pruebas y verificaciones por recicladores de baterías de plomo-ácido que operan en América del Norte. Los controles de salud y seguridad ambientales incluyen:

- capacitación constante sobre salud y seguridad en relación con el medio ambiente para todos los empleados, en especial sobre los riesgos de electricidad;
- controles de ingeniería para garantizar el adecuado funcionamiento de todo el equipo para proteger la salud y la seguridad del medio ambiente y de los trabajadores, y
- normas de uso del equipo de protección personal, el cual debe someterse a pruebas adecuadas respecto de los riesgos de la planta.

Estos controles deben aplicarse no sólo en las instalaciones en que se reciclan baterías, sino en todas las instalaciones intermedias en que se tiene contacto con baterías de VPE al final de su vida útil, a saber: distribuidores a quienes se devuelve un vehículo, vendedores de automóviles independientes que los reciben a cambio, plantas de recuperación de automóviles que reciben un automóvil eléctrico accidentado, y desmanteladores. Si un VPE se tritura o compacta para convertirlo en chatarra sin haber retirado antes la batería, se corre el riesgo de incendio y electrocución. Sin embargo, un especialista en el mercado secundario del sector de automóviles hizo notar que las partes que Trituran autos suelen ser las mismas que primero retiran los elementos comerciables, y como parece ser que en este momento el mercado de baterías usadas es bastante sólido, los desmanteladores las extraen por el beneficio monetario que representan. En Internet ya se ven anuncios del mercado del reciclaje en que se ponen a la venta baterías para VPE.

---

<sup>93</sup> Cars Direct (2013), “How to properly recycle used hybrid car batteries” [Cómo reciclar adecuadamente las baterías para vehículos híbridos usadas], *Cars Direct*, en: <[www.carsdirect.com/green-cars/how-to-properly-recycle-used-hybrid-car-batteries](http://www.carsdirect.com/green-cars/how-to-properly-recycle-used-hybrid-car-batteries)> (consulta realizada el 18 de marzo de 2014).

Un aspecto no conocido de la planeación del manejo ambientalmente adecuado de las baterías para VPE al final de su vida útil es el uso de nanomateriales en su fabricación. Cada vez es más frecuente el uso de nanotubos de carbono de pared simple en productos manufacturados, como en los ánodos de algunas baterías de iones de litio. Los nanomateriales no se comportan como sus contrapartes de “tamaño normal” ante fuerzas térmicas, químicas y mecánicas; pueden transportarse por el aire y convertirse así en un riesgo para la salud respiratoria cuando se trituran productos que los contengan (como podría ser el caso del procesamiento previo de baterías de Li-ion al final de su vida útil). La investigación sobre las características de toxicidad en general de los nanotubos de carbono de pared simple —para la salud tanto humana como del medio ambiente— y de otros nanomateriales apenas empieza. Conforme estos estudios avancen y los materiales sean mejor conocidos, podrían incrementarse los requisitos de etiquetado y marcaje de las baterías para vehículos propulsados por electricidad.

## 5 Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Resumen de resultados

1. Los vehículos eléctricos híbridos (VEH) entraron a los mercados de Canadá, Estados Unidos y México en 2000, en 2006 y en 2000, respectivamente. Se estima que en 2013 se vendieron unas 23,000 unidades en Canadá, 495,500 en Estados Unidos y 1,000 en México; es decir, un total aproximado de 520,000 VEH en América del Norte. Se espera que estas cifras se incrementen significativamente en los próximos años.
2. Se calcula que a finales de 2013 había dos millones de VEH en Estados Unidos.
3. Los vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y los totalmente eléctricos (VTE) se introdujeron en América del Norte en diciembre de 2010. En la actualidad las ventas son modestas, pero aumentan con rapidez. Las ventas combinadas en 2013 de ambas clases ascendieron a 2,200 en Canadá, 96,900 en Estados Unidos y doce en México, un total de casi 100,000 en la región en ese año.
4. Diversos obstáculos impiden la adopción generalizada de la tecnología de los vehículos eléctricos: uno es la falta de estaciones e infraestructura de recarga, que limita su autonomía. Estas barreras se enfrentan hoy día con la creación de dicha infraestructura en muchos lugares, incentivos para la compra de dichos vehículos y avances tecnológicos en las baterías que permiten reducir cada vez más el costo de los vehículos eléctricos.
5. Las proyecciones de venta de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) dependen de diversos factores, tales como las especificaciones de compra de los administradores de flotas vehiculares, el precio de la gasolina, el mayor costo de un VEH frente a uno convencional, las políticas gubernamentales sobre emisiones de CO<sub>2</sub>, y los incentivos ofrecidos por los diferentes niveles de gobierno para la adquisición de VEH.
6. Todas las baterías para VPE tienen un ciclo de vida útil prolongado (ocho años o más) y garantía por parte de los fabricantes (ocho años o entre 100,000 y 150,000 millas [aproximadamente 160,000 a 240,000 km], según la marca y el modelo).
7. Se informa que el índice de fallas de las baterías para VPE es bajo (alrededor de 1 por ciento). Cuando ocurren averías dentro del periodo de garantía, los fabricantes de automóviles la reemplazan.
8. Hacia finales de 2013, alrededor de 80 por ciento de los VEH usaba baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH), mientras que 20 por ciento de los VEH y todos los VEHE y los los VTE usan baterías de Li-ion porque éstas responden a los requisitos de carga de los VTE.
9. Se estima que en 2013 había 115,000 baterías para VPE en América del Norte, cifra que podría llegar a unas 380,000 unidades hacia 2020, 849,000 en 2025 y casi 1.5 millones en 2030.
10. En este momento, los componentes de las baterías para VPE (sobre todo el níquel de las baterías de Ni-MH y el cobalto de las de Li-ion) constituyen un incentivo económico para su reciclaje. No obstante, el diseño de las baterías está cambiando, de manera que cada vez contienen materiales menos valiosos, lo que resulta preocupante porque se perdería el interés económico de futuras iniciativas de reciclaje.
11. Los grandes fabricantes de automóviles, como Toyota y Honda, están creando cadenas de abasto inversas para asegurarse de que las baterías de VPE se recuperen y reciclen adecuadamente al final de su vida útil.



12. Las empresas que ya están en el negocio del reciclaje de baterías (Retriev, RMC, Umicore, Glencore/Xstrata, etc.) pueden procesar baterías de Ni-MH y de Li-ion de gran formato siempre que se descompongan en componentes de menor tamaño (celdas o grupos de celdas). Las compañías dedicadas a operaciones de fundición (en ocasiones grandes empresas internacionales como Umicore, Glencore/Xstrata, etc., que tienen cadenas de abasto globales) se interesan por el reciclaje de las baterías de VPE por su contenido de metal.
13. El interés económico del reciclaje de las baterías de VPE depende del valor de los metales y otros materiales recuperables. En algunos casos, las empresas acreditan una cantidad a cuenta de la tarifa de procesamiento; en otros se carga una “cuota de vertedero”.
14. La infraestructura del reciclaje y procesamiento de baterías de VPE es aún incipiente, pero ya hay en el mercado agentes importantes que valoran las opciones de su expansión futura. Es probable que con el tiempo surjan nuevos participantes, conforme aumente el número de dichas baterías que lleguen al final de su vida útil.

## **5.2 Conclusiones y recomendaciones**

1. El número de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) al final de su vida útil en América del Norte se incrementará de manera significativa en los próximos años: de 115,000 unidades a finales de 2013 a 380,000 hacia 2020, a 849,000 en 2025 y a casi 1.5 millones en 2030.
2. Hasta 2022 e incluso más adelante, la mayor parte de las baterías para VPE habrán sido producidas en Estados Unidos; el número correspondiente a Canadá será considerablemente inferior y el de México, ínfimo.
3. En América del Norte ya se cuenta con opciones de reciclaje de las dos clases de batería que se usan actualmente en los VPE (Ni-MH y Li-ion). Lo que hoy día estimula ese negocio es el valor del níquel y el cobalto contenidos en ellas; sin embargo, el interés económico disminuirá cuando se diseñen baterías con menos materiales valiosos.
4. El cambio de la composición química de las baterías para VPE que actualmente exploran sus diseñadores afectará la dinámica del reciclaje al final de su vida útil. Es preciso evaluar las consecuencias de ello para poder garantizar la prevalencia de un manejo ambientalmente adecuado.
5. Los gobiernos tienen que asegurarse de contar con una legislación adecuada que garantice el manejo ambientalmente adecuado de las baterías de VPE al final de su vida útil.
6. Es probable que los supuestos de las proyecciones de este estudio por cuanto a ventas y final de la vida útil de baterías para VPE cambien con el paso del tiempo, de modo que las estimaciones tendrán que actualizarse de manera periódica.

## **Apéndice A. Descripción del modelo de duración del ciclo de vida aplicado en las estimaciones sobre el final de la vida útil de las baterías de VPE en América del Norte**

Kelleher Environmental utiliza un modelo de duración del ciclo de vida (*the Lifespan Model*) basado en Excel como instrumento de análisis de muchos proyectos de evaluación de productos al final de su vida útil que ingresan a los flujos de reciclaje y desechos. Muy recientemente, dicho modelo se utilizó para estimar el flujo de electrodomésticos grandes en el sistema de manejo de desechos de Columbia Británica, Canadá (2014). La Autoridad sobre Manejo del Reciclaje de Alberta (*Alberta Recycling Management Authority*, ARMA) suele utilizar este modelo para calcular el flujo de ciertos dispositivos electrónicos en su sistema de reciclaje y comparar las cantidades realmente recicladas con el número de productos al final de su vida útil pronosticado con el modelo de duración del ciclo de vida.

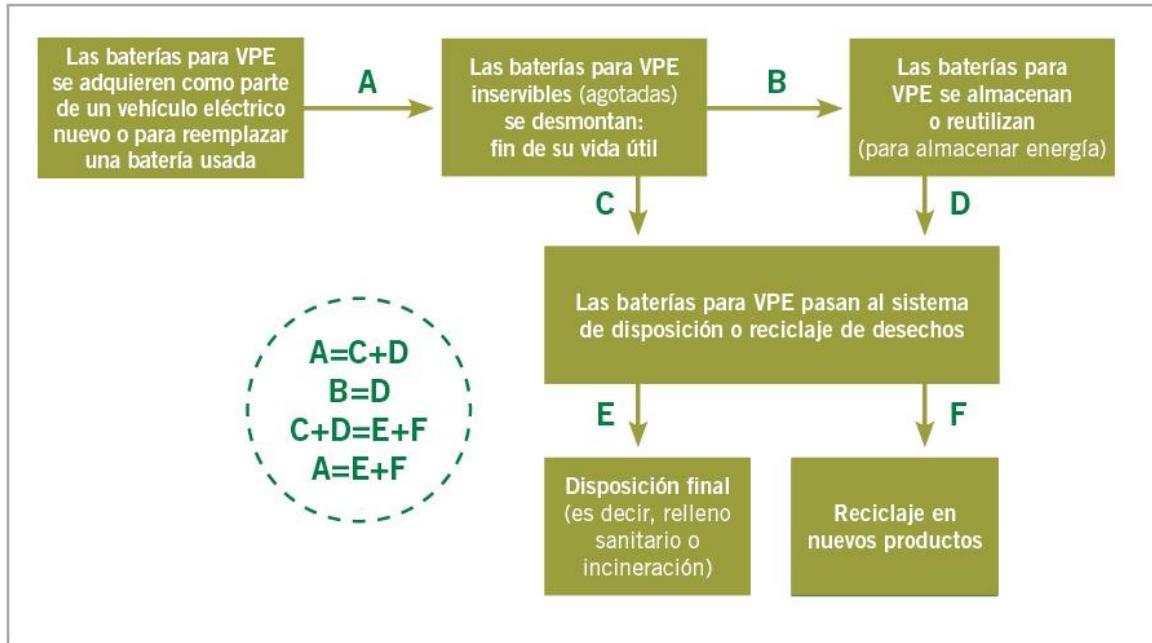
El modelo en cuestión incluye la siguiente información clave:

- datos sobre las unidades vendidas anualmente por tipo de producto (descritos en el apartado 2);
- información sobre el peso por tipo de batería (descritos en el apartado 2);
- duración de la vida útil de diferentes tipos de baterías (descrito en el apartado 3), y
- tiempo probable de almacenamiento de cada tipo de batería y su reutilización antes de ser desechada (descrito en el apartado 3).

El modelo de duración del ciclo de vida busca reflejar el flujo típico de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y de iones de litio (Li-ion) a través del sistema de manejo de desechos de América del Norte, según se muestra en la gráfica A-1, y tomar en cuenta las diversas rutas ambientales.

En esta etapa, la ruta es sencilla porque, a la fecha, son pocas las baterías de gran formato que han llegado al final de su vida útil. Una vez adquiridas las baterías (en general en un VPE nuevo), éstas suelen conservarse hasta que dejan de ser útiles. Algunas llegan al final de su vida útil por fallas tempranas (calculadas en sólo 1 por ciento) o por accidentes. Actualmente, las baterías usadas suelen ser: i) almacenadas; ii) reutilizadas (luego de haber sido reensambladas), o bien iii) descartadas, en cuyo caso se les envía a reciclaje o se les desecha. Por sus dimensiones, es factible que la mayor parte de las baterías, si no acaso la totalidad, se recicle.

**Gráfica A-1. Diagrama del flujo total de baterías para VPE que entran al sistema de reciclaje y manejo de desechos en América del Norte, usado por el modelo de duración de vida (*Lifespan Model*) para estimar las cantidades de baterías que llegan al final de su vida útil**



*Nota:*

“A” representa el tonelaje de baterías para VPE adquiridas. En su momento, todas las unidades “A” se retirarán, se habrán agotado o llegarán al final de su vida útil.

“B” representa las baterías para VPE almacenadas o reutilizadas durante cierto lapso y que a la larga también se descartarán, pero no inmediatamente después de que su primer propietario las haya desmontado.

“C” representa las baterías para VPE que se envían de inmediato a una planta de reciclaje o de manejo de desechos para incinerarse o depositarse en un relleno sanitario.

El flujo másico de baterías para VPE se determina mediante las sencillas fórmulas antes mencionadas.

La suma de “E” y “F” es igual a “A”.

Todas las baterías al final de su vida útil (“C” más “D”) se reciclan (es decir, “F”, en la gráfica 15) o se desechan definitivamente en un relleno sanitario o incinerador (“E”, en la gráfica 15).

## **Apéndice B. Resumen de los instrumentos de política para fomentar la compra de vehículos de propulsión eléctrica en Canadá, Estados Unidos y México**

### **Políticas para fomentar la adquisición de VPE en Canadá**

Es probable que los Reglamentos sobre Emisión de Gases de Camiones Ligeros y Vehículos de Pasajeros de Canadá (*Passenger Automobile and Light Truck Greenhouse Gas Emission Regulations*) fomenten en los próximos años el uso creciente de todo tipo de vehículos eléctricos. Estas normas nacionales sobre emisiones, que son los primeros reglamentos de alcance nacional sobre emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de Canadá, se definieron de conformidad con la Ley Canadiense de Protección Ambiental (*Canadian Environmental Protection Act*, CEPA) y las administra el ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*).<sup>94</sup> Entraron en vigor al aparecer el modelo 2011 y se espera que se tornen más estrictas para los modelos de 2011 a 2016. Como resultado de estos reglamentos, se anticipa que el promedio de emisiones de GEI del modelo 2016 será 25 por ciento menor que el de los vehículos nuevos vendidos en Canadá en 2008.<sup>95</sup>

Cabe señalar que, si bien los vehículos nuevos que se venden en Canadá deben cumplir con las normas nacionales de seguridad y emisiones administradas por el gobierno federal, la mayor parte de los reglamentos federales para vehículos automotores no distingue entre los eléctricos y los convencionales de motor de combustión interna.<sup>96</sup>

Canadá aún no cuenta con un programa federal de incentivos para optar por vehículos eléctricos híbridos enchufables o totalmente eléctricos.

En algunas provincias canadienses se han creado iniciativas para apoyar la adopción de vehículos de propulsión eléctrica (VPE) como, por ejemplo, políticas que fomentan la compra, arrendamiento o uso de vehículos eléctricos híbridos (VEH), eléctricos híbridos enchufables (VEHE) y totalmente eléctricos (VTE). En el siguiente cuadro (B-1) se resumen dichos incentivos.

---

<sup>94</sup> AIE (2012), *Hybrid and electric vehicles: The electric drive captures the imagination* [Vehículos híbridos y eléctricos: el motor eléctrico atrapa la imaginación], Hybrid & Electric Vehicle Implementing Agreement [Acuerdo para la adopción de vehículos híbridos y eléctricos], Agencia Internacional de Energía, disponible en: <[www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV\\_2011\\_annual\\_report\\_web.pdf](http://www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV_2011_annual_report_web.pdf)>.

<sup>95</sup> AIE, Canadá: “Policies and legislation; Hybrid & Electric Vehicle Implementing Agreement” [Canadá: políticas y legislación; acuerdo para la adopción de vehículos híbridos y eléctricos], Agencia Internacional de Energía, en: <[www.ieahev.org/by-country/canada-policy-and-legislation/](http://www.ieahev.org/by-country/canada-policy-and-legislation/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>96</sup> AIE (2012), *Hybrid and electric vehicles: The electric drive captures the imagination* [Vehículos híbridos y eléctricos: el motor eléctrico atrapa la imaginación], *op. cit.*

**Cuadro B-1. Resumen de incentivos para apoyar el uso de VPE en Canadá**

Provincia	Instrumento de política
Quebec	<p><b>Programa de descuentos por adquisición o arrendamiento<sup>a</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El programa Conduzca un Eléctrico (<i>Roulez électrique</i>) ofrece descuentos en la adquisición o arrendamiento a personas físicas, negocios, organizaciones no lucrativas y municipios de Quebec dispuestos a adquirir un vehículo totalmente eléctrico (VTE), eléctrico híbrido enchufable (VEHE), eléctrico híbrido (VEH) o eléctrico de baja velocidad.</li> <li>El descuento otorgado por un vehículo totalmente eléctrico o híbrido enchufable es de 500, 4,000 u 8,000 dólares canadienses (\$C).</li> <li>(Nota: El monto del descuento se calcula según la capacidad de la batería del vehículo y en función de las condiciones de arrendamiento, en su caso; además, el vehículo debe figurar en la lista de vehículos elegibles.)</li> <li>El descuento por un vehículo híbrido no enchufable es de \$C500.</li> <li>(Nota: Sólo los vehículos híbridos registrados a partir del 1 de noviembre de 2013 son elegibles para el descuento al momento de la compra. Esta sección del programa estará en vigor hasta el 31 de diciembre de 2016 o cuando se hayan otorgado 15,000 descuentos.)</li> <li>El descuento por vehículos eléctricos de baja velocidad es de \$C1,000; los elegibles para el programa son los autorizados para circular por las carreteras de Quebec.</li> <li>El programa Conduzca un Eléctrico se puso en marcha el 1 de enero de 2012 y expirará el 31 de diciembre de 2016 o cuando se hayan agotado los fondos disponibles.</li> </ul> <p><b>Descuento por estación de recarga</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Del 1 de enero de 2012 al 31 de diciembre de 2016, las personas que hayan adquirido o arrendado un vehículo totalmente eléctrico o híbrido enchufable se harán acreedoras a un subsidio para la compra e instalación en su domicilio de una estación de carga de 240 voltios. El monto del subsidio corresponde a la cantidad menor de las siguientes: 50 por ciento de los gastos elegibles o \$C1,000.<sup>b</sup></li> <li>Del 1 de noviembre de 2013 al 31 de marzo de 2017, el subsidio para instalar una estación de servicio en el centro de trabajo corresponde a la cantidad menor de las siguientes: 75 por ciento de los gastos elegibles o \$C5,000.<sup>c</sup></li> </ul> <p><b>Placa de circulación ecológica<sup>d</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las leyendas verdes de la placa y el pictograma de vehículo eléctrico permiten identificar a los vehículos eléctricos y garantizar que sólo dichos vehículos se estacionen en sitios equipados con estaciones de carga.</li> </ul> <p><b>Vehículos eléctricos del gobierno<sup>e</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En una directriz gubernamental se solicita que los automóviles nuevos o reemplazados sean totalmente eléctricos o híbridos enchufables.</li> </ul> <p><b>Otros</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Manual de recarga publicado en febrero de 2012 dirigido a electricistas, contratistas del sector de la construcción, etcétera.<sup>f</sup></li> <li>Cambios en la legislación sobre edificios nuevos en Quebec: el objetivo es exigir la instalación de infraestructura básica de recarga (240 voltios).<sup>g</sup></li> <li>Programa piloto por el que se autoriza que los VTE utilicen los carriles de circulación reservada al transporte público en vías rápidas de la ciudad de Quebec.<sup>h</sup></li> <li>En enero de 2012 se anunció la formulación de un plan de infraestructura de carga —proyecto Circuito Eléctrico (<i>Circuit électrique</i>)— que arrancó el 30 de marzo. Se cumplió el objetivo de 150 estaciones de recarga en funcionamiento en 2013. La meta es llegar a 785 en diciembre de 2016, incluidas 60 de carga rápida.<sup>i</sup></li> <li>Algunos transportistas dejarán de adquirir autobuses propulsados en su totalidad por diésel y optarán por híbridos y eléctricos a partir de 2025.<sup>j</sup></li> <li>Subsidios para ayudar a empresas de transporte a crear y probar autobuses eléctricos,<sup>k</sup> así como un proyecto para autobuses escolares.<sup>l</sup></li> <li>Un nuevo plan de acción para electrificación del transporte con más medidas se hará público en el otoño de 2015 (incluye apoyo para la electrificación de taxis, financiamiento para los sectores industrial y de investigación, etcétera).</li> </ul>
Ontario	<p><b>Programa de incentivos para vehículos eléctricos y estaciones de carga<sup>m</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A partir del 1 de julio de 2010, los consumidores de Ontario (personas físicas, negocios, municipios, organizaciones no gubernamentales y agrupaciones no lucrativas) son elegibles para recibir un incentivo de \$C5,000 a \$C8,500 al adquirir o arrendar un vehículo eléctrico híbrido enchufable o un eléctrico de batería nuevo.</li> <li>El valor del incentivo se basa en el valor de la capacidad de la batería del vehículo: \$C5,000 por una batería de 4 kW/h y \$C8,500 por una de 17 kW/h.</li> <li>El valor del incentivo por arrendamiento de vehículos se ajusta al plazo del arrendamiento.</li> </ul> <p><b>Placas de circulación ecológica<sup>n</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se dispone de placas de circulación ecológica especiales para vehículos híbridos enchufables y totalmente eléctricos. Los vehículos que las porten tendrán acceso prioritario a los carriles reservados para vehículos con varios pasajeros, aunque viaje en ellos sólo un ocupante. Dichos carriles son de uso restringido para vehículos con dos o más pasajeros.</li> <li>Acceso a futuras instalaciones públicas de carga y estacionamiento en lotes seleccionados del Departamento de Tránsito del gobierno de Ontario.</li> </ul> <p><b>Ciudad de Toronto<sup>o</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En febrero de 2014, el Concejo Municipal de Toronto votó con 31 votos a favor y 12 en contra por establecer la licencia para taxis de Toronto (<i>Toronto Taxicab License</i>, TTL) que reemplazará las actuales licencias estándar y tipo <i>Ambassador</i>. Con el nuevo sistema, todos los taxis tendrán que reemplazarse por vehículos de combustibles alternativos o híbridos al final del ciclo de vida obligatorio de cinco años. La licencia TTL estuvo en vigor hasta el 1 de julio de 2014, y los conductores tendrán hasta el 30 de junio de 2024 para obtener la nueva.</li> </ul>



Provincia	Instrumento de política
<b>Manitoba</b>	<p><b>Plan de apoyo para vehículos eléctricos<sup>8</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lanzado en abril de 2011, el plan de apoyo para vehículos eléctricos de Manitoba (<i>Electric Vehicle Road Map</i>) tiene por objeto apoyar a la provincia en la adopción de vehículos híbridos y eléctricos, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y aprovechar las oportunidades económicas que brinda el transporte eléctrico.</li> <li>Incluye alianzas con fabricantes de automóviles (como Nissan Canada y Mitsubishi Motor Sales of Canada), proveedores de tecnología eléctrica, Manitoba Hydro, otras empresas e instituciones académicas de la provincia.</li> <li>Propone crear un Comité Asesor de Vehículos Eléctricos (<i>Electric Vehicle Advisory Committee</i>) para que haga recomendaciones al gobierno sobre la mejor manera de prepararse y acelerar la adopción de vehículos híbridos y eléctricos.</li> <li>Propone también crear un Centro de Demostración y Aprendizaje sobre Vehículos Eléctricos (<i>Electric Vehicle Learning and Demonstration Centre</i>) donde se demuestren diversos vehículos eléctricos enchufables y eléctricos, así como su equipo de recarga.</li> </ul> <p><b>Programa de descuentos para vehículos eléctricos híbridos<sup>9</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Finalizó el 31 de octubre de 2010 (se inició el 15 de noviembre de 2006); ofrecía un descuento de \$C2,000 al adquirir un vehículo híbrido.</li> </ul>
<b>Alberta</b>	<p><b>Programa de descuentos para propietarios y conductores de taxis<sup>7</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los propietarios y conductores de taxis que compren un vehículo híbrido (gasolina y eléctrico) son candidatos a recibir un descuento por hasta \$C3,000 (con retroactividad al 1 de julio de 2008).</li> </ul>
<b>Columbia Británica</b>	<p><b>Reglamento sobre Combustibles Renovables y con Emisiones de Carbono Bajas (<i>Renewable and Low-Carbon Fuel Requirement Regulation</i>)<sup>5</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El reglamento establece los requisitos en materia de combustibles renovables y con emisiones bajas de carbono, y exige reducir 10 por ciento los carburantes utilizados para el transporte hacia 2020, fomentando así la venta de electricidad en ese sector.</li> </ul> <p><b>Ley de Energía Limpia (<i>Clean Energy Act</i>)<sup>4</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Permite que el gobierno apruebe empresas e iniciativas generadoras de energía eléctrica que reduzcan emisiones, lo que incluye inversiones en los servicios públicos para elevar el uso de vehículos propulsados por electricidad y la construcción y operación de infraestructura de suministro de combustible.</li> </ul> <p><b>Pautas para el despliegue de infraestructura de carga para vehículos eléctricos<sup>6</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Son una guía de referencia para las centrales eléctricas y establece un plan integral del nascente mercado de propulsión eléctrica.</li> </ul> <p><b>Ciudad de Vancouver<sup>6</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere que todos los hogares unifamiliares nuevos y los depósitos para bicicletas adyacentes a las calles cuenten con tomas de corriente especiales, así como infraestructura de carga en 20 por ciento de los cajones de estacionamiento de los edificios residenciales multifamiliares nuevos.</li> <li>Política sobre taxis respetuosos del medio ambiente: requiere que todos los taxis nuevos sean híbridos.</li> </ul> <p><b>Ciudad de Kelowna<sup>6</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Programa Eco-Pass: Se premia a quienes conducen vehículos híbridos con estacionamiento gratuito por un año en cualquier calle con parquímetros del centro de Kelowna.</li> </ul> <p><b>Programa Vehicular de Energía Limpia</b></p> <p>El 5 de noviembre de 2011, el gobierno de Columbia Británica anunció un financiamiento de 14.3 millones de dólares canadienses para el recién creado Programa Vehicular de Energía Limpia (<i>Clean Energy Vehicle Program</i>, CEV). El CEV es un programa integral que ofrece a los habitantes de la provincia diversas opciones limpias y ecológicas para satisfacer sus necesidades de transporte. Se compone de varios incentivos:<sup>7</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Programa de incentivos en los puntos de venta de vehículos de energía limpia (<i>Point-of-Sale Incentive Program</i>): Ofrece un descuento hasta de 5,000 dólares canadienses sobre el precio anunciado de vehículos eléctricos nuevos de batería seleccionados, eléctricos de celdas de combustible, eléctricos híbridos enchufables y de gas natural comprimido.</li> <li>Programa de descuentos en estaciones de carga residenciales para vehículos eléctricos (<i>Residential Electric Vehicle Charging Station Rebate Program</i>): Ofrece una rebaja de hasta \$C500 por unidad para estaciones de carga eléctrica residenciales que reúnan los requisitos necesarios para participar en el programa.</li> <li>Programa de infraestructura para vehículos de energía limpia (<i>CEV Infrastructure Program</i>): Cuenta con 6.3 millones de dólares canadienses para infraestructura de carga y alimentación de combustible, incluidas inversiones para la modernización de la infraestructura de alimentación de hidrógeno y la puesta en marcha de un proyecto de infraestructura de carga consistente en 1,000 puntos o estaciones de servicio, con la participación de la comunidad, el sector privado, organizaciones no gubernamentales y académicas y entidades de servicios públicos.</li> </ul> <p>Para el 14 de febrero de 2014, el presupuesto del programa de incentivos en el punto de venta de vehículos de energía limpia se agotó. Los descuentos para la compra de equipo residencial de carga para vehículos eléctricos estuvieron disponibles hasta el 31 de marzo de 2014. El financiamiento para el programa de infraestructura para vehículos de energía limpia se impuso la meta de instalar 570 estaciones de carga de nivel 2 para vehículos eléctricos en las comunidades de Columbia Británica para el 31 de marzo de 2013.<sup>7</sup></p>



Provincia	Instrumento de política
Isla del Príncipe Eduardo	<p><b>Reembolso de impuestos por adquisición de vehículos híbridos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reembolso del impuesto provincial sobre las ventas (<i>Provincial Sales Tax</i>, PST) hasta un máximo de 3,000 dólares canadienses en la compra (o arrendamiento por cuando menos doce meses) de un vehículo eléctrico híbrido. Este programa, el más generoso de Canadá, se canceló el 1 de abril de 2013.<sup>aa</sup></li> </ul>
Saskatchewan	<p><b>Descuentos ecológicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En 2012, el programa de seguros de vehículos del gobierno de Saskatchewan canceló su descuento ecológico para personas que condujeran vehículos respetuosos del medio ambiente. Conforme a este programa, los propietarios de vehículos híbridos (gas natural y eléctricos), así como de vehículos de alto rendimiento energético incluidos en una lista del ministerio de Transporte de Canadá (<i>Transport Canada</i>), calificaban para obtener un descuento de 20 por ciento en el seguro y el registro. Un promedio de 14,000 conductores recibieron descuentos de hasta \$C210 en 2011.<sup>bb</sup></li> </ul>

*Fuentes:*

<sup>a</sup> Gobierno de Quebec (2012), “Purchase or Lease Rebate Program” [Programa de descuentos por adquisición o arrendamiento], en: <<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/english/particuliers/rabais.asp>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>b</sup> Gobierno de Quebec (2012), “Charging Station Rebate” [Descuento en estación de carga], en: <<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/english/particuliers/remboursement.asp>> (consulta realizada el 22 de julio de 2015).

<sup>c</sup> Gobierno de Quebec (2012), “Business, municipalities, organizations” [Negocios, municipios, organizaciones], en: <<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/english/entreprises/entreprises.asp>> (consulta realizada el 22 de julio de 2015).

<sup>d</sup> Gobierno de Quebec (2011), *Plan d’action 2011–2020 sur les véhicules électriques*. Appendix 3: Measures for users [Plan de acción 2011–2020 para vehículos eléctricos; apéndice 3: Medidas para el usuario], disponible en: <[www.mern.gouv.qc.ca/english/press/ev\\_annexe3.pdf](http://www.mern.gouv.qc.ca/english/press/ev_annexe3.pdf)>.

<sup>e</sup> Gobierno de Quebec (2015), “Centre de gestion de l’équipement roulant. Électrification des transports. Électrification du parc gouvernemental” [Centro para la Administración del Equipo Rodante; Electrificación del transporte; Electrificación del parque vehicular del gobierno], en: <[www.cger.mtq.gouv.qc.ca/virage-ecologique/electrification-des-transports/electrification-parc-gouvernemental.aspx](http://www.cger.mtq.gouv.qc.ca/virage-ecologique/electrification-des-transports/electrification-parc-gouvernemental.aspx)> (consulta realizada el 21 de julio de 2015).

<sup>f</sup> *Idem.*

<sup>g</sup> *Idem.*

<sup>h</sup> Gobierno de Quebec (2015), “Covoiturage sur les voies réservées de l’autoroute Robert-Bourassa. Pourquoi un projet pilote?” [Uso compartido del automóvil en los carriles reservados de la autopista Robert-Bourassa. ¿Por qué un proyecto piloto?], en: <[www.mtq.gouv.qc.ca/usagers/reseau routier/covoiturage-aut-Robert-Bourassa/Pages/default.aspx](http://www.mtq.gouv.qc.ca/usagers/reseau routier/covoiturage-aut-Robert-Bourassa/Pages/default.aspx)> (consulta realizada el 23 de julio de 2015).

<sup>i</sup> Electric circuit [Circuito eléctrico] (2015), en: <<http://lecircuitelectrique.com/index.en.html>> (consulta realizada el 23 de julio de 2015).

<sup>j</sup> Société de Transport de Montréal (2015), “Électrification du réseau de surface. *La mobilité de demain complètement électrique*” [Electrificación de la red de superficie: La movilidad de mañana completamente eléctrica], Société de Transport de Montréal [Sociedad de Transporte de Montreal], en: <[www.stm.info/fr/a-propos/grands-projets/electrification-du-reseau-de-surface](http://www.stm.info/fr/a-propos/grands-projets/electrification-du-reseau-de-surface)> (consulta realizada el 23 de julio de 2015).

<sup>k</sup> Le Huffington Post (2015), *Québec lance un projet de 73 millions\$ pour développer un autobus électrique* [Quebec lanza un proyecto de 73 millones de dólares para el desarrollo de un autobús eléctrico], en: <[http://quebec.huffingtonpost.ca/2012/03/07/quebec-subvention-autobus-lectrique\\_n\\_1326581.html](http://quebec.huffingtonpost.ca/2012/03/07/quebec-subvention-autobus-lectrique_n_1326581.html)> (consulta realizada el 23 de julio de 2015).

<sup>l</sup> Gobierno de Quebec (2015), “Portail Québec. *Électrification des transports - Le gouvernement du Québec remet 2 M\$ pour la mise en service d’autobus scolaires québécois 100 % électriques*” [Portal Quebec: Electrificación del transporte: El gobierno de Quebec entrega 2 millones de dólares para poner en servicio autobuses escolares 100% eléctricos], en: <[www.fil-information.gouv.qc.ca/Pages/Article.aspx?aiquillage=ajd&idArticle=2302276777](http://www.fil-information.gouv.qc.ca/Pages/Article.aspx?aiquillage=ajd&idArticle=2302276777)> (consulta realizada el 23 de julio de 2015).

<sup>m</sup> Ontario Ministry of Transportation, “Electric vehicle incentive program” [Programa de incentivos para vehículos eléctricos], Ontario Ministry of Transportation [Ministerio de Transporte de Ontario], en: <[www.mto.gov.on.ca/english/vehicles/electric/electric-vehicle-incentive-program.shtml](http://www.mto.gov.on.ca/english/vehicles/electric/electric-vehicle-incentive-program.shtml)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>n</sup> *Idem.*

<sup>o</sup> C. Chubb (2013), “Council votes in favour of Toronto taxicab licence” [El Concejo vota en favor de la licencia para taxis de Toronto], *CityNews Toronto*, en: <[www.citynews.ca/2014/02/19/council-votes-in-favour-of-toronto-taxicab-licence/#\\_\\_federated=1](http://www.citynews.ca/2014/02/19/council-votes-in-favour-of-toronto-taxicab-licence/#__federated=1)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>p</sup> Gobierno de Manitoba (2011), *Manitoba’s electric vehicle road map: Driving toward fossil fuel freedom* [Mapa de ruta de los vehículos eléctricos en Manitoba: Liberémonos de los combustibles fósiles], disponible en: <[www.gov.mb.ca/ia/energy/transportation/images/elec\\_vehicle\\_road\\_map.pdf](http://www.gov.mb.ca/ia/energy/transportation/images/elec_vehicle_road_map.pdf)>.

<sup>q</sup> The Winnipeg Free Press (2010), “Province ending \$2,000 rebate on hybrid vehicles” [Termina en la provincia el descuento de 2 mil dólares en vehículos híbridos], *The Winnipeg Free Press*, en: <[www.winnipegfreepress.com/breakingnews/Province--104163053.html](http://www.winnipegfreepress.com/breakingnews/Province--104163053.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>r</sup> Gobierno de Alberta, *Energy efficiency rebates: Part of Alberta’s climate change plan* [Descuentos por eficiencia energética: Parte del plan de Alberta en materia de cambio climático], disponible en: <[www.insulspan.com/newsletter/0509news/AlbertaEnvironmentEnergyRebateCard.pdf](http://www.insulspan.com/newsletter/0509news/AlbertaEnvironmentEnergyRebateCard.pdf)>.

<sup>s</sup> AIE (2012), *Hybrid and electric vehicles: The electric drive captures the imagination* [Vehículos híbridos y eléctricos: el motor eléctrico atrapa a la imaginación], Hybrid & Electric Vehicle Implementing Agreement [Acuerdo para la Adopción de Vehículos Híbridos y Eléctricos], Agencia Internacional de Energía, disponible en: <[www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV\\_2011\\_annual\\_report\\_web.pdf](http://www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV_2011_annual_report_web.pdf)>.

<sup>t</sup> *Idem*.

<sup>u</sup> Electric Transportation Engineering Corporation (2009), *Electric vehicle charging infrastructure—Deployment guidelines: British Columbia*, [Infraestructura de carga para vehículos eléctricos: Guía de desarrollo: Columbia Británica], versión 1.0, disponible en: <[Document2www.ceati.com/files/ev/BC%20EV%20Charging%20Infrastructure%20Guidelines.pdf](http://Document2www.ceati.com/files/ev/BC%20EV%20Charging%20Infrastructure%20Guidelines.pdf)>.

<sup>v</sup> AIE (2012), *Hybrid and electric vehicles: The electric drive captures the imagination, op. cit.*

<sup>w</sup> Ciudad de Kelowna (2009), “Eco-pass” [Pase ecológico], en: <[www.kelowna.ca/CM/page1649.aspx](http://www.kelowna.ca/CM/page1649.aspx)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>x</sup> Gobierno de Columbia Británica (2013), “Clean energy vehicle incentive program extended” [Ampliación del programa de incentivos para vehículos de energía limpia], en: <[www.newsroom.gov.bc.ca/2013/03/clean-energy-vehicle-incentive-program-extended.html](http://www.newsroom.gov.bc.ca/2013/03/clean-energy-vehicle-incentive-program-extended.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>y</sup> AIE (2012), *Hybrid and electric vehicles: The electric drive captures the imagination, op. cit.*

<sup>z</sup> Gobierno de Columbia Británica, “Transportation rebates and incentives” [Incentivos y descuentos para el transporte], *Live Smart BC*, en: <[www.livesmartbc.ca/incentives/transportation/](http://www.livesmartbc.ca/incentives/transportation/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>aa</sup> Edward Island Department of Finance and Energy (2013), “Revenue tax (PST) refund” [Reembolso del impuesto sobre la renta], Prince Edward Island Department of Finance and Energy [Departamento de Finanzas y Energía de la Isla del Príncipe Eduardo], en: <[www.taxandland.pe.ca/index.php3?number=17274&lang=E](http://www.taxandland.pe.ca/index.php3?number=17274&lang=E)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>bb</sup> CBC (2012), “SGI green rebate program ends” [Termina el programa de descuentos ecológicos del SGI], *CBC News*, en: <[www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/sgi-green-rebate-program-ends-1.1181246](http://www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/sgi-green-rebate-program-ends-1.1181246)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

## **Fuentes de información sobre políticas canadienses**

- <[www.ieahev.org/by-country/canada-policy-and-legislation/](http://www.ieahev.org/by-country/canada-policy-and-legislation/)>
- <[www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV\\_2011\\_annual\\_report\\_web.pdf](http://www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV_2011_annual_report_web.pdf)>
- <[http://negc.org/uploads/file/AFV\\_Conference/11-ADaneau\\_PAVE\\_MRNF\\_Eng.pdf](http://negc.org/uploads/file/AFV_Conference/11-ADaneau_PAVE_MRNF_Eng.pdf)>
- <[www.mto.gov.on.ca/english/vehicles/electric/about-electric-vehicle.shtml](http://www.mto.gov.on.ca/english/vehicles/electric/about-electric-vehicle.shtml)>
- <<http://emc-mec.ca/files/CanadianFundingProgramforEVs-Updated-JBApril2011.pdf>>
- <[www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/sgi-green-rebate-program-ends-1.1181246](http://www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/sgi-green-rebate-program-ends-1.1181246)>
- <[www.gov.mb.ca/ia/energy/transportation/images/elec\\_vehicle\\_road\\_map.pdf](http://www.gov.mb.ca/ia/energy/transportation/images/elec_vehicle_road_map.pdf)>
- <[www.fleetcarma.com/canada-electric-vehicle-policies/](http://www.fleetcarma.com/canada-electric-vehicle-policies/)>
- <[www.insulspan.com/newsletter/0509news/AlbertaEnvironmentEnergyRebateCard.pdf](http://www.insulspan.com/newsletter/0509news/AlbertaEnvironmentEnergyRebateCard.pdf)>
- <[www.livesmartbc.ca/incentives/transportation/](http://www.livesmartbc.ca/incentives/transportation/) - cevinbc>

- <[www.ptboard.bc.ca/documents/2013\\_Eco\\_Friendly\\_Taxi\\_Guide.pdf](http://www.ptboard.bc.ca/documents/2013_Eco_Friendly_Taxi_Guide.pdf)>
- <[www.hybridcars.com/region-by-region/](http://www.hybridcars.com/region-by-region/)>
- <[www.blogto.com/city/2014/02/5\\_things\\_to\\_know\\_about\\_the\\_new\\_toronto\\_taxi\\_rules/](http://www.blogto.com/city/2014/02/5_things_to_know_about_the_new_toronto_taxi_rules/)>
- <[www.citynews.ca/2014/02/19/council-votes-in-favour-of-toronto-taxicab-licence/](http://www.citynews.ca/2014/02/19/council-votes-in-favour-of-toronto-taxicab-licence/)>

## **Políticas que fomentan la adquisición de vehículos de propulsión eléctrica en México**

Es factible que la publicación en junio de 2013 de la “Norma Oficial Mexicana (NOM) 163, (2013), *Emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos*”<sup>97</sup> impulse las ventas de VPE. El objetivo de esta NOM es armonizar las normas de rendimiento de combustible de vehículos nuevos de México con las aplicables en Canadá y Estados Unidos, en 14.9 kilómetros por litro (35 millas por galón).<sup>98</sup> Esta norma cumpliría con los reglamentos ambientales de Canadá y Estados Unidos, donde se vende la mayor parte de los vehículos exportados producidos en México.

Si bien esta norma no hace referencia a los vehículos eléctricos híbridos y tiene como fin incentivar a los fabricantes de automotores para que incrementen el rendimiento del combustible, se espera que en el corto plazo aparezcan modelos de VPE en México. La norma se aplica a modelos 2014, pero se anticipa que será más estricta para los modelos de 2015 a 2016.

Algunos vehículos eléctricos híbridos (VEH) están exentos del Programa de Verificación Vehicular de la Ciudad de México (conocido como “Hoy No Circula”) y pueden circular todos los días de la semana. El acuerdo del programa establece medidas para limitar la circulación de vehículos automotores en el Distrito Federal con el fin de controlar y reducir la contaminación atmosférica y los efectos ambientales del tráfico automotor. Los vehículos exentos del requisito de verificación de emisiones y de las restricciones a la circulación derivadas de los programas “Hoy No Circula” se enumeran más adelante, en el cuadro B-2.

---

<sup>97</sup> Semarnat (2013), *Emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos (NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013)*, 21 de junio de 2013, Norma Oficial Mexicana, en: <[http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5303391&fecha=21/06/2013](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5303391&fecha=21/06/2013)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

<sup>98</sup> Mexican Automotive (2010), “Questions on Official Mexican Standard 163 and its continued suspension” [Dudas sobre la Norma Oficial Mexicana 163, que sigue en suspenso], en: <<http://mexicanautomotive.com/en/home/84-october-2012/364--questions-on-official-mexican-standard-163-and-its-continued-suspension>> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

**Cuadro B-2. Vehículos de propulsión eléctrica (VPE) exentos del programa de verificación de emisiones vehiculares y del programa “Hoy No Circula” en México**

Marca	Modelo
Hyundai	Blue City Híbrido (gas natural y eléctrico)
Hyundai	HD 120 (gas natural)
Hyundai	Super Aero City (gas natural)
Toyota	Prius (eléctrico y gasolina)
Vehizero	Ecco C (eléctrico y gasolina)
Nissan	Leaf (eléctrico)
BMW	ActiveHybrid 5 (eléctrico y gasolina)
BMW	X6 ActiveHybrid (eléctrico y gasolina)
BMW	Híbrido activo, serie 3
BMW	Mini E
Porsche	Cayenne híbrido V6 3.0
Volkswagen	Touareg híbrido V6 3.0

Fuente: Sedema (s/f), “Hoy No Circula”, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México; adaptado de: <[www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/component/content/article/80-verificacion-vehicular-hoy-no-circula/185-verificacion-vehicular](http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/component/content/article/80-verificacion-vehicular-hoy-no-circula/185-verificacion-vehicular)> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

Cabe señalar que los modelos eléctricos de Honda no aparecen en el cuadro; y que algunos todavía no se venden en México. Se espera que en el futuro la lista incluya nuevos modelos.

La verificación vehicular y el programa Hoy No Circula se han impuesto, además del Distrito Federal, en 15 estados del país: Aguascalientes, Chihuahua, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán.

A la fecha, en México no hay incentivos económicos que motiven la compra de VPE. No hay iniciativas como devolución del impuesto federal sobre la adquisición de automóviles, ni una rebaja del impuesto sobre automóviles nuevos (ISSAN) o de las tasas de financiamiento para la compra de vehículos. La instrumentación de estas políticas económicas en México implicaría acuerdos entre sectores clave como, por ejemplo, los fabricantes y distribuidores de automotores y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), la Secretaría de Salud y otros, como autoridades locales.

## Políticas para fomentar la adquisición de vehículos eléctricos en Estados Unidos

En muchos estados se analizan diversos incentivos para fomentar la adopción de vehículos híbridos y eléctricos enchufables.<sup>99</sup> Para noviembre de 2013, 39 estados y el Distrito de Columbia habían establecido incentivos, como exenciones en el uso de los carriles para vehículos con dos o más ocupantes, incentivos monetarios, exención de verificación o pruebas de emisiones vehiculares, incentivos de estacionamiento o reducciones en las tarifas de energía eléctrica. Los incentivos monetarios, como créditos fiscales y descuentos en las cuotas de registro, son los más populares. Los descuentos o créditos fiscales estatales fluctúan entre 1,000 dólares estadounidenses (\$EU) en Maryland y 6,000 en Colorado. En 2013 había cuando menos 94 anteproyectos para fomentar la compra y uso creciente de automóviles híbridos y eléctricos híbridos enchufables pendientes de aprobación en 20 estados. En Nueva Jersey se presentaron en 2013 cuando menos 38 para alentar la instalación de infraestructura para vehículos alternos, como estaciones de carga, incentivos monetarios para la adquisición de vehículos alternativos y más estacionamientos para vehículos híbridos y eléctricos. Por otra parte, en Minnesota, las centrales eléctricas ofrecen rebajar las tarifas, pero no se han legislado incentivos estatales, en tanto que hay estímulos federales para incrementar el uso de vehículos híbridos y eléctricos enchufables.

Además de los incentivos estatales para vehículos eléctricos, hay un crédito fiscal federal por \$EU7,500. El crédito expirará cuando cada fabricante de automotores que cumplan con las condiciones necesarias haya vendido 200,000 vehículos eléctricos enchufables. Otros incentivos incluyen créditos fiscales para infraestructura de carga eléctrica, subvenciones para proyectos de investigación, préstamos para tecnología de combustibles alternativos y ciertos requisitos para flotas federales.

*Nota:* El material para este segmento se tomó de las siguientes fuentes:

- K. Hartman (2015), “State efforts to promote hybrid and electric vehicles” [Acciones de los estados para fomentar el uso de vehículos híbridos y eléctricos], National Conference of State Legislatures [Conferencia Nacional de las Legislaturas Estatales], en: <[www.ncsl.org/research/energy/state-electric-vehicle-incentives-state-chart.aspx](http://www.ncsl.org/research/energy/state-electric-vehicle-incentives-state-chart.aspx)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).
- B. Berman (2010), “Hybrid and plug-in incentives and rebates: Region by region” [Incentivos y descuentos para vehículos híbridos y enchufables: Región por región], *Hybrid Cars*, en: <[www.hybridcars.com/region-by-region/](http://www.hybridcars.com/region-by-region/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

---

<sup>99</sup> K. Hartman (2015), “State efforts to promote hybrid and electric vehicles” [Acciones de los estados para fomentar el uso de vehículos híbridos y eléctricos], National Conference of State Legislatures [Conferencia Nacional de las Legislaturas Estatales], en: <[www.ncsl.org/research/energy/state-electric-vehicle-incentives-state-chart.aspx](http://www.ncsl.org/research/energy/state-electric-vehicle-incentives-state-chart.aspx)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

## Incentivos en Estados Unidos para el uso de vehículos híbridos y enchufables, por estado<sup>100,101</sup>

### Alabama

**Crédito fiscal de equipamiento:** Un máximo de \$EU75 para personas que instalen tomas eléctricas para cargar vehículos totalmente eléctricos (VTE).

**Incentivo en las tarifas de carga de vehículos eléctricos enchufables:** Alabama Power ofrece tarifas especiales de energía eléctrica adquirida para cargar vehículos eléctricos de uso residencial y no residencial.

### Arizona

**Permiso de usar los carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros:** Los vehículos de combustibles alternativos calificados pueden circular por los carriles reservados para vehículos ocupados por varios pasajeros, sin importar el número de ocupantes del vehículo.

**Crédito fiscal para equipamiento de vehículos eléctricos:** Un máximo de \$EU75 para quienes instalen tomas eléctricas para cargar VTE.

**Descuento en el impuesto sobre la licencia para vehículos de combustibles alternativos:** Descuento en el impuesto sobre la licencia vehicular anual para vehículos eléctricos, un mínimo de 5 dólares al año.

**Tarifas de carga para vehículos eléctricos enchufables:** Glendale Water and Power ofrece descuento de \$EU0.33 diarios en el recibo de energía eléctrica a clientes residenciales y comerciales que tengan vehículos eléctricos que reúnan los requisitos. Asimismo, la Arizona Public Service Company ofrece tarifas eléctricas opcionales para clientes residenciales que tengan un vehículo eléctrico enchufable calificado.

### California

**Permiso para circular por los carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros:** Los VTE y los eléctricos híbridos enchufables calificados pueden circular en los carriles exclusivos para vehículos con varios ocupantes, sin importar el número de pasajeros. Dichos vehículos también están exentos del pago de peaje en carriles para vehículos con varios ocupantes.

**Proyecto de descuentos para vehículos limpios (*Clean Vehicle Rebate Project, CVRP*):** Descuento en la adquisición o renta de vehículos calificados por hasta \$EU2,500 para vehículos de carga ligeros, de cero emisiones e híbridos enchufables aprobados o certificados por el Consejo de Recursos Atmosféricos de California (*California Air Resources Board, CARB*).

**Autoridad para el Financiamiento de Transportes Avanzados y Energía Alternativa de California (*California Alternative Energy and Advanced Transportation Financing Authority, CAEATFA*):** Proporciona financiamiento para propiedades utilizadas para el diseño y la comercialización de tecnologías de transporte avanzado que reduzcan la contaminación y el consumo de energía y promuevan el desarrollo económico.

**Programa de descuentos ¡Conduzca limpio! (*Drive Clean!*):** El Distrito de Control de la Contaminación Atmosférica del Valle de San Joaquín (*San Joaquin Valley Air Pollution Control*

---

<sup>100</sup> *Idem.*

<sup>101</sup> B. Berman (2010), “Hybrid and plug-in incentives and rebates: Region by region” [Incentivos y descuentos para vehículos híbridos y enchufables: Región por región], *Hybrid Cars*, en: <[www.hybridcars.com/region-by-region/](http://www.hybridcars.com/region-by-region/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).



*District*) administra el programa ¡Conduzca limpio!, que ofrece descuentos hasta de \$EU3,000 en la compra o arrendamiento de vehículos nuevos calificados, incluidos los de gas natural y los eléctricos enchufables.

**Descuento del seguro:** Algunas aseguradoras ofrecen descuentos hasta de 10 por ciento en ciertas coberturas a propietarios de vehículos eléctricos híbridos y de combustibles alternativos.

**Incentivos para combustibles y vehículos alternativos:** A través del Programa de Tecnologías para Vehículos de Combustibles Renovables y Alternativos (*Alternative and Renewable Fuel Vehicle Technology Program*), la Comisión de Energía de California (*California Energy Commission*) ofrece incentivos financieros a negocios, fabricantes de tecnología y vehículos, capacitadores de mano de obra, propietarios de flotas, consumidores e instituciones académicas, con objetivo de crear e impulsar el uso de combustibles renovables y alternativos y tecnologías de transporte avanzado.

**Estacionamiento gratuito para vehículos totalmente eléctricos:** Sacramento ofrece estacionamiento gratuito a personas físicas y empresas pequeñas certificadas por la Oficina para el Desarrollo de Pequeñas Empresas (*Office of Small Business Development*) de la ciudad que sean propietarias o arrienden vehículos totalmente eléctricos en determinados estacionamientos cubiertos y descubiertos del centro de la ciudad. Sólo califican los vehículos que sean totalmente eléctricos.

**Estacionamiento gratuito para vehículos eléctricos:** Parquímetros sin costo en San José, Hermosa Beach y Santa Mónica para vehículos eléctricos que porten la calcomanía de Aire Limpio (*Clean Air*).

**Estacionamiento para vehículos de combustible alternativo:** El Departamento de Servicios Generales de California (*California Department of General Services, DGS*) y el Departamento de Transporte de California (*California Department of Transportation, DOT*) están obligados a ofrecer cuando menos 50 lugares en los estacionamientos disuasorios propiedad y a cargo del DOT para incentivar el uso de vehículos de combustible alternativo.

## **Colorado**

**Crédito fiscal para vehículos de tecnología avanzada y combustible alternativo:** Crédito sobre el impuesto sobre la renta por hasta \$EU6,000 para automotores que utilicen combustible alternativo o hayan reemplazado su fuente de energía por una alternativa, sean vehículos eléctricos híbridos o cuya fuente de energía se haya reemplazado por alguna de combustible alternativo.

**Subvenciones para suministro de equipo para vehículos eléctricos enchufables y totalmente eléctricos:** La Oficina de Energía de Colorado (*Colorado Energy Office, CEO*) y el Consejo Regional para la Calidad del Aire (*Regional Air Quality Council, RAQC*) ofrecen subvenciones para apoyar la adopción de vehículos eléctricos enchufables en flotas. Las subvenciones del RAQC cubren 80 por ciento de la diferencia de costo de un híbrido eléctrico enchufable (VEHE) que cumpla con los requisitos, por un monto de hasta \$EU8,260. Tanto las subvenciones de la CEO como las del RAQC financian 80 por ciento del costo para instalar estaciones de carga para vehículos eléctricos (ECVE) por un monto de hasta \$EU6,260.

**Fondo de subvenciones para vehículos eléctricos:** Ofrece subvenciones a gobiernos locales, propietarios de edificios de departamentos multifamiliares y comunidades para la instalación de estaciones de recarga para vehículos eléctricos.

## **Connecticut**

**Financiamiento para vehículos de combustibles alternativos:** El Programa Combustibles Limpios de Connecticut (*Connecticut Clean Fuel Program*) ofrece financiamiento para municipios y dependencias que adquieran, operen y mantengan vehículos de combustible alternativo y tecnología avanzada, como los que funcionan con gas natural comprimido, propano, hidrógeno y electricidad.

**Estacionamiento para vehículos de combustibles alternativos y eléctricos:** Estacionamiento gratuito en todas las calles de la ciudad para vehículos de combustible alternativo y eléctricos elegibles para el programa y registrados en New Haven, Connecticut.

### Delaware

**Crédito para tecnología “del vehículo a la red” (*vehicle-to-grid, V2G*):** A los clientes minoristas de energía eléctrica que tengan cuando menos un vehículo integrado a la red de electricidad califican para recibir créditos de kilowatts-hora por la energía descargada a la red por la batería de un vehículo totalmente eléctrico al costo equivalente al que pagan por cargar dicha batería.

### Distrito de Columbia

**Exención en el régimen fiscal para vehículos de combustibles alternativos y eficientes en consumo energético:** Los vehículos de combustibles alternativos que reúnan los requisitos necesarios están exentos del impuesto especial sobre el título de propiedad original.

**Descuento en la tarifa de registro:** Los vehículos automotores nuevos eficientes con un consumo energético promedio en ciudad, estimado por la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency, EPA*) de Estados Unidos en cuando menos 17.1 kilómetros por litro (40 millas por galón), tienen derecho a una tarifa menor de \$EU36 dólares para los dos primeros años de registro.

### Florida

**Permiso para usar carriles exclusivos para vehículos con varios pasajeros:** Los vehículos totalmente eléctricos y los eléctricos híbridos enchufables que califiquen pueden circular en los carriles reservados para vehículos con varios pasajeros, sin importar su número de ocupantes. El vehículo debe portar una calcomanía emitida por la División de Automotores de Florida (*Florida Division of Motor Vehicles*) que se renueva anualmente. Dichos vehículos también pueden circular por estos carriles sin pagar peaje.

**Financiamiento de equipo de suministro para vehículos eléctricos:** El dueño de una propiedad puede solicitar al gobierno local financiamiento para la instalación y mantenimiento de instalaciones de carga para vehículos eléctricos en su propiedad, o bien firmar un acuerdo de financiamiento con el gobierno local para tal fin.

**Reglamento sobre seguros para vehículos eléctricos:** Protege a los propietarios de vehículos eléctricos ante sobrepagos de las compañías de seguros.

### Georgia

**Exención en uso de carriles exclusivos para vehículos con varios pasajeros:** Los vehículos eléctricos y los eléctricos híbridos enchufables que reúnan los requisitos, pueden circular en los carriles reservados para vehículos con varios pasajeros, sin importar su número de ocupantes.

**Crédito fiscal para vehículos de combustible alternativo:** Crédito sobre el impuesto sobre la renta para personas que adquieran o arrienden un vehículo nuevo de combustible alternativo o conviertan el suyo para que funcione sólo con combustible alternativo. El monto del crédito fiscal asciende a 10 por ciento del costo del vehículo y hasta \$EU2,500.

**Crédito fiscal para vehículos de emisiones cero:** La compra o arrendamiento de un vehículo de cero emisiones implica, para el comprador, un descuento de 20 por ciento del costo o hasta \$EU5,000.

**Crédito fiscal para equipo de suministro para vehículos eléctricos:** Crédito sobre el impuesto sobre la renta de 10 por ciento del costo del equipo de recarga para vehículos eléctricos, hasta por \$EU2,500.

### **Hawái**

**Permiso para usar carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros:** Los vehículos totalmente eléctricos y los eléctricos híbridos enchufables que califiquen pueden usar los carriles reservados para vehículos con varios pasajeros sin importar su número de ocupantes.

**Exención del pago de estacionamiento:** Los vehículos totalmente eléctricos con las placas correspondientes están exentos de ciertas tarifas de estacionamiento impuestas por cualquier autoridad gubernamental no federal.

**Requisitos para estacionamientos:** Los sistemas de estacionamiento público de 100 o más cajones deben incluir cuando menos uno equipado con sistema de recarga para vehículos eléctricos.

### **Idaho**

**Exención de la verificación vehicular:** Los vehículos eléctricos híbridos y los totalmente eléctricos están exentos del programa estatal de verificación vehicular y de los programas de mantenimiento.

### **Illinois**

**Descuentos en vehículos de combustible alternativo y en el combustible alternativo:** El Programa de Descuentos para Combustibles Alternativos de Illinois (*Illinois Alternate Fuels Rebate Program*) ofrece un descuento de hasta \$EU4,000 sobre el costo de compra de un vehículo de combustible alternativo.

**Descuentos para equipo de suministro de vehículos eléctricos:** El Departamento de Comercio y Oportunidades Económicas de Illinois (*Illinois Department of Commerce and Economic Opportunity*) ofrece descuentos para compensar el costo de instalación y mantenimiento de estaciones de carga para vehículos eléctricos de nivel 2. El máximo descuento posible es de \$EU49,000 o 50 por ciento del costo total del proyecto, lo que resulte menor, hasta para 15 estaciones de carga.

**Descuento en la tarifa de registro para vehículos eléctricos:** El propietario de un vehículo totalmente eléctrico puede solicitar un descuento en el pago de la cuota de registro que no excederá de \$EU35 para un periodo de dos años, o de 18 dólares para un año de registro.

**Subvenciones para vehículos eléctricos enchufables e infraestructura:** Las organizaciones dedicadas al uso compartido del automóvil establecidas en Illinois pueden solicitar subvenciones de hasta 25 por ciento de proyectos elegibles, incluido el costo de adquisición de vehículos eléctricos enchufables nuevos y la construcción de infraestructura de recarga.

### **Indiana**

**Incentivos en la tarifa de carga para vehículos eléctricos enchufables:** La Indianapolis Power & Light Company ofrece tarifas especiales para vehículos eléctricos enchufables a clientes residenciales y propietarios de flotas con vehículos eléctricos o eléctricos enchufables autorizados.

**Crédito para equipo de suministro para vehículos eléctricos e incentivos para instalar estaciones de carga:** El Programa IN-Charge de NIPSCO para vehículos eléctricos ofrece crédito hasta por \$EU1,650 para la adquisición e instalación de equipos residenciales de suministro para vehículos eléctricos, así como recarga gratuita para vehículos eléctricos enchufables fuera de las horas pico.

## **Iowa**

**Subvenciones para demostración de vehículos de combustibles alternativos:** El Departamento de Recursos Naturales de Iowa (*Iowa Department of Natural Resources*) conduce programas de comercialización y capacitación comunitarios para fomentar el uso de combustibles alternativos y, dependiendo de los fondos, otorga subvenciones para demostración a personas que adquieran vehículos de combustible alternativo, incluida electricidad.

**Descuento en la tarifa de registro:** La tarifa de registro anual de un vehículo eléctrico es de \$EU25, a menos que el vehículo tenga más de cinco años, en cuyo caso el registro anual se reduce a \$EU15.

## **Luisiana**

**Crédito fiscal para para vehículos de combustible alternativo e infraestructura de suministro:** Se dispone de un crédito fiscal por 50 por ciento del costo de la conversión o la compra de un vehículo de combustible alternativo o la construcción de una estación de recarga alternativa, o bien, crédito fiscal de 10 por ciento del costo de un vehículo automotor, hasta \$EU3,000, para vehículos de combustible alternativo registrados en el estado.

**Autorización para préstamos para vehículos de combustible alternativo:** El Departamento de Recursos Naturales de Luisiana (*Louisiana Department of Natural Resources*) administrará el Fondo Revolvente de Créditos para Vehículos de Combustible Alternativo (*AFV Revolving Loan Fund*) para apoyar con créditos a entidades de gobiernos locales, como ciudades, parroquias, comités escolares y subdivisiones municipales locales por el costo de conversión de vehículos convencionales a combustibles alternativos, o la diferencia de costo al adquirir vehículos de combustible alternativo nuevos.

## **Maine**

**Disposición para el establecimiento de incentivos para seguros de vehículos de combustible limpio:** Una compañía de seguros puede acreditar o reembolsar una parte de la prima impuesta en una póliza del seguro para vehículos de combustible limpio para fomentar entre los asegurados el uso de vehículos limpios.

## **Maryland**

**Crédito fiscal para vehículos eléctricos enchufables:** Crédito fiscal hasta por \$EU1,000 desde el 1 de julio de 2013 hasta el 30 de junio de 2014 sobre el impuesto especial por la compra de un vehículo eléctrico enchufable que cumpla con los requisitos del caso.

**Crédito fiscal para equipo de suministro para vehículos eléctricos:** La Administración de Energía de Maryland (*Maryland Energy Administration, MEA*) ofrece un crédito fiscal sobre el impuesto sobre la renta equivalente a 20 por ciento del costo de equipos de suministro para vehículos eléctricos que califiquen. El crédito no puede ser por más de \$EU400 o el impuesto sobre la renta estatal para el año fiscal, lo que resulte menor.

## **Michigan**

**Descuento en equipos de suministro para vehículos eléctricos:** Indiana Michigan Power ofrece descuentos por hasta \$EU2,500 a clientes residenciales que compren o arrienden un vehículo enchufable nuevo e instalen una estación de recarga nivel 2 para vehículos eléctricos, con medidor independiente. Los clientes también deben registrarse con la compañía para obtener la tarifa por hora de uso para vehículos eléctricos. El descuento está disponible para los primeros 250 clientes que tengan derecho a participar y entreguen su solicitud debidamente llenada. Consumers Energy ofrece a los clientes calificados un reembolso por hasta \$EU2,500 para cubrir la compra, instalación y cableado de una estación de recarga nivel 2 que reúna los requisitos. Además, la compañía DTE

Energy ofrecerá hasta \$EU2,500 para la compra e instalación de una estación de recarga nivel 2 con medidor independiente a los primeros 2,500 clientes que califiquen y adquieran un vehículo eléctrico enchufable y se registren para la tarifa correspondiente.

**Descuento en la tarifa de carga para vehículos eléctricos enchufables:** Indiana Michigan Power y Consumers Energy ofrecen una opción de tarifa especial por hora de uso a clientes residenciales que tengan un vehículo eléctrico aprobado. DTE Energy ofrece una tarifa de electricidad con descuento a clientes residenciales que carguen su vehículo eléctrico fuera de las horas pico.

**Exención de la verificación vehicular:** Los vehículos de combustible alternativo están exentos de la verificación de emisiones.

### Minnesota

**Descuento en la tarifa de carga de vehículos eléctricos enchufables:** Dakota Electric ofrece una tarifa eléctrica con descuento en la recarga de vehículos eléctricos fuera de las horas pico.

### Misisipi

**Fondo de crédito revolvente:** A partir del 3 de julio de 2013, la Autoridad de Desarrollo de Misisipi (*Mississippi Development Authority*) debe establecer un programa de crédito revolvente para otorgar préstamos sin intereses a distritos de escuelas públicas de distrito y a municipios para la adquisición de autobuses escolares y otros vehículos de motor de combustible alternativo, conversión de autobuses escolares y otros vehículos de motor con combustible alternativo, compra de equipo de combustible alternativo e instalación de estaciones de suministro de combustible.

### Misuri

**Exención de la verificación vehicular:** Los vehículos de combustible alternativo están exentos de la verificación estatal de emisiones.

### Montana

**Crédito fiscal para conversión de vehículos a combustible alternativo:** Tanto personas físicas como morales son elegibles para un crédito sobre el impuesto sobre la renta hasta de 50 por ciento de los costos de equipo y mano de obra para la conversión de vehículos a combustible alternativo.

### Nebraska

**Préstamos para vehículos de combustible alternativo e infraestructura de suministro de combustible:** La Oficina de Energía de Nebraska (*Nebraska Energy Office*) administra el Programa de Préstamos para Ahorro de Energía y Dólares (*Dollar and Energy Saving Loan Program*), el cual ofrece préstamos blandos para diversos proyectos de energía alternativa como, por ejemplo, reemplazo de vehículos convencionales por otros de combustible alternativo, adquisición de vehículos de combustible alternativo nuevos, conversión de vehículos convencionales a combustible alternativo, y construcción o adquisición de una estación o equipo de suministro del combustible alternativo.

### Nevada

**Permiso para circular en carriles exclusivos para vehículos con varios pasajeros:** Los vehículos eléctricos y los eléctricos híbridos enchufables calificados pueden usar los carriles reservados para vehículos con varios pasajeros sin importar su número de ocupantes.

**Incentivo en la tarifa de carga para vehículos eléctricos enchufables:** NV Energy ofrece tarifas eléctricas con descuento a clientes residenciales que carguen vehículos eléctricos o eléctricos híbridos enchufables fuera de las horas pico.

**Exención para taxis híbridos:** Los vehículos eléctricos que cumplan con las condiciones pertinentes y funcionen como taxis pueden seguir en operación 24 meses más de los límites fijados, los cuales restringen a 67 meses el periodo en que un vehículo puede dar servicio de taxi si es nuevo o a 55 si es usado y tiene menos de 30,000 millas (48,280 km) recorridas.

**Exención de la verificación vehicular:** Los vehículos de combustible alternativo están exentos de la verificación de emisiones. Un vehículo eléctrico híbrido nuevo está exento de verificación de emisiones durante los primeros seis años; después tendrá que pasar anualmente dicha verificación.

**Exención de pago de estacionamiento:** Todas las autoridades locales que operen áreas de estacionamiento con parquímetros dentro de su jurisdicción deben crear un programa para que los vehículos de combustible alternativo se estacionen sin costo en esas zonas.

### **Nueva Jersey**

**Permiso para circular por carriles exclusivos para vehículos con varios pasajeros:** Los vehículos que cumplan con ciertas condiciones pueden usar los carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros entre las intersecciones 11 y 14 de la autopista de cuota de Nueva Jersey.

**Incentivos de peaje:** La Autoridad de la Autopista de Cuota de Nueva Jersey (*New Jersey Turnpike Authority*) ofrecía 10 por ciento de descuento fuera de las horas pico en el peaje de la autopista de Nueva Jersey y la Garden State Parkway con el pase NJ EZ-Pass para conductores de vehículos cuya eficiencia energética sea de 45 millas por galón (18 km por litro) o más y cumplan con la norma para Vehículos de Emisiones Súper Ultra Bajas de California (*California Super Ultra Low Emission Vehicle*). El descuento expiró el 30 de noviembre de 2013.

**Exención fiscal para vehículos de cero emisiones:** Los vehículos de cero emisiones comprados, rentados o arrendados en Nueva Jersey están exentos de los impuestos sobre ventas estatales y de uso.

### **Nueva York**

**Permiso para conducir por carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros:** Con el programa Pase Limpio (*Clean Pass Program*), los vehículos híbridos y eléctricos elegibles pueden utilizar los carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros de la autopista de alta velocidad de Long Island.

**Crédito fiscal para recarga de vehículos de combustible alternativo:** El proyecto de ley S.B. 2609 y A.B. 3009, aprobados en 2013, otorgan un crédito fiscal de 50 por ciento del costo, hasta \$EU5,000, para la compra e instalación de estaciones de recarga de combustibles alternativos y propiedades para recarga de vehículos eléctricos. El crédito está disponible hasta el 31 de diciembre de 2017.

### **Carolina del Norte**

**Exención en uso de carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros:** Los vehículos totalmente eléctricos y los eléctricos híbridos enchufables pueden utilizar los carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros sin importar el número de ocupantes del vehículo.

**Financiamiento para vehículos eléctricos:** La Unión de Crédito Federal del Gobierno Local (*Local Government Federal Credit Union*) ofrece préstamos para adquirir vehículos ecológicos, eficientes en el consumo de energía, nuevos y usados. Las tasas de interés de estos préstamos son 0.5 por ciento menores a las tradicionales para vehículos nuevos o usados.

**Exención de la verificación vehicular:** Los vehículos eléctricos que observen ciertas condiciones están exentos de la verificación de emisiones estatal.



## **Ohio**

**Incentivos para combustibles alternativos y para infraestructura de recarga:** El Programa de Subvenciones para el Transporte de Combustible Alternativo (*Alternative Fuel Transportation Grant Program*) ofrece subvenciones y préstamos hasta por 80 por ciento del costo de adquisición e instalación de servicios de recarga que ofrezcan combustibles alternativos.

## **Oklahoma**

**Crédito fiscal para infraestructura de combustibles alternativos:** Para los años fiscales previos al 1 de enero de 2015, está disponible un crédito fiscal de hasta 75 por ciento del costo de infraestructura de combustibles alternativos, incluidas estaciones de recarga para vehículos eléctricos.

**Crédito fiscal para vehículos de combustible alternativo:** Para los años fiscales previos al 1 de enero de 2015 está disponible un crédito fiscal de una sola vez sobre el impuesto sobre la renta equivalente a 50 por ciento de la diferencia de costo por adquirir un vehículo de combustible alternativo nuevo, original, directo de fábrica, o la conversión de un vehículo para que utilice un combustible alternativo. El estado ofrece también uno de 10 por ciento del costo total del vehículo por hasta \$EU1,500 si no se puede determinar el costo incremental de un vehículo de combustible alternativo nuevo o cuando se revende un vehículo de esas características, siempre que la unidad en cuestión no se haya beneficiado con un crédito fiscal previo.

**Crédito fiscal para fabricación de vehículos:** Los fabricantes de vehículos tienen derecho a solicitar un crédito fiscal para vehículos eléctricos, incluidos los de baja y media velocidad, hasta el 1 de julio de 2010. Los vehículos eléctricos que pueden circular legalmente en carreteras interestatales y autopistas cumplen con las condiciones necesarias para recibir un crédito de hasta \$EU2,000 por unidad.

## **Oregón**

**Crédito fiscal para infraestructura de combustibles alternativos para residentes:** A través del programa Créditos Fiscales para Energía Residencial (*Residential Energy Tax Credits*), los residentes que califiquen pueden recibir un crédito fiscal de 25 por ciento del costo de un proyecto de infraestructura para combustible alternativo, hasta \$EU750.

**Crédito fiscal para negocios de infraestructura de combustibles alternativos:** Los propietarios de un negocio y otros pueden calificar para obtener un crédito fiscal de 35 por ciento de los costos elegibles para proyectos de infraestructura de combustibles alternativos que reúnan ciertas condiciones.

**Exención para equipos de control de la contaminación:** Los fabricantes de equipo original especial para vehículos de gas natural y eléctricos no tienen que apearse al sistema de control de la contaminación certificado.

**Programa de préstamos para vehículos de combustible alternativo:** El proyecto de ley S.B. 583 establece el Fondo Revolvente para Vehículos de Combustible Alternativo (*Alternative Fuel Vehicle Revolving Fund*), el cual permite que organismos públicos tomen prestado del fondo para adquirir vehículos de combustible alternativo.

## **Pensilvania**

**Financiamiento para vehículos de combustible alternativo:** El Programa de Concesión de Incentivos para Combustibles Alternativos (*Alternative Fuels Incentive Grant*, AFIG) proporciona apoyo financiero para proyectos e información sobre combustibles alternativos que reúnan ciertos requisitos. El AFIG también incluye descuentos en la compra de vehículos eléctricos híbridos enchufables. De igual modo, también ofrece descuentos para vehículos de combustible alternativo

para suavizar el costo incremental de la compra de un vehículo de combustible alternativo nuevo. Los descuentos de \$EU3,000 están disponibles para vehículos totalmente eléctricos y eléctricos híbridos enchufables.

**Descuentos para vehículos eléctricos híbridos enchufables:** La compañía PECO proporciona descuentos de \$EU50 a clientes residenciales que adquieran un vehículo eléctrico híbrido nuevo que cumpla con ciertos requisitos.

### **Rhode Island**

**Exención fiscal para vehículos de combustible alternativo:** La ciudad de Warren podría permitir la exención de impuestos especiales hasta por \$EU100 para vehículos de combustible alternativo registrados en esa ciudad.

### **Carolina del Sur**

**Crédito fiscal para vehículos eléctricos híbridos enchufables:** Para los años fiscales anteriores a 2017 hay disponible un crédito fiscal sobre el impuesto sobre la renta para la adquisición o arrendamiento en el estado de un vehículo eléctrico híbrido nuevo. El crédito equivale a \$EU667 más \$EU111 si la batería del vehículo tiene cuando menos cinco kWh de capacidad, además de \$EU111 por cada kWh adicional; el crédito máximo permitido es de \$EU2,000.

**Crédito fiscal para vehículos de celdas de combustible:** Los residentes que soliciten un crédito fiscal federal para un vehículo de celdas de combustible tienen derecho a un crédito sobre el impuesto sobre la renta estatal equivalente a 20 por ciento del crédito federal.

### **Tennessee**

#### **Permiso para circular por los carriles exclusivos para vehículos con varios ocupantes:**

Los vehículos totalmente eléctricos y los eléctricos híbridos enchufables que califiquen pueden utilizar los carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros sin importar su número de ocupantes.

### **Texas**

**Subvenciones para infraestructura de suministro de combustibles alternativos:** La Comisión de Texas para la Calidad del Medio Ambiente (*Texas Commission on Environmental Quality*) administra el Programa de Instalaciones de Suministro de Combustibles Alternativos (*Alternative Fueling Facilities Program*), que ofrece subvenciones de 50 por ciento de los costos elegibles, hasta \$EU500,000, para construir, reconstruir o adquirir una planta para almacenar, comprimir o surtir combustibles alternativos, incluida la electricidad, en zonas con peor calidad del aire.

**Incentivos para equipo de alimentación para vehículos eléctricos:** Los clientes de Austin Energy que cuenten con un vehículo eléctrico enchufable son elegibles para un descuento de 50 por ciento, o hasta 1,500 dólares, del costo de adquisición e instalación de estaciones de recarga nivel 2 que reúna ciertos requisitos.

**Estacionamiento gratuito para vehículos híbridos:** Estacionamiento gratuito en todas las zonas con parquímetros del centro de San Antonio. Los vehículos deben mostrar el letrero que los identifique como vehículos híbridos.

### **Utah**

**Permiso de usar carriles exclusivos para vehículos con varios pasajeros:** Los vehículos eléctricos y eléctricos híbridos enchufables que cumplan con las condiciones pertinentes pueden utilizar los carriles exclusivos para vehículos ocupados por varios pasajeros sin importar el número de ocupantes

del vehículo; deben portar una calcomanía especial de combustible limpio emitida por el Departamento de Transporte de Utah (*Utah Department of Transportation*).

**Exención fiscal para combustibles alternativos:** Los combustibles como gas propano, gas natural comprimido, gas natural licuado y electricidad utilizados en vehículos de motor están exentos del impuesto estatal sobre combustibles.

**Crédito fiscal para combustibles alternativos y vehículos eficientes en consumo de energía:** El proyecto de ley H.B. 96, aprobado en 2013, dispone que los vehículos nuevos de combustibles limpios que cumplan con las mediciones de calidad del aire y las normas de eficiencia energética son elegibles para un crédito por \$EU605, incluidos ciertos vehículos eléctricos y eléctricos híbridos. También está disponible un crédito fiscal sobre el impuesto sobre la renta de hasta \$EU2,500 dólares del costo de conversión de un vehículo para que funcione con gas propano, gas natural o electricidad.

**Estacionamiento gratuito para vehículos eléctricos:** Estacionamiento gratuito en zonas con parquímetros de Salt Lake City para vehículos eléctricos que exhiban una placa de circulación de Aire Limpio (*Clean Air*).

### Vermont

**Crédito fiscal para investigación y desarrollo formulación de combustibles alternativos y vehículos avanzados:** Las empresas de Vermont que reúnan los requisitos como empresas de alta tecnología y dedicadas exclusivamente al diseño, desarrollo y fabricación de vehículos de combustible alternativo, eléctricos híbridos, totalmente eléctricos o de tecnologías energéticas relacionadas con fuentes de combustibles no fósiles, son elegibles para un máximo de tres de los siguientes créditos fiscales: 1) por nóminas; 2) por investigación y desarrollo elegibles; 3) por exportaciones; 4) por inversiones de pequeñas empresas, y 5) por crecimiento de alta tecnología.

### Virginia

**Permiso para usar carriles exclusivos para vehículos con varios pasajeros:** Los vehículos registrados que porten placas de Combustible Especial Limpio (*Clean Special Fuel*) emitidas antes del 1 de julio de 2006 pueden circular por los carriles reservados para vehículos con varios pasajeros en el corredor I-95/I-395, sin importar su número de pasajeros. En los respectivos carriles que alimentan el corredor I-66, sólo están exentos aquéllos con placas de Combustible Especial Limpio emitidas antes del 1 de julio de 2011.

**Subvenciones y préstamos para combustibles alternativos:** El Fondo Revolvente para Combustibles Alternativos (*Alternative Fuels Revolving Fund*) se utiliza para distribuir préstamos y subvenciones a dependencias estatales y locales en apoyo de programas de vehículos de combustible alternativo, el pago de mantenimiento, operación, evaluación o pruebas de dichos vehículos, pagar la conversión de vehículos o mejorar la infraestructura de combustibles alternativos.

**Descuento en la tarifa de recarga de vehículos eléctricos enchufables:** Dominion Virginia Power ofrece descuentos en las tarifas de electricidad a clientes residenciales que carguen sus vehículos fuera de horas pico.

**Fondo para la conversión de vehículos a combustibles alternativos:** Esta iniciativa apoya a entidades estatales con el pago por la diferencia de costo entre un vehículo tradicional y uno de combustible alternativo, o bien para pagar la conversión de vehículos propiedad del estado para que usen combustible alternativo.

**Exención de la verificación vehicular:** Los vehículos de combustible alternativo y los eléctricos híbridos están exentos de la verificación de emisiones.

## **Washington**

**Exención fiscal para vehículos de combustibles alternativos:** Los vehículos de pasajeros nuevos y los camiones de carga ligera y medianos de pasajeros que usen sólo combustibles alternativos están exentos del pago de los impuestos estatal para automotores y de uso.

**Subvenciones para demostración de vehículos eléctricos:** El Departamento de Comercio de Washington (*Washington Department of Commerce*) administra el Programa de Subvenciones para Demostración de la Electrificación de Vehículos (*Vehicle Electrification Demonstration Grant Program*), que forma parte del Programa Libertad Energética (*Energy Freedom Program*). Los solicitantes elegibles son dependencias estatales, escuelas públicas de distrito, servicios públicos distritales o subdivisiones políticas del estado. Las subvenciones pueden otorgarse a proyectos relacionados con la compra o conversión de vehículos existentes a vehículos eléctricos enchufables para uso de la flota y operaciones del solicitante.

**Exenciones fiscales para infraestructura y baterías para vehículos eléctricos:** Los predios públicos utilizados para instalar, mantener y operar infraestructura para vehículos totalmente eléctricos están exentos del pago de los impuestos especiales sobre arrendamiento hasta el 1 de enero de 2020. Además, los impuestos sobre ventas y uso no se aplican a las baterías de vehículos totalmente eléctricos, ni a la mano de obra y servicios de instalación, reparación, modificación o mejora de estas baterías, ni tampoco a la venta de propiedades destinadas a infraestructura de vehículos totalmente eléctricos.

**Exención de la verificación vehicular:** Los vehículos de combustibles alternativos y los eléctricos híbridos están exentos de la verificación de emisiones.

## Bibliografía

Abt Associates (2013), *Application of life cycle assessment for nanoscale technology: Lithium ion batteries for electrical vehicles* [Aplicación de la evaluación del ciclo de vida para nanotecnología: Baterías de iones de litio para vehículos eléctricos], disponible en: <<http://seeds4green.net/sites/default/files/LCA%20for%20Lithium-Ion%20Batteries%20for%20Electric%20Vehicles.pdf>>.

AIE, *Canada: Policies and legislation; Hybrid & Electric Vehicle Implementing Agreement* [Canadá: políticas y legislación; acuerdo para la adopción de vehículos híbridos y eléctricos], Agencia Internacional de Energía, en: <[www.ieahev.org/by-country/canada-policy-and-legislation/](http://www.ieahev.org/by-country/canada-policy-and-legislation/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

AIE (2012), *Hybrid and electric vehicles: The electric drive captures the imagination* [Vehículos híbridos y eléctricos: el motor eléctrico atrapa a la imaginación], acuerdo para la adopción de vehículos híbridos y eléctricos, Agencia Internacional de Energía, disponible en: <[www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV\\_2011\\_annual\\_report\\_web.pdf](http://www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV_2011_annual_report_web.pdf)>.

AIE, *Canada : On the road and deployments; Hybrid and Electric Vehicle Implementing Agreement (IA-HEV)* [Canadá: por los caminos y uso; acuerdo para la adopción de vehículos eléctricos e híbridos (IA-HEV)], Agencia Internacional de Energía, en: <[www.ieahev.org/by-country/Canada-on-the-road-and-deployments/](http://www.ieahev.org/by-country/Canada-on-the-road-and-deployments/)> (consulta realizada el 4 de mayo de 2014).

AkkuSer (2011), AkkuSer Ltd – Battery Recycling – Dry Technology. [AkkuSer Ltd: Reciclaje de baterías con tecnología seca], video en YouTube: <[www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=HD1dB7zI7Ec](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=HD1dB7zI7Ec)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

AMDA, Miguel Ángel Camarena Ramos, Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores, comunicación personal con los autores, 21 de marzo de 2014.

ASEAN Environment, véase: <[www.aseanenvironment.info/Abstract/41016797.pdf](http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41016797.pdf)>.

“Asian Metal, Rare earths: Recycling” [Metales asiáticos; tierras raras: reciclaje], *Metalpedia*, en: <[http://metalpedia.asianmetal.com/metal/rare\\_earth/recycling.shtml](http://metalpedia.asianmetal.com/metal/rare_earth/recycling.shtml)> (consulta realizada el 31 de marzo de 2015).

ATSDR (2012), *Toxicological profile for manganese* [Perfil toxicológico del manganeso], US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicios de Salud Pública, Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades de Estados Unidos], disponible en: <[www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf)>

ATSDR (2005), *Toxicological profile for nickel* [Perfil toxicológico del níquel], US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicios de Salud Pública, Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades de Estados Unidos], disponible en: <[www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf)>

ATSDR (2004), *Toxicological profile for cobalt* [Perfil toxicológico del cobalto], US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Departamento de Salud y Servicios Humanos, Servicios de Salud Pública, Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades de Estados Unidos], disponible en: <[www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.pdf)>.

Austin, M. (2010), “2011 Hyundai Sonata Hybrid” [Sonata Hyundai híbrido 2011], *Car and Driver*, en: <[www.caranddriver.com/reviews/2011-hyundai-sonata-hybrid-prototype-drive-review](http://www.caranddriver.com/reviews/2011-hyundai-sonata-hybrid-prototype-drive-review)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

Autos México (2013), “Vía Motors inaugura planta de autos híbridos en México”, *Autos México*, en: <<http://autosmexico.mx/mundo-verde/via-motors-inaugura-planta-de-autos-hibridos-en-mexico>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Babae, S., A. S. Nagpure y J. D. de Carolis (2014), “How much do electric drive vehicles matter to future US emissions?” [¿Qué tanto importan los vehículos eléctricos para el futuro de las emisiones en Estados Unidos?], *Environmental Science and Technology*, núm. 48(3), pp. 1382-1390, disponible en: <[www4.ncsu.edu/~jfdecaro/papers/Babae\\_etal\\_2014.pdf](http://www4.ncsu.edu/~jfdecaro/papers/Babae_etal_2014.pdf)>.

Battery University, “BU-205: Types of lithium-ion” [BU-205: Tipos de iones de litio], *Battery University*, en: <[http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Beresteanu, A. y S. Li (2008), *Gasoline prices, government support, and the demand for hybrid vehicles in the U.S.* [Precios de la gasolina, apoyo gubernamental y la demanda de vehículos híbridos en Estados Unidos], disponible en: <<http://public.econ.duke.edu/Papers/PDF/hybrid.pdf>>.

Berg, P., “8 potential EV and hybrid battery breakthroughs: Why wild new battery technology could soon mean EVs with a 500-mile range” [Ocho posibles logros en baterías para vehículos híbridos y eléctricos: Por qué la nueva y emocionante tecnología de baterías podría pronto traducirse en vehículos totalmente eléctricos con una autonomía de 500 millas], *Popular Mechanics*, en: <[www.popularmechanics.com/cars/g785/8-potential-ev-and-hybrid-bateria-breakthroughs/](http://www.popularmechanics.com/cars/g785/8-potential-ev-and-hybrid-bateria-breakthroughs/)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Berman, B. (2008), “The hybrid car battery: A definitive guide” [La batería del automóvil híbrido: Guía completa], *Hybrid Cars*, en: <[www.hybridcars.com/hybrid-car-battery/](http://www.hybridcars.com/hybrid-car-battery/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Berman, B. (2010), “Hybrid and plug-in incentives and rebates: Region by region” [Incentivos y descuentos para vehículos híbridos y enchufables: Región por región], *Hybrid Cars*, en: <[www.hybridcars.com/region-by-region/](http://www.hybridcars.com/region-by-region/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Berman, B. (2010), “Toyota: Nickel batteries for hybrids, lithium for electric cars” [Toyota: baterías de níquel para vehículos híbridos, litio para eléctricos], *Hybrid Cars* <[www.hybridcars.com/toyota-nickel-batteries-hybrids-lithium-electric-cars-29073/](http://www.hybridcars.com/toyota-nickel-batteries-hybrids-lithium-electric-cars-29073/)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Bolsa de Metales, “Precio promedio para 2013”, en: <[www.metalsexchange.com](http://www.metalsexchange.com)> (consulta realizada el 27 de mayo de 2014).

Brooks, David, (2014), comunicación personal con los autores, abril de 2014.

Bumblebee Batteries LLC, “MAX-IMA replacement IMA battery for Honda Civic Hybrid” [MAX-IMA reemplaza a la batería IMA en el Honda Civic híbrido], en: <<http://bumblebeebatteries.com/hybrid-batteries/honda-civic-hybrid-battery/>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Camarena Ramos, Miguel Ángel, comunicación personal con los autores, 21 de marzo de 2014.

Car Buying Strategies (2013), “Ford Fusion Hybrid review: Buying guide” [Reseña sobre el Ford Fusion híbrido: guía para el comprador], *Car Buying Strategies*, en: <[www.car-buying-strategies.com/Ford/2013-fusion-hybrid.html](http://www.car-buying-strategies.com/Ford/2013-fusion-hybrid.html)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

Carbon Pig, “Electric cars don’t use fossil fuel, but what’s the environmental impact and life cycle of the batteries?” [Los automóviles eléctricos no utilizan combustible fósil, pero ¿cuál es el impacto



ambiental y el ciclo de vida de las baterías?], *CarbonPig*, en: <<http://carbonpig.com/article/electric-cars-dont-use-fossil-fuel-whats-environmental-impact-and-life-cycle-batteries>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Cars Direct (2013), “How to properly recycle used hybrid car batteries” [Cómo reciclar adecuadamente las baterías para vehículos híbridos usadas], *Cars Direct*, en: <[www.carsdirect.com/green-cars/how-to-properly-recycle-used-hybrid-car-batteries](http://www.carsdirect.com/green-cars/how-to-properly-recycle-used-hybrid-car-batteries)> (consulta realizada el 18 de marzo de 2014).

CBC (2012), SGI green rebate program ends [Termina el programa de descuentos ecológicos SGI], *CBC News*, en: <[www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/sgi-green-rebate-program-ends-1.1181246](http://www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/sgi-green-rebate-program-ends-1.1181246)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

CCA, “Materiales de capacitación de la CCA sobre manejo ambientalmente adecuado”, Comisión para la Cooperación Ambiental, en: <[www.cec.org/Page.asp?PageID=1226&SiteNodeID=1282](http://www.cec.org/Page.asp?PageID=1226&SiteNodeID=1282)> (consulta realizada el 26 de marzo de 2015).

Chatarrera Metales Z.1, en: <[http://metaleszi.com.mx/sistema/pdf/precios\\_compra.php](http://metaleszi.com.mx/sistema/pdf/precios_compra.php)> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

Chris Hillseth Enterprises (2014), “Lithium battery” [Batería de litio], en: <<http://chrishillsethenterprises.com/battery/wp-content/uploads/2014/01/lithiumbattery.jpg>> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Chubb, C. (2013), “Council votes in favour of Toronto taxicab licence” [El Concejo vota en favor de la licencia para taxis en Toronto], *CityNews Toronto*, en: <[www.citynews.ca/2014/02/19/council-votes-in-favour-of-toronto-taxicab-licence/#\\_\\_federated=1](http://www.citynews.ca/2014/02/19/council-votes-in-favour-of-toronto-taxicab-licence/#__federated=1)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Conversación confidencial con un ejecutivo de la industria del reciclaje de baterías, comunicación personal con los autores, 11 de marzo de 2014.

Conversación confidencial con un fabricante de baterías para vehículos eléctricos, comunicación personal con los autores, 12 de marzo de 2014.

Conversación confidencial con un representante de una gran cadena de desmanteladores de automóviles de América del Norte, comunicación personal con los autores, 17 de marzo de 2014.

Conversación confidencial con un representante de una fundidora de plomo de Estados Unidos, comunicación personal con los autores, 10 de marzo de 2014.

Coy, Todd, comunicación personal con los autores, 11 de marzo de 2014.

CTC-N (2012), *Development of a recycling process for Li-Ion batteries* [Creación de un proceso de reciclaje de baterías de Li-Ion], Climate Technology Centre and Network [Centro y Red de Tecnología del Clima], en: <<http://ctc-n.org/content/development-recycling-process-li-ion-batteries>> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

DoE, “Batteries for hybrid and plug-in electric vehicles” [Baterías para vehículos eléctricos híbridos y enchufables], US Department of Energy [Departamento de Energía de Estados Unidos], en: <[www.afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Durán Ortiz, M. R. (2013), “U.S. top selling VH by market share” [Participación en el mercado estadounidense de los vehículos híbridos más vendidos], en: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_electric\\_vehicles\\_in\\_the\\_United\\_States#mediaviewer/File:U.S.\\_top\\_selling\\_VH\\_by\\_market\\_share.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicles_in_the_United_States#mediaviewer/File:U.S._top_selling_VH_by_market_share.png)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

eBay, baterías híbridas, búsqueda en eBay, en: <[www.ebay.com/bhp/hybrid-battery](http://www.ebay.com/bhp/hybrid-battery)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

EIA (2013), *Annual energy outlook 2014: Early release reference case* [Perspectiva Anual de Energía, 2014; Publicación anticipada de caso de referencia], US Energy Information Administration [Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos], disponible en: <[http://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/energy/AEO2014%20Early%20Release%20Presentation\\_\\_CGEP\(12-18-13\).pdf](http://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/energy/AEO2014%20Early%20Release%20Presentation__CGEP(12-18-13).pdf)> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

EIA (2013), *Annual energy outlook 2014. Early release overview* [Perspectiva Anual de Energía 2014. Publicación anticipada con proyecciones a 2040], US Energy Information Administration (EIA) [Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos], disponible en: <[www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er\(2014\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/0383er(2014).pdf)> (consulta realizada el 17 de abril de 2014).

Ekermo, V. (2009), *Recycling opportunities for Li-ion batteries from hybrid electric vehicles* [Oportunidades de reciclaje de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos híbridos], tesis para obtener el grado de maestría en Ciencias, Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química y Biológica, Universidad Tecnológica Chalmers, en: <[www.yumpu.com/en/document/view/3270204/recycling-opportunities-for-li-ion-batterys-from-hybrid-electric-vehicles](http://www.yumpu.com/en/document/view/3270204/recycling-opportunities-for-li-ion-batterys-from-hybrid-electric-vehicles)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Electric Drive Transportation Association [Asociación de Transportes Eléctricos], en: <<http://electricdrive.org/>> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Electric Drive Transportation Association, “Electric drive sales dashboard” [Comparativo de ventas de vehículos eléctricos], Electric Drive Transportation Association [Asociación de Transportes Eléctricos], en: <<http://electricdrive.org/index.php?ht=d%2Fsp%2Fi%2F20952%2Fpid%2F20952>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Electric Transportation Engineering Corporation (2009), *Electric vehicle charging infrastructure—Deployment guidelines: British Columbia* [Infraestructura de carga para vehículos eléctricos: guía de desarrollo, Columbia Británica], versión 1.0], disponible en: <[www.ceati.com/files/ev/BC%20EV%20Charging%20Infrastructure%20Guidelines.pdf](http://www.ceati.com/files/ev/BC%20EV%20Charging%20Infrastructure%20Guidelines.pdf)>.

Els, F. (2013), “Honda’s starts recycling program to extract 80% of rare earths from used hybrid batteries” [Honda inicia programa de reciclaje para extraer 80% de tierras raras de baterías híbridas usadas], *InfoMine*, en: <[www.mining.com/hondas-starts-recycling-program-to-extract-80-of-rare-earths-from-used-hybrid-batteries-43719](http://www.mining.com/hondas-starts-recycling-program-to-extract-80-of-rare-earths-from-used-hybrid-batteries-43719)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Energizer (2010), *Nickel Metal Hydride (NiMH) Handbook and Application Manual* [Guía y manual de aplicación de baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)], disponible en: <[http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride\\_appman.pdf](http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride_appman.pdf)> (Consulta realizada el 30 de septiembre de 2015).

EPA (2012), *Lithium-ion batteries and nanotechnology for electric vehicles: A life cycle assessment* [Baterías de iones de litio y nanotecnología para vehículos eléctricos: Evaluación de un ciclo de vida], US Environmental Protection Agency: Office of Pollution Prevention and Toxics, and National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development [Agencia de Protección Ambiental: Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas y Laboratorio de Investigación sobre el Manejo de Riesgos Nacionales, Oficina de Investigación y Desarrollo de Estados Unidos]; disponible en: <<http://nepis.epa.gov>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

EPA (1997), *Implementation of the Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act* [Instrumentación de la Ley de Manejo de Baterías Recargables y con Contenido de Mercurio], US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/osw/hazard/recycling/battery.pdf](http://www.epa.gov/osw/hazard/recycling/battery.pdf)>.

Eurobat (2010), “Otras legislaciones”, en: <[www.eurobat.org/other-legislation](http://www.eurobat.org/other-legislation)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Fisher, K., E. Wallen, P. P. Laenen y M. Collins (2006), *Battery waste management life cycle assessment* [Evaluación del ciclo de vida para el manejo de baterías de desecho], disponible en: <[www.epbaeurope.net/090607\\_2006\\_Oct.pdf](http://www.epbaeurope.net/090607_2006_Oct.pdf)>.

Fox Davies Resource Specialists, *The Lithium Market* [El mercado del litio], septiembre de 2013.

Friends of the Earth Europe, Friends of the Earth England Wales and Northern Ireland (2013), *Lithium* [Litio], disponible en: <[www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/13\\_factsheet-lithium-gb.pdf](http://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/13_factsheet-lithium-gb.pdf)>.

Gaines, L. y R. Cuenca (2000), *Costs of lithium-ion batteries for vehicles* [Costos de las baterías de iones de litio para vehículos], United States Department of Energy, Center for Transportation Research: Energy Systems Division, Argonne National Laboratory [Departamento de Energía de Estados Unidos, Centro de Investigación sobre el Transporte: División de Sistemas de Energía, Laboratorio Nacional de Argonne], Argonne, Illinois.

Global PSC (2011), “Batrec — Return Batteries and Accumulators” [Batrec: Devuelva baterías y acumuladores], video de YouTube, en: <[www.youtube.com/watch?v=e6qyLT\\_x53o](http://www.youtube.com/watch?v=e6qyLT_x53o)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

Good Car Bad Car (2012), “Overall Canada auto industry sales figures—Monthly and yearly” [Cifras generales de ventas de la industria automotriz canadiense, mensuales y anuales], en: <[www.goodcarbadcar.net/2012/10/Canada-overall-auto-industry-sales-graficas.html?m=1](http://www.goodcarbadcar.net/2012/10/Canada-overall-auto-industry-sales-graficas.html?m=1)> (consulta realizada el 4 de mayo de 2015).

Gobierno de Alberta, *Energy efficiency rebates: Part of Alberta's climate change plan* [Descuentos por eficiencia energética: Parte del plan de Alberta en materia de cambio climático], disponible en: <[www.insulspan.com/newsletter/0509news/AlbertaEnvironmentEnergyRebateCard.pdf](http://www.insulspan.com/newsletter/0509news/AlbertaEnvironmentEnergyRebateCard.pdf)>.

Gobierno de Columbia Británica (2013), “Clean energy vehicle incentive program extended” [Ampliación del programa de incentivos para vehículos de energía limpia], en: <[www.newsroom.gov.bc.ca/2013/03/clean-energy-vehicle-incentive-program-extended.html](http://www.newsroom.gov.bc.ca/2013/03/clean-energy-vehicle-incentive-program-extended.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Gobierno de Columbia Británica, “Transportation rebates and incentives” [Incentivos y descuentos para el transporte], *Live Smart BC*, en: <[www.livesmartbc.ca/incentives/transportation/](http://www.livesmartbc.ca/incentives/transportation/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Gobierno de Manitoba (2011), *Manitoba's electric vehicle road map: Driving toward fossil fuel freedom* [Hoja de ruta de Manitoba hacia los vehículos eléctricos: Liberémonos de los combustibles fósiles], disponible en: <[www.gov.mb.ca/ia/energy/transportation/images/elec\\_vehicle\\_road\\_map.pdf](http://www.gov.mb.ca/ia/energy/transportation/images/elec_vehicle_road_map.pdf)>.

Gobierno de Quebec (2012), “Purchase or Lease Rebate Program” [Programa de descuentos por adquisición o arrendamiento], en: <<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/english/particuliers/rabais.asp>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Gobierno de Quebec (2012), “Running on green power! Electric vehicles: 2011–2020” [¡A circular con energía ecológica! Vehículos eléctricos: 2011–2020], presentación en PowerPoint del Plan de Acción de Quebec llevada a cabo en el marco de la Conferencia sobre vehículos de combustible alternativo (*Alternative Fuel Vehicles Conference*) (Montreal, 2012), disponible en: <[www.cap-cpma.ca/images/ECP%20Documents/AFV%20Conference/ADaneau.PAVE.MRNF\\_Eng.pdf](http://www.cap-cpma.ca/images/ECP%20Documents/AFV%20Conference/ADaneau.PAVE.MRNF_Eng.pdf)>.

Gobierno de Quebec (2011), *Plan d'action 2011–2020 sur les véhicules électriques*. Appendix 3: Measures for users [Plan de acción 2011-2020 sobre vehículos eléctricos, apéndice 3: Medidas para usuarios], disponible en: <[www.mern.gouv.qc.ca/english/press/ev\\_annexe3.pdf](http://www.mern.gouv.qc.ca/english/press/ev_annexe3.pdf)>.

Grayson Hyundai, “Hyundai Sonata Hybrid” [El Sonata híbrido de Hyundai], en: <[www.graysonhyundai.com/sonata-hybrid.htm](http://www.graysonhyundai.com/sonata-hybrid.htm)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

Hartman, K. (2015), “State efforts to promote hybrid and electric vehicles” [Acciones de los estados para fomentar los vehículos híbridos y eléctricos], National Conference of State Legislatures [Conferencia Nacional de las Legislaturas Estatales], en: <[www.ncsl.org/research/energy/state-electric-vehicle-incentives-state-chart.aspx](http://www.ncsl.org/research/energy/state-electric-vehicle-incentives-state-chart.aspx)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Hiler, K. (2013), “What’s next in electric-car-batería tech” [Qué sigue en la tecnología de baterías para automóviles eléctricos], *Popular Mechanics*, en: <[www.popularmechanics.com/cars/alternative-fuel/electric/whats-next-in-electric-car-batería-tech-16280750](http://www.popularmechanics.com/cars/alternative-fuel/electric/whats-next-in-electric-car-batería-tech-16280750)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Huffman, J. P. (2012), “2013 Ford Fusion Hybrid” [El Ford Fusion híbrido 2013], *Car and Driver*, en: <[www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-fusion-hybrid-first-drive-review](http://www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-fusion-hybrid-first-drive-review)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

“Hybrid Cars: DoE Alternative Fuels Data Center” [Automóviles híbridos: Centro de Datos sobre Combustibles Alternativos del Departamento de Energía de Estados Unidos, DoE], *Hybrid cars* <[www.hybridcars.com](http://www.hybridcars.com)> (consulta realizada el 21 de abril de 2014).

Inegi, “Directorio estadístico de unidades económicas; comercio al por menor de partes y refacciones usadas para automóviles, camionetas y camiones”, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en: <[www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx)> (consulta realizada el 15 de abril de 2014).

“Infinity Q50” [Infinity Q50], en: <[www.infiniti.mx/Q50/modelos](http://www.infiniti.mx/Q50/modelos)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Ingram, A. (2012), “Toyota hybrid battery replacement cost guide” [Guía de costos de reemplazo de baterías híbridas de Toyota], *Green Car Reports*, en: <[www.greencarreports.com/news/1078138\\_toyota-hybrid-batería-replacement-cost-guide](http://www.greencarreports.com/news/1078138_toyota-hybrid-batería-replacement-cost-guide)> (consulta realizada el 7 de mayo de 2014).

Integrity Exports (2012), “Honda introduces rare earth metal recovery tech for old hybrid car batteries” [Honda introduce tecnología de recuperación de metales de tierras raras de las baterías para automóviles híbridos usadas], *Integrity Exports*, en: <<http://integrityexports.com/2012/04/18/honda-introduces-rare-earth-metal-recovery-tech-for-old-hybrid-car-batteries/>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Kelowna (2009), “Eco-pass” [Pase ecológico], ciudad de Kelowna, en: <[www.kelowna.ca/CM/page1649.aspx](http://www.kelowna.ca/CM/page1649.aspx)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Kerchner, George A., Comunicación personal con los autores, 13 de marzo de 2014.

MacDonald, E. (2013), “Hybrid vehicle dismantling—Recycling the future” [Desmantelamiento de vehículos híbridos: reciclemos para el futuro], presentación en el Congreso Internacional de Reciclaje de Automóviles [*International Automobile Recycling Congress*], Green Recycled Parts.

Mathur, A. (2012), “Insight—How NiMH cell works” [A profundidad: cómo funciona la celda de Ni-MH], *Engineers Garage*, en: <[www.engineersgarage.com/insight/how-nimh-cell-works](http://www.engineersgarage.com/insight/how-nimh-cell-works)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Mayer, E. H. (2009), “Fusion híbrido rompe récord”, *El Universal*, en: <[www.eluniversal.com.mx/articulos/53870.html](http://www.eluniversal.com.mx/articulos/53870.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Mexican Automotive (2010), “Questions on Official Mexican Standard 163 and its continued suspension” [Dudas sobre la Norma Oficial Mexicana 163, que sigue suspendida], en: <<http://mexicanautomotive.com/en/home/84-october-2012/364--questions-on-official-mexican-standard-163-and-its-continued-suspension>> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

Michelsen, C. (2012), “Hybrid battery recycling works! according to Honda” [Según Honda, ¡el reciclaje de las baterías híbridas funciona!], *Clean Technica*, en: <<http://cleantechnica.com/2012/04/24/hybrid-battery-recycling-works-according-to-honda/>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Morris, C. (2014), “Volkswagen Group France arranges for recycling of hybrid and EV batteries” [El Grupo Volkswagen Francia llega a acuerdos para reciclar baterías de vehículos híbridos y eléctricos], *Charged*, en: <<http://chargedevs.com/newswire/volkswagen-group-france-arranges-for-recycling-of-hybrid-and-ev-batteries/>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

National Library of Medicine HSDB Database (2007), “Lithium compounds” [Compuestos de litio], en: <<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+6900>>.

Neubauer, J. y A. Pesaran (2010), *PHEV/EV li-ion battery second-use project* [Proyecto para un segundo uso de las baterías de iones de litio de vehículos eléctricos híbridos enchufables y totalmente eléctricos] (NREL/PR-540-48018), National Renewable Energy Laboratory [Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos], disponible en: <[www.nrel.gov/docs/fy10osti/48018.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48018.pdf)>.

Nissan Newsroom (2013), “Growing the grid: EV taxis drive infrastructure transformation in México, Latin America” [La red crece: taxis eléctricos impulsan la transformación de la infraestructura en México y América Latina], 2 de mayo de 2013, video de You Tube, en: <<http://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/video-report-growing-the-grid-ev-taxis-drive-infrastructure-transformation-in-Mexico-latin-america>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Norma Oficial Mexicana (2013), *Emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kilogramos (NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013)*, 21 de junio de 2013, en: <[http://diariooficial.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5303391&fecha=21/06/2013](http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5303391&fecha=21/06/2013)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

O’Dell, J. (2014), “What happens to EV and hybrid battery? Going green with battery recycling” [¿Qué pasa con las baterías de automóviles eléctricos e híbridos? Respetemos el medio ambiente reciclando las baterías], *Edmunds* <[www.edmunds.com/fuel-economy/what-happens-to-ev-and-hybrid-battery.html](http://www.edmunds.com/fuel-economy/what-happens-to-ev-and-hybrid-battery.html)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Ontario Ministry of Transportation, “Electric vehicle incentive program” [Programa de incentivos para vehículos eléctricos], Ontario Ministry of Transportation [Ministerio de Transporte de Ontario], en: <[www.mto.gov.on.ca/english/vehicles/electric/electric-vehicle-incentive-program.shtml](http://www.mto.gov.on.ca/english/vehicles/electric/electric-vehicle-incentive-program.shtml)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Pacific Northwest National Laboratory (2014), “Batteries development may extend range of electric cars” [El avance de las baterías podría ampliar la autonomía de los automóviles eléctricos], Pacific Northwest National Laboratory [Laboratorio Nacional del Noroeste del Pacífico], *Science Daily*, en: <[www.sciencedaily.com/releases/2014/01/140109175504.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2014/01/140109175504.htm)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Pederson, M. (2013), “Reciclaje y desmantelamiento de baterías para vehículos híbridos eléctricos en Umicore, Maxton, Carolina del Norte, Estados Unidos”.

Perdiguerro, J. y J. Jiménez (2012), *Policy options for the promotion of electric vehicles: A review* [Revisión de opciones de política para fomentar el uso de vehículos eléctricos], Institut de Recerca

en Economía Aplicada Regional i Pública (IREA) [Instituto de Investigación de Economía Aplicada Regional y Pública], disponible en: <[www.ub.edu/irea/working\\_papers/2012/201208.pdf](http://www.ub.edu/irea/working_papers/2012/201208.pdf)>.

Prince Edward Island Department of Finance and Energy (2013), “Revenue tax (PST) refund” [Reembolso del impuesto sobre la renta (impuesto provincial a las ventas)], Prince Edward Island Department of Finance and Energy [Departamento de Finanzas y Energía de la Isla del Príncipe Eduardo], en: <[www.taxandland.pe.ca/index.php3?number=17274&lang=E](http://www.taxandland.pe.ca/index.php3?number=17274&lang=E)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Raia, J. (2012), “2013 Toyota Avalon Hybrid: Redesign adds further appeal to surprising sedan” [Avalon Toyota 2013 híbrido: Nuevo diseño hace más atractivo a un sorprendente sedán], *The Weekly Driver*, en: <<http://theweeklydriver.com/2013-toyota-avalon-hybrid-redesign-adds-further-appeal-surprising-sedan/>> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

RBRC (2014), “Working group makes progress on updating UN testing requirements for large lithium batteries” [Grupo de trabajo avanza en la actualización de los requisitos de las pruebas de las Naciones Unidas para baterías de litio de gran tamaño], Rechargeable Battery Association [Asociación para Baterías Recargables], en: <[www.prba.org/general/working-group-makes-progress-on-updating-un-testing-requirements-for-large-lithium-batteries-804/](http://www.prba.org/general/working-group-makes-progress-on-updating-un-testing-requirements-for-large-lithium-batteries-804/)> (consulta realizada el 13 de marzo de 2014).

Reuters (2013), “Standards are tightened for lithium-ion batteries” [Se endurecen normas en materia de baterías de iones de litio], *The New York Times*, en: <[www.nytimes.com/2013/06/13/business/lithium-ion-battery-standards-are-tightened.html?\\_r=0](http://www.nytimes.com/2013/06/13/business/lithium-ion-battery-standards-are-tightened.html?_r=0)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Robinson, A. (2012), “2013 Ford C-Max Hybrid” [Ford C-Max híbrido 2013], *Car and Driver*, en: <[www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-c-max-hybrid-first-drive-review](http://www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-c-max-hybrid-first-drive-review)> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

SAE International (2012), “NAIAS 2012: Toyota shows smaller, lighter Prius and plug-in concept targeted for 2015” [NAIAS 2012: Toyota muestra para 2015 un Prius más pequeño y ligero, y un concepto enchufable], en: <<http://articles.sae.org/10558/>> (consulta realizada el 23 de abril de 2014).

Salado, D. (2013), “Autos eléctricos: ¿son sustentables?”, *El Economista*, en: <<http://eleconomista.com.mx/industrias/2013/09/02/autos-electricos-son-sustentables>> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Secretaría de Gobernación, “Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, *Diario Oficial de la Federación*, en: <[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5337505&fecha=19/03/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5337505&fecha=19/03/2014)>.

Secretariado del Convenio de Basilea (2014), *Convenio de Basilea sobre el Control del Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos y su Eliminación*, disponible en: <[www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-e.pdf](http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-e.pdf)>.

Semarnat (2014), “Empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, disponible en: <[www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparencia-focalizada/residuos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos](http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparencia-focalizada/residuos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Semarnat (2012), *Plan de manejo de vehículos al final de su vida útil*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, disponible en: <[www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/residuos/vehiculos/Documents/plan-manejo-vehiculos.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/residuos/vehiculos/Documents/plan-manejo-vehiculos.pdf)>.



Semarnat (2009), *Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generada por los vehículos usados al final de su vida útil*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, disponible en:

<<http://web2.semarnat.gob.mx/temas/residuos/vehiculos/Documents/estudio-elv-2009.pdf>>.

Semarnat, *Guía para la importación y exportación de residuos en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, disponible en:

<[http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-029AF/guia\\_Import\\_Export\\_RP.pdf](http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-029AF/guia_Import_Export_RP.pdf)>.

SGM, “Precio internacional cobalto”, Servicio Geológico Mexicano, en:

<<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/precio-metales/cobalto.html>> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

SGM, “Precio internacional níquel”, Servicio Geológico Mexicano, en:

<<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/precio-metales/niquel.html>> (consulta realizada el 30 de abril de 2014).

Smilovitz, E. (2012), “México venderá su primer coche 100% eléctrico en 2013”, *Altonivel*, en:

<[www.altonivel.com.mx/22410-México-vendera-su-primer-coche-electrico-en-2013.html](http://www.altonivel.com.mx/22410-México-vendera-su-primer-coche-electrico-en-2013.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Sullivan, L. y L. Gaines (2010), “A review of battery life-cycle analysis: State of knowledge and critical needs” [Reseña del análisis del ciclo de vida de las baterías: Estado de los conocimientos y necesidades críticas], Argonne National Laboratory: Energy Systems Division [Laboratorio Nacional de Argonne: División de Sistemas de Energía], en: <[https://greet.es.anl.gov/files/batterys\\_lca](https://greet.es.anl.gov/files/batterys_lca)> (consulta realizada el 30 de septiembre de 2014).

Sumitomo Metal Mining Co. (2013), *CSR Report 2013* [Informe CSR 2013], disponible en:

<[www.smm.co.jp/E/csr/report/pdf/csr2013\\_allpages.pdf](http://www.smm.co.jp/E/csr/report/pdf/csr2013_allpages.pdf)>.

Sustainable Waterloo (2010), *Calculating GHG emissions from personal vehicle travel*

[Cálculo de las emisiones de GEI generadas por viajes en un vehículo personal], disponible en:

<[www.sustainablewaterlooregion.ca/files/u/WasteEmissionFactorDecision.pdf](http://www.sustainablewaterlooregion.ca/files/u/WasteEmissionFactorDecision.pdf)>.

SYKLI Environmental School of Finland, “Batteries” [Baterías], Escuela Ambiental de Finlandia

SYKLI, en: <[www.sykli.fi/en/materials-and-tools/batteries-recycling/recycling](http://www.sykli.fi/en/materials-and-tools/batteries-recycling/recycling)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

The Winnipeg Free Press (2010), “Province ending \$2,000 rebate on hybrid vehicles” [Termina en la provincia el descuento de 2,000 dólares en vehículos híbridos], *The Winnipeg Free Press*, en:

<[www.winnipegfreepress.com/breakingnews/Province--104163053.html](http://www.winnipegfreepress.com/breakingnews/Province--104163053.html)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Toshiba of Europe Ltd. (2013), Legal directives in Europe [Directivas legales en Europa], en:

<[www.toshiba.eu/eu/Environmental-Management/Legal-directives-in-Europe/](http://www.toshiba.eu/eu/Environmental-Management/Legal-directives-in-Europe/)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Toyota Motor Corporation, (2012), *Lexus ES300h Hybrid 2013 Model: Emergency response guide*

[Lexus ES300h híbrido, modelo 2013: Guía de respuesta a emergencias]; disponible en:

<<http://afvsafetytraining.com/erg/Lexus-ES300-2013.pdf>>.

Toyota Motor Corporation (2011), *Toyota Prius V gasoline-electric hybrid synergy drive: Hybrid vehicle dismantling manual* [Sinergia entre gasolina y tracción híbrida eléctrica en el Toyota Prius V: Manual de desmantelamiento de un vehículo híbrido]; disponible en:

<<https://techinfo.toyota.com/techInfoPortal/staticcontent/en/techinfo/html/prelogin/docs/priusvdisman.pdf>>.

Toyota Motor Corporation (2010), *Lexus CT200h Hybrid 2011 Model: Emergency response guide* [Lexus CT200h híbrido, modelo 2011: Guía de respuesta a emergencias], disponible en: <<http://afvsafetytraining.com/erg/Lexus-CT200h-2011.pdf>>.

Toyota Motor Corporation, “Toyota announces sustainable battery recycling agreement in Europe. Press release” [Toyota anuncia convenio de reciclaje sustentable de baterías en Europa], en: <<http://toyota.eu/about/pages/newsdetails.aspx?prid=688&prs=Corporate&prrm=pressrelease>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Umicore, representante, comunicación personal con los autores, 5 de mayo de 2014.

Umicore, “Battery recycling” [Reciclaje de baterías], en: <[www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/process/process.jpg](http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/process/process.jpg)> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Underwriters Lab (2012), *Safety issues for lithium-ion batteries* [Aspectos de seguridad de las baterías de iones de litio]; disponible en: <[www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS\\_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries\\_10-12.pdf](http://www.ul.com/global/documents/newscience/whitepapers/firesafety/FS_Safety%20Issues%20for%20Lithium-Ion%20Batteries_10-12.pdf)>.

Unión Europea (2013), “Directiva 2013/56/EU UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 20 de noviembre de 2013 por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, por lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores portátiles que contengan cadmio, destinados a utilizarse en herramientas eléctricas inalámbricas, y de pilas botón con un bajo contenido de mercurio, y se deroga la Decisión 2009/603/CE de la Comisión”, Unión Europea, *Diario Oficial de la Unión Europea*, en: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0056&from=EN>> (consulta realizada el 21 de abril de 2015).

Vadenbo, C. O. (2009), *Prospective environmental assessment of lithium recovery in battery recycling* [Evaluación medioambiental prospectiva de la recuperación de litio en el reciclaje de baterías]; disponible en: <[www.uns.ethz.ch/pub/publications/pdf/1717.pdf](http://www.uns.ethz.ch/pub/publications/pdf/1717.pdf)>.